EDITORA
OMNIS SCIENTIA

Estratégias Inovadoras para o Sucesso na Agropecuária: uma Abordagem Ampla

Organizadora: Larisse Romero Larangeira

Volume 3

EDITORA
OMNIS SCIENTIA

Estratégias Inovadoras para o Sucesso na Agropecuária: uma Abordagem Ampla

Organizadora: Larisse Romero Larangeira

Volume 3

Editora Omnis Scientia

ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA O SUCESSO NA AGROPECUÁRIA: UMA ABORDAGEM AMPLA

Volume 3

1ª Edição

RECIFE - PE

2026

EDITOR-CHEFE

Dr. Daniel Luís Viana Cruz

ORGANIZADORA

Larisse Romero Larangeira

CONSELHO EDITORIAL

Dr. Amâncio António de Sousa Carvalho - ESS-UTAD - Portugal

Dr. Cássio Brancaleone - UFFS - Brasil

Dr. Marcelo Luiz Bezerra da Silva - UEPa - Brasil

Dra. Pauliana Valéria Machado Galvão - UPE - Brasil

Dr. Plínio Pereira Gomes Júnior - UFRPE - Brasil

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior - UFRPE - Brasil

Dr. Wendel José Teles Pontes - UFPE - Brasil

EDITORES DE ÁREA - CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Dr. Álefe Lopes Viana

Dr. Luis de Souza Freitas

Dra. Marcia Helena Niza Ramalho Sobral

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior

ASSISTENTE EDITORIAL

Thialla Larangeira Amorim

IMAGEM DE CAPA

Canva e OpenAI (ChatGPT)

EDIÇÃO DE ARTE

Nhatallia Laranjeira Amorim

REVISÃO

Os autores

Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Lumos Assessoria Editorial

E82
Estratégias inovadoras para o sucesso na agropecuária : uma abordagem ampla : volume 3 [recurso eletrônico] / organizadora Larisse Romero Larangeira. — 1. ed. — Recife : Omnis Scientia, 2026.
Dados eletrônicos (pdf).

Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-284-0615-9
DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9

1. Agropecuária - Brasil - Congressos. 2. Agricultura sustentável. 3. Ecologia agrícola. 4. Agroindústria - Brasil. 5. Engenharia agrícola. 6. Agronegócio.
I. Laranjeira, Larisse Romero.

CDD23: 630.2745

I-1809261/3

Bibliotecária: Priscila Pena Machado - CRB-7/6971

Editora Omnis Scientia

Av. República do Líbano, nº 251, Sala 2205, Torre A,

Bairro Pina, CEP 51.110-160, Recife-PE.

Telefone: +55 (87) 9920-5762

editoraomnisscientia.com.br

contato@editoraomnisscientia.com.br

EDITORA
OMNIS SCIENTIA

PREFÁCIO

A agropecuária contemporânea encontra-se diante de um cenário marcado por transformações tecnológicas, ambientais, econômicas e sociais que exigem novas formas de pensar e produzir. Nesse contexto, a inovação deixa de ser apenas um diferencial competitivo e passa a constituir um elemento estratégico para a sustentabilidade e o desenvolvimento do setor. A presente obra, intitulada **Estratégias Inovadoras para o Sucesso na Agropecuária: uma Abordagem Ampla**, Volume 3, reúne reflexões e contribuições que dialogam com os principais desafios e oportunidades da atividade agropecuária, valorizando a integração entre conhecimento científico, tecnologia, gestão e práticas produtivas.

Ao longo de seus capítulos, o livro apresenta uma perspectiva abrangente sobre estratégias capazes de contribuir para o aprimoramento dos processos agropecuários, considerando as diferentes realidades, escalas e necessidades do setor. As discussões contemplam a busca por maior eficiência, produtividade, sustentabilidade e capacidade de adaptação, reconhecendo que o sucesso na agropecuária depende não apenas da adoção de novas tecnologias, mas também da qualificação das pessoas, da gestão eficiente dos recursos, da tomada de decisões baseada em conhecimento e da compreensão das transformações que ocorrem no campo e no mercado.

Assim, esta obra constitui uma importante contribuição para estudantes, pesquisadores, profissionais, produtores rurais, gestores e demais interessados no futuro da agropecuária. Mais do que apresentar soluções prontas, os textos aqui reunidos estimulam a reflexão e o desenvolvimento de novas perspectivas para um setor essencial à sociedade. Que esta leitura possa ampliar conhecimentos, inspirar iniciativas e fortalecer a construção de uma agropecuária cada vez mais inovadora, eficiente, sustentável e preparada para os desafios do presente e do futuro.

Dentre os excelentes capítulos que compõem este volume, a Editora Omnis Scientia concede menção honrosa às seguintes contribuições:

CAPÍTULO 3: DESEMPENHO INICIAL DE PLANTAS DE MILHO PELA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NO SULCO DE SEMEADURA

CAPÍTULO 20: AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI NO ESTADO DA PARAÍBA

CAPÍTULO 44: EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA POR SORO DE QUEIJO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE BISCOITOS DE POLVILHO

SUMÁRIO

ÁREA TEMÁTICA: AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

CAPÍTULO 1.....24

IRRIGAÇÃO ALTERNADA COMO ESTRATÉGIA CLIMÁTICA INTELIGENTE NO ARROZ IRRIGADO: MECANISMOS, EFICÁCIA GLOBAL E SINERGIAS COM OUTRAS PRÁTICAS DE MANEJO

Quirlene Raquel de Almeida

Renato Miguel Biava

Hugo César da Silva Araújo Júnior

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/24-33

CAPÍTULO 2.....34

EXPANSÃO AGROPECUÁRIA E MUDANÇAS NO USO DA TERRA EM BARCARENA - PA: UMA ANÁLISE GEOESPACIAL ENTRE 2004 E 2024

Fernanda Vanessa de Almeida Corrêa Nascimento Silva

David de Almeida Corrêa Nascimento Silva

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/34-43

CAPÍTULO 3.....44

DESEMPENHO INICIAL DE PLANTAS DE MILHO PELA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NO SULCO DE SEMEADURA

Grasiele Kathirine dos Reis Dalgalo

Raimundo Filho Freire de Brito

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/44-48

CAPÍTULO 4.....49

SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ESTRATÉGIA DE RESTAURAÇÃO PRODUTIVA NA AMAZÔNIA

Loarena Leal Cruz

Andrielle Leal da Silva

Karlla Zilda Vieira Tavares

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/49-57

CAPÍTULO 5.....58

DIMENSIONAMENTO DE LAYOUTS AQUAPÔNICOS COM NFT E TORRES AEROPÔNICAS PARA O CULTIVO DE ALFACE

João Marcos Ferrari Rubio

Lilian Elgalise Techio Pereira

Adriano Rogério Bruno Tech

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/58-68

CAPÍTULO 6.....69

RESPOSTA PRODUTIVA DO RABANETE (*RAPHANUS SATIVUS* L.) À ADUBAÇÃO COM COMPOSTO ORGÂNICO

Indiamara Marasca

Fernanda Cristina Araujo

Gilmar Oliveira Santos

Rogério Paulo Tovo

Gabriela Lucas Chagas

June Faria Scherrer Menezes

Cellini Castro

Givanildo Zildo da Silva

Gabriel Gomes Matias

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/69-76

CAPÍTULO 7.....77

CULTIVO CONSORCIADO DE SOJA COM *UROCHLOA BRIZANTHA* BRS PAIAGUÁS PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Lucas Rezende Lozano

Emerson Borghi

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Henrique Antunes de Souza

Ronilson Martins Silva

Fernanda de Fátima da Silva Devechio

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/77-85

CAPÍTULO 8.....86

FUNGOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL: MECANISMOS DE AÇÃO E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO NA AGRICULTURA

Thuane Barbosa Medeiros Franco

Catarina Araújo de Souza

Keveny Martins Claudino

Ana Gabriela Alves Batista

Liziane Maria de Lima

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/86-94

CAPÍTULO 9.....95

SIMULAÇÃO TERRITORIAL E EDUCAÇÃO AGROECOLÓGICA NO CERRADO: A ARQUITETURA PEDAGÓGICA DO PROJETO RESERVA ARARAS

Hélio Craveiro Pessoa Júnior

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/95-104

ÁREA TEMÁTICA: AGROECOLOGIA

CAPÍTULO 10.....106

HIMENÓPTEROS PARASITOIDES DE *DALBULUS MAIDIS* COMO AGENTES DE CONTROLE BIOLÓGICO: CENÁRIO ATUAL, AVANÇOS TAXONÔMICOS E PERSPECTIVAS

Lucas de Souza Dias

Adenomar Neves de Carvalho

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/106-114

CAPÍTULO 11.....115

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÃO SOCIAL: PROPOSTA DE PROJETO AGROECOLÓGICO PARA UMA UNIDADE PRISIONAL DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Angelika Franklin de Lima

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/115-121

ÁREA TEMÁTICA: AGROINDUSTRIA

CAPÍTULO 12.....123

EFEITO DA TEMPERATURA NA COLORAÇÃO DE FILMES DE PVA INCORPORADOS COM EXTRATO DE BETERRABA

Mário Roberto Júnior

Cristiane Patrícia de Oliveira

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/123-128

CAPÍTULO 13.....129

AGROINDUSTRIALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: UMA ANÁLISE DO DINAMISMO DOS ARRANJOS PRODUTIVOS DO MARANHÃO DE 2006 A 2022

Jamile Silva Santos

Jadson Pessoa da Silva

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/129-137

CAPÍTULO 14.....138

ALTERNATIVAS NATURAIS AO NITRITO/NITRATO EM PRODUTOS CÁRNEOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Gean Carlos Targino Paixão

Nathan Reges Fontes dos Santos

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/138-148

CAPÍTULO 15.....149

EVOLUÇÃO E TENDÊNCIAS DA PESQUISA SOBRE SANGUE DE ABATEDOUROS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Gean Carlos Targino Paixão

Ana Clara Silva da Cruz

Nathan Reges Fontes dos Santos

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/149-157

ÁREA TEMÁTICA: AGRONOMIA

CAPÍTULO 16.....159

ESTRATÉGIAS DE MANEJO HÍDRICO PARA OTIMIZAR A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA CULTURA DA ALFACE

Maria Gabriela de Queiroz

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/159-166

CAPÍTULO 17.....167

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE MORANGUEIROS COM SELÊNIO

Lubia da Silva Teixeira

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/167-175

CAPÍTULO 18.....176

USO DE ESTIMULADORES DE ENRAIZAMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AMOREIRA PROPAGADAS POR ESTAQUIA

Raimundo Filho Freire de Brito

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/176-181

CAPÍTULO 19.....182

A TÉCNICA DO INSETO ESTÉRIL: PRINCÍPIO, ESCOLHA DA DOSE E O QUE SE PRODUZIU NO BRASIL

Luis Felipe Medeiro Alves

Greissi Tente Giraldi

Valter Arthur

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/182-193

CAPÍTULO 20.....194

AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI NO ESTADO DA PARAÍBA

Catarina Araújo de Souza

Mairla Maria Alves de Souza

João Pedro Ricarte Azevedo

Thuane Barbosa de Medeiros Franco

Ana Gabriela Alves Batista

Keveny Martins Claudino

Guilherme Félix Dias

Liziane Maria de Lima

Rener Luciano de Souza Ferraz

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/194-202

ÁREA TEMÁTICA: ENGENHARIA AGRÍCOLA

CAPÍTULO 21.....204

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS REANÁLISES CLIMÁTICAS NASA POWER E ERA5-LAND NA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS

José Bonifácio Martins Filho

Lineu Neiva Rodrigues

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/204-214

CAPÍTULO 22.....215

DINÂMICA FUTURA DA ÁGUA VERDE E AZUL NO CULTIVO DE SOJA EM GOIÁS SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

José Bonifácio Martins Filho

Lineu Neiva Rodrigues

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/215-225

CAPÍTULO 23.....226

BIBLIOTECA DE ROTINAS DESENVOLVIDAS EM PLANILHA ELETRÔNICA PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO

Jorge Luiz Moretti de Souza

Matheus Salgado Moretti

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/226-241

ÁREA TEMÁTICA: PECUÁRIA

CAPÍTULO 24.....243

UTILIZAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E PROBIÓTICOS EM SUBSTITUIÇÃO À ANTIMICROBIANOS MELHORADORES DE DESEMPENHO NA CRIAÇÃO ANIMAL

Isabella Mariano Machado

Marco Túlio Santos Siqueira

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Nathália de Lima Mendes

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/243-252

CAPÍTULO 25.....253

PREVALÊNCIA DE CLAUDICAÇÃO E AFECÇÕES PODAIS EM REBANHO LEITEIRO COMERCIAL BRASILEIRO: ESTUDO DE CASO DE PODODERMATITE CIRCUNSCRITA (ÚLCERA DE SOLA)

Nathália de Lima Mendes

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Santos Siqueira

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/253-262

CAPÍTULO 26.....263

AMINOÁCIDOS E PEPTÍDEOS NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES: METABOLISMO, DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Nathália de Lima Mendes

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Silva Siqueira

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/263-271

CAPÍTULO 27.....272

USO DE LEVEDURAS VIVAS NA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES: EFEITOS SOBRE A FERMENTAÇÃO RUMINAL E O DESEMPENHO PRODUTIVO

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Nathália de Lima Mendes

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Silva Siqueira

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Michel Guilherme Candido de Lima

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/272-282

CAPÍTULO 28.....283

FONTES E PROCESSAMENTO DO AMIDO NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES: EFEITOS SOBRE DIGESTIBILIDADE, FERMENTAÇÃO RUMINAL E DESEMPENHO

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Marcela Rodrigues de Oliveira

Nathália de Lima Mendes

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Silva Siqueira

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/283-292

CAPÍTULO 29.....293

GORDURA INERTE NA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES: ASPECTOS NUTRICIONAIS E METABÓLICOS

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Marcela Rodrigues de Oliveira

Nathália de Lima Mendes

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Silva Siqueira

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/293-300

CAPÍTULO 30.....301

SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL PARA OVELHAS EM FINAL DE GESTAÇÃO

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Santos Siqueira

Nathália de Lima Mendes

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

Marcos Borges Santa Rosa

Camila Raineri

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/301-308

CAPÍTULO 31.....309

SUPLEMENTAÇÃO LIPÍDICA E USO DE LISOFOSFOLIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

Marco Túlio Santos Siqueira

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Nathália de Lima Mendes

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isabella Mariano Machado

Marcos Borges Santa Rosa

Camila Raineri

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/309-318

CAPÍTULO 32.....319

RELAÇÃO MATERNO-FILIAL E SOBREVIVÊNCIA NEONATAL EM OVINOS: PARTICULARIDADES DA RAÇA SANTA INÊS

Marco Túlio Santos Siqueira

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marcos Borges Santa Rosa

Geovana Lopes Nascimento

Camila Raineri

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/319-328

CAPÍTULO 33.....329

CAPRINOCULTURA EXTENSIVA NO SEMIÁRIDO ANGOLANO: CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO, PRÁTICAS DE MANEJO E LIMITAÇÕES PRODUTIVAS

Suca Francisco Pedro

Kamila de Lima Santos

Ronilson Martins Silva

Fernanda de Fátima da Silva Devechio

Marcelo Machado De Luca de Oliveira Ribeiro

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/329-339

ÁREA TEMÁTICA: SEGURANÇA ALIMENTAR

CAPÍTULO 34.....341

FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS E O CONCEITO DE SAÚDE ÚNICA

Lucia Alves Pereira

Lais Leal da Cunha

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/341-349

CAPÍTULO 35.....350

NITRITOS EM PRODUTOS CÁRNEOS ARTESANAIS ELABORADOS EM AÇOUGUES DE UBERLÂNDIA, MG

Iara Herculano de Lima Santos

Elaine Alves dos Santos

Fernanda Raghiante

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/350-358

CAPÍTULO 36.....359

SEMENTES CRIOULAS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O RESGATE DE SABERES E SABORES: ESTUDO DE CASO DE IBARAMA-RS

Lilian Alessandra Rodrigues

Miriam Fernanda Rodrigues

Wandoir Sehn

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/359-367

CAPÍTULO 37.....368

AVALIAÇÃO DO EMPREGO BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO DOS ALIMENTOS EM UM HIPERMERCADO DO TRIÂNGULO MINEIRO

Isadora Martins Ramos

Fernanda Raghiante

Elaine Alves dos Santos

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/368-376

CAPÍTULO 38.....377

IMPACTO DE TREINAMENTO NA QUALIDADE SANITÁRIA DE ALIMENTOS E SUPERFÍCIES EM UM HIPERMERCADO DO TRIÂNGULO MINEIRO

Isadora Martins Ramos

Fernanda Raghiante

Elaine Alves dos Santos

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/377-385

CAPÍTULO 39.....386

EFEITOS DE BACTÉRIAS LÁTICAS NO CRESCIMENTO DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* E SEU POTENCIAL DE BIOPRESERVAÇÃO EM QUEIJO MINAS FRESCAL

João Mattos Brum

Diego Ribeiro Toledo

Daniel Ribeiro Freire

Maria Eliza Vilela Sales

Humberto Moreira Húngaro

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/386-394

ÁREA TEMÁTICA: TECNOLOGIA E PRODUÇÃO

CAPÍTULO 40.....396

SEGMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE TECIDOS LIGNIFICADOS EM COLMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR POR VISÃO COMPUTACIONAL

Gabriela Ferreira Ferrari Rubio

Marcela Rezende Sant' Ana Tôrres

Lilian Elgalise Techio Pereira

João Paulo Rodrigues Marques

Adriano Rogério Bruno Tech

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/396-407

CAPÍTULO 41.....408

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TÉCNICA PRELIMINAR DE UM DISPOSITIVO PROGRAMÁVEL PARA MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES

Tiago Dominguez Rodriguez

Nayanne Sant Clair Cardoso da Silva

João Marcos Ferrari Rubio

Marcela Rezende Sant' Ana Tôrres

Adriano Rogério Bruno Tech

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/408-417

CAPÍTULO 42.....418

MONITORAMENTO DA RESPOSTA DO CAPIM-MULATO II AO NITROGÊNIO POR IMAGENS RGB E MODELAGEM PREDITIVA

Gabriel Alecsander Aparecido Leite

Isabel Felizardo Chambingo

Ronilson Martins Silva

Matheus de Godoi Bertin

Fernanda de Fátima da Silva Devechio

Lilian Elgalise Techio Pereira

Adriano Rogério Bruno Tech

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/418-427

ÁREA TEMÁTICA: OUTRAS

CAPÍTULO 43.....429

MONITORAMENTO DOS POMARES DE MAÇÃ EM SANTA CATARINA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Kleber Trabaquini

Valci Francisco Vieira

Everton Vieira

Juliana Mio de Souza

Maêve Silveira Castelo Branco

Marcelo Cruz de Liz

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/429-437

CAPÍTULO 44.....438

EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA POR SORO DE QUEIJO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE BISCOITOS DE POLVILHO

Christine da Silva Macedo

Gilson da Silva Rodrigues

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/438-446

CAPÍTULO 45.....447

MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO DE SISTEMAS ANTI-GRANIZO EM POMARES DE MAÇÃ

Kleber Trabaquini

Maêve Silveira Castelo Branco

Marcelo Cruz de Liz

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/447-453

CAPÍTULO 46.....454

CONFORTO TÉRMICO DE SUÍNOS NA AMAZÔNIA – UMA REVISÃO DE ESCOPO

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Nathália de Lima Mendes

Marco Túlio Santos Siqueira

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Isabella Mariano Machado

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/454-462

CAPÍTULO 47.....463

USO DE *AZOSPIRILLUM* SPP. COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM CAPIM-BRAQUIÁRIA (*UROCHLOA* SPP.)

Rodolfo Henrique Silva Pereira

Marco Túlio Santos Siqueira

Nathália de Lima Mendes

Marcela Rodrigues de Oliveira

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça

Bianca Izabelly Pereira Gomes

Isadora Menezes Costa Tarôco

Isabella Mariano Machado

Marcos Borges Santa Rosa

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/463-471

CAPÍTULO 48.....472

BISCOITOS SEM GLÚTEN COM PSYLLIUM (*PLANTAGO OVATA*): DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E QUALIDADE NUTRICIONAL

Christine da Silva Macêdo

DOI: 10.47094/978-65-284-0615-9/472-482

ÁREA TEMÁTICA: AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

CAPÍTULO 1

IRRIGAÇÃO ALTERNADA COMO ESTRATÉGIA CLIMÁTICA INTELIGENTE NO ARROZ IRRIGADO: MECANISMOS, EFICÁCIA GLOBAL E SINERGIAS COM OUTRAS PRÁTICAS DE MANEJO

Quirlene Raquel de Almeida[1];
[1]Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás.
https://lattes.cnpq.br/7250465217883525
Renato Miguel Biava[2];
[2]Universidade Estadual de Goiás (UEG), Ipameri, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/4881450711718346
Hugo César da Silva Araújo Júnior[3].
[3]Universidade Estadual de Goiás (UEG), Ipameri, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/3143261090106248

RESUMO: O manejo alternado de molhamento e secagem (AWD) tem sido amplamente estudado como estratégia de mitigação de metano (CH_4) em lavouras de arroz irrigado, e as evidências acumuladas nas últimas décadas apontam para sua consolidação como a intervenção de maior impacto nesse contexto. Esta revisão integra estudos sobre os mecanismos biogeoquímicos envolvidos, a eficácia do AWD em diferentes regiões produtoras e as sinergias observadas com outras práticas de manejo. Reduções próximas a 50% nas emissões de CH_4, sem penalidade sobre a produtividade, foram estimadas a partir de três meta-análises globais independentes, resultado associado à elevação do potencial redox do solo durante os períodos de drenagem, à supressão da atividade metanogênica e à redução do transporte de CH_4 via aerênquima radicular. As emissões de óxido nitroso (N_2O) apresentam aumento relativo com a aeração periódica, mas o balanço líquido em equivalentes de CO_2 permanece favorável. A associação do AWD com biochar, condicionadores de solo à base de ferro, adubação nitrogenada otimizada e cultivares de baixa emissão pode elevar essas reduções a valores entre 60 e 80% na intensidade de gases de efeito estufa, o que reforça o potencial dessa combinação de práticas para sistemas de arroz irrigado climaticamente inteligentes.
PALAVRAS-CHAVE: Metano. Óxido nitroso. Manejo hídrico.

ALTERNATE WETTING AND DRYING AS A CLIMATE-SMART STRATEGY IN IRRIGATED RICE: MECHANISMS, GLOBAL EFFICACY AND SYNERGIES WITH OTHER MANAGEMENT PRACTICES

ABSTRACT: Alternate wetting and drying (AWD) has been widely studied as a methane (CH_4) mitigation strategy in irrigated rice paddies, and the evidence accumulated over recent decades points to its consolidation as the most impactful intervention in this context. This

review integrates studies on the biogeochemical mechanisms involved, the efficacy of AWD across different producing regions, and the synergies observed with other management practices. Reductions of approximately 50% in CH_4 emissions, without yield penalty, were estimated from three independent global meta-analyses, a result associated with the elevation of soil redox potential during drainage periods, the suppression of methanogenic activity, and the reduction of CH_4 transport via root aerenchyma. Nitrous oxide (N_2O) emissions show a relative increase with periodic aeration, but the net balance in CO_2 equivalents remains favorable. The combination of AWD with biochar, iron-based amendments, optimized nitrogen fertilization, and low-emission cultivars can raise these reductions to values between 60 and 80% in greenhouse gas intensity, which reinforces the potential of this combination of practices for climate-smart irrigated rice systems.
KEYWORDS: Methane. Nitrous oxide. Water management.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos cereais mais cultivados no mundo e constitui a base alimentar de mais da metade da população global. A maior parte dessa produção depende de sistemas de cultivo irrigado por inundação contínua, que cobrem mais de 80 milhões de hectares. Esse modelo produtivo garante alta produtividade e estabilidade de safra, mas gera condições de anaerobiose no solo que favorecem a emissão de metano (CH_4), gás com potencial de aquecimento global aproximadamente 28 vezes superior ao do dióxido de carbono em um horizonte de 100 anos, sendo que sua produção se intensifica à medida que os aceptores de elétrons disponíveis no solo são progressivamente consumidos pela atividade microbiana. Somado ao óxido nitroso (N_2O), produzido durante os processos de nitrificação e desnitrificação no solo, o cultivo de arroz irrigado representa uma fonte significativa de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura global.

A busca por estratégias de manejo que conciliem alta produtividade com menor impacto climático tem se intensificado nas últimas décadas, é onde o manejo alternado de molhamento e secagem, internacionalmente conhecido como Alternate Wetting and Drying (AWD), tem se destacado como uma das intervenções mais estudadas nesse sentido. Este manejo consiste na interrupção periódica da lâmina d'água durante o ciclo da cultura, permitindo que o solo drene e recupere condições aeróbias antes de uma nova inundação, sem que isso comprometa o desenvolvimento e a produtividade da lavoura.

Além da redução de emissões, o AWD demanda menor volume de água de irrigação, o que o torna uma alternativa relevante em regiões onde a escassez hídrica já representa um desafio concreto para os produtores, configurando-se como uma estratégia duplamente vantajosa sob a perspectiva da agricultura climática inteligente. Ainda assim, sua adoção em larga escala esbarra em questões como a variação de eficácia entre regiões, o trade-off com as emissões de N_2O e a necessidade de integração com outras práticas para que os benefícios sejam plenamente aproveitados.

OBJETIVO

Sintetizar as evidências científicas sobre a irrigação alternada Alternate Wetting and Drying (AWD) como estratégia de mitigação de gases de efeito estufa em lavouras de arroz irrigado, discutindo seus mecanismos biogeoquímicos de ação, eficácia na redução de CH_4 e N_2O em diferentes regiões produtoras, o trade-off entre esses dois gases e as sinergias com outras práticas de manejo do solo e da cultura.

METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura de natureza qualitativa, de caráter descritivo, com procedimento bibliográfico. Foram selecionados estudos publicados entre 2018 e 2025, indexados nas bases de dados Web of Science, Scopus, PubMed e OpenAlex, utilizando os termos: alternate wetting and drying, AWD, intermittent irrigation, mid-season drainage, methane, nitrous oxide, rice paddy e greenhouse gas.

Foram priorizados artigos que abordassem pelo menos dois dos seguintes aspectos: dinâmica de emissão de CH_4, dinâmica de emissão de N_2O e estratégias de manejo hídrico em lavouras de arroz irrigado. O conjunto final utilizado nesta revisão é composto por estudos de campo, meta-análises e revisões sistemáticas, abrangendo as principais regiões produtoras de arroz no mundo, como Ásia Oriental, Sudeste Asiático, América do Norte, América do Sul, Europa Mediterrânea e África Subsaariana. A síntese foi organizada em torno de eixos temáticos: mecanismos biogeoquímicos do AWD, eficácia global na redução de emissões, variação regional, trade-off CH_4–N_2O e sinergias com outras práticas de manejo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mecanismos biogeoquímicos do AWD na redução de emissões

O funcionamento do AWD como estratégia de mitigação de gases de efeito estufa está diretamente relacionado ao potencial redox do solo (Eh), variável que controla a produção de CH_4 e N_2O em solos alagados (Qin et al., 2018), sendo que em condições de inundação contínua o Eh reduz progressivamente à medida que os aceptores de elétrons de maior energia, a saber, oxigênio, nitrato, manganês, ferro e sulfato, são consumidos sequencialmente pela atividade microbiana. Quando o Eh cai abaixo de aproximadamente -150 a -200 mV, a metanogênese torna-se termodinamicamente favorável, e as arqueas metanogênicas, quantificadas pelo gene funcional *mcrA*, passam a produzir CH_4 em larga escala a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica do solo (Islam et al., 2018).

A drenagem periódica promovida pelo AWD permite a entrada de oxigênio no solo, criando condições menos propícias à produção de CH_4 e mais favoráveis à sua oxidação (Xiao et al., 2025; Islam et al., 2018), uma vez que esse processo reduz a atividade dos microrganismos produtores de CH_4 e estimula os que o consomem. Xiao et al. (2025) descrevem como o AWD atua tanto no solo quanto na planta, no solo o gene associado à produção de CH_4 (*mcrA*) tem sua abundância reduzida em 21,9%, enquanto o gene associado

ao consumo (*pmoA*) aumenta 16,1%, elevando a razão *pmoA*/*mcrA* em 51,3%, razão que quanto maior, menor tende a ser o fluxo de CH_4 para a atmosfera, tornando-a um indicador confiável do potencial de mitigação (Wang et al., 2024; Zhao et al., 2024b). Na planta, a proporção de aerênquima, tecido que conduz o CH_4 do solo para a atmosfera, é reduzida em 74,8%, a produção de etileno pelas raízes cai 42,3% e a capacidade oxidativa radicular aumenta de 30 a 48% nos estádios reprodutivos, desta forma, esses efeitos combinados, no solo e na planta, explicam por que o AWD frequentemente alcança reduções de CH_4 superiores ao que seria previsto apenas pelas alterações microbianas (Xiao et al., 2025).

O momento da drenagem também é determinante para a eficácia do manejo, a drenagem realizada antes do estabelecimento pleno da inundação promove a decomposição aeróbia da palha incorporada ao solo, eliminando o segundo pico de emissão de CH_4 característico de sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos (Islam et al., 2018). Esses autores demonstram que a drenagem precoce combinada com a drenagem de meio de ciclo eleva o Eh em 110 a 167 mV, interrompendo a produção de CH_4 e reduzindo o potencial de aquecimento global escalonado pela produtividade em 85 a 87% em relação ao sistema de inundação contínua.

Eficácia global na redução de CH_4: evidências de meta-análises

A eficácia do AWD na redução das emissões de CH_4 em lavouras de arroz irrigado está entre as mais robustamente documentadas na literatura agronômica recente, dentre os estudos disponíveis, três meta-análises globais independentes convergem para uma mesma conclusão de que o manejo hídrico intermitente representa a intervenção mais eficaz para a mitigação de CH_4, superando práticas como adubação orgânica, seleção de cultivares e aplicação de biochar, quando essas são avaliadas isoladamente (Zhao et al., 2019; Wu et al., 2022; Zhao et al., 2024a). Zhao et al. (2019), sintetizando 2.616 comparações pareadas provenientes de 230 publicações, classificaram a irrigação não contínua como a prática de maior impacto entre doze categorias de manejo avaliadas, com redução de 51,5% nas emissões de CH_4 por área e de 47,9% nas emissões escalonadas pela produtividade, resultado que foi posteriormente corroborado por Wu et al. (2022), os quais, analisando 519 observações, confirmaram reduções de 57,8% no CH_4, 44,9% no potencial de aquecimento global (GWP) e 57,7% na intensidade de emissões de GEE, sem efeito significativo sobre a produtividade.

Zhao et al. (2024a), em análise mais recente, reafirmaram o AWD como a única prática capaz de reduzir consistentemente as emissões de CH_4 em aproximadamente 51,6% em ambientes diversificados, porém, a magnitude dessa redução varia conforme o contexto regional e o tipo de manejo hídrico adotado, o que fica evidenciado nos resultados de Zhang et al. (2024), que identificaram reduções menores no Sudeste Asiático, entre 23,3 e 25,4%, atribuídas às restrições práticas de drenagem impostas pelo regime de chuvas monçônicas. A ausência de penalidade produtiva associada ao AWD quando implementado corretamente representa outro ponto de consenso entre as meta-análises, esse resultado

tem sido um dos fatores determinantes para a aceitação da prática pelos produtores em diferentes contextos (Wu et al., 2022; Zhao et al., 2024a).

Variação regional da eficácia do AWD

Embora as meta-análises globais confirmem a eficácia do AWD, a maioria das evidências ainda se concentra em países asiáticos, o que mostra a necessidade de mais estudos em sistemas subtropicais da América do Sul, pois os estudos de campo realizados nas principais regiões produtoras demonstram que a magnitude das reduções varia consideravelmente em função das condições hidrológicas, do tipo de solo, do calendário agrícola e do sistema de cultivo adotado (Tran et al., 2018; Chidthaisong et al., 2018).

Na Ásia, os resultados são heterogêneos, no Vietnã Central Hoang et al. (2023) registraram reduções de 26 a 49% nas emissões de CH_4 sob AWD sem penalidade produtiva, enquanto na Tailândia, em solos ácidos sulfatados, Chidthaisong et al. (2018) observaram reduções expressivas, porém com maior variabilidade entre estações. Nas Filipinas, Sibayan et al. (2018) reportaram reduções marginais de apenas 1,7% em Luzon Central durante a estação chuvosa, evidenciando que condições de alta umidade do solo limitam severamente a eficácia do AWD, ao passo que no Japão, Nishimura et al. (2020) documentaram reduções de 46 a 90% no GWP líquido em Hokkaido, sem perda de produtividade.

Na América do Norte, Karki et al. (2023) acompanharam lavouras no Arkansas ao longo de cinco safras consecutivas e registraram redução de 73% nas emissões de CH_4 sob AWD sem efeito negativo sobre a produtividade enquanto Camargo et al. (2018) fizeram um estudo intercontinental comparando Brasil e Japão simultaneamente e verificaram que na América do Sul, a irrigação intermitente reduziu as emissões de CH_4 em até 62% no Rio Grande do Sul e 71% no Japão, com redução do GWP escalonado pela produtividade de 47 a 80%. Também no sul do Brasil, Timm et al. (2025) avaliaram um sistema inovador de irrigação por sulco em camalhões, obtendo redução de 34% nas emissões de CH_4 com manutenção de altas produtividades. Na Europa, Vitali et al. (2024) e Martínez-Eixarch et al. (2021) confirmaram os benefícios do AWD no Delta do Ebro, Espanha, e na África Subsaariana Tuyishime et al. (2022) reportaram resultados positivos em Ruanda, indicando que mesmo em contextos com menor infraestrutura a prática pode ser adaptada com benefícios significativos.

O trade-off CH_4–N_2O e como minimizá-lo

Um dos principais pontos de atenção associados ao AWD é o aumento das emissões de N_2O decorrente da aeração periódica do solo, onde sob inundação contínua as condições anaeróbias favorecem a redução completa do N_2O a N_2 pela enzima N_2O redutase, codificada pelo gene *nosZ*, mantendo as emissões desse gás em níveis geralmente baixos, ao passo que com a drenagem intermitente a alternância entre condições aeróbias e anaeróbias estimula os processos de nitrificação e desnitrificação, elevando as emissões de N_2O em

termos relativos (Qin et al., 2018; Wu et al., 2022).

A meta-análise de Wu et al. (2022) quantificou esse efeito em escala global, registrando aumento médio de 149,9% nas emissões de N_2O sob AWD, os autores demonstraram que esse aumento é quantitativamente pequeno em relação ao CO_2 quando comparado à redução de CH_4, resultando em diminuição líquida do GWP de 44,9%, resultado que encontra respaldo nos dados de Liu et al. (2023), os quais reportaram resultados ainda mais favoráveis no nordeste da China, os estudos demonstraram que o AWD reduziu o CH_4 em 63,0 a 78,9% e o Global Warming Potential (GWP) que quantifica o potencial de aquecimento global, em 62,0 a 75,2%, mesmo com aumento de 100 a 123% nas emissões de N_2O, pois este aumento ainda permanece relativamente baixo se comparado as emissões de CH_4.

Diversas estratégias complementares permitem minimizar esse trade-off, a exemplo, a aplicação de nitrogênio durante as fases de inundação reduz a disponibilidade de substrato para a nitrificação nos períodos de maior aeração do solo (Dong et al., 2018), enquanto a combinação do AWD com fertilizantes de liberação controlada demonstrou efeito sinérgico na redução das perdas gasosas de nitrogênio (Ji et al., 2025; Li et al., 2024), e os condicionadores de solo à base de ferro suprimem simultaneamente CH_4 e N_2O por meio do ciclo redox do Fe (Galgo et al., 2024), e a combinação de AWD com biochar, que também se mostrou eficaz, reduzindo com o GWP combinado em 78,0% e a intensidade de emissões em 79,0% em relação à inundação contínua sem emenda (Liu et al., 2023).

Sinergias do AWD com outras práticas de manejo

A integração do AWD com outras práticas de manejo configura-se como o caminho mais promissor para maximizar a mitigação de GEE sem comprometer a produtividade, isso é verificado através dos dados disponíveis que indicam que nenhuma prática isolada é capaz de atingir o potencial máximo de redução de emissões e que as combinações entre intervenções complementares produzem efeitos sinérgicos superiores à soma das partes (Zhao et al., 2019; Wu et al., 2022; Rajbonshi et al., 2024).

A associação entre AWD e biochar é uma das sinergias mais bem documentadas, Liu et al. (2023) demonstraram que a combinação de biochar de palha de arroz a 20 t ha^{-1} com AWD reduziu o GWP em 78,0% e a intensidade de emissões em 79,0%, com aumento de produtividade de 11,0% na terceira safra, resultado que encontra respaldo no experimento de seis anos conduzido por Wu et al. (2019), os quais confirmaram que o biochar reduziu CH_4 em 11,2 a 17,5% e N_2O em 19,5 a 26,3%, com efeito progressivamente maior ao longo do tempo.

A integração do AWD com o manejo da adubação nitrogenada também produz ganhos expressivos, os estudos de Bhuiyan et al. (2021) demonstraram que doses baixas de N (1–120 kg N ha^{-1}) reduziram as emissões de CH_4 em 23% em relação ao controle sem fertilização, enquanto a combinação de fertilizante de liberação controlada com AWD reduziu sinergicamente as perdas gasosas de nitrogênio. Ji et al. (2025) e Li et al. (2024) confirmam que o manejo integrado de água e nitrogênio reduz consistentemente o GWP

ao longo de múltiplas safras. Outro insumo que potencializa os efeitos do AWD é a zeólita, que retém NH_4^+ no solo, reduz perdas de nitrogênio e mitiga emissões de N_2O, com ganhos adicionais de produtividade (Sha et al., 2022).

A escolha do cultivar também influencia a eficácia do AWD, Loaiza et al. (2024) identificaram que o cultivar foi determinante para a magnitude da mitigação sob irrigação intermitente, com o mesmo genótipo apresentando desempenhos distintos entre zonas hidrológicas, enquanto Zhang et al. (2023) demonstraram que cultivares resistentes à seca exibiram consistentemente menor intensidade de emissões sob irrigação alternada, e Figueiredo Moura da Silva et al. (2025) confirmaram por modelagem que a escolha do cultivar interage com o manejo hídrico para determinar a magnitude da redução de CH_4 em sistemas subtropicais brasileiros.

Em relação ao sistema de cultivo, Mezzari et al. (2023) documentaram em experimento de 20 anos no sul do Brasil que o plantio direto reduziu as emissões líquidas de GEE em 25%, com acúmulo de carbono orgânico no solo de 0,45 a 0,65 Mg ha^{-1} ano^{-1}, sendo que a substituição parcial de fertilizantes sintéticos por orgânicos em taxas moderadas, combinada ao AWD, reduziu o GWP em 58,0% e o GWP escalonado pela produtividade em 52,5% (Liao et al., 2023), enquanto Wang et al. (2022) demonstraram que a incorporação de esterco suíno a 50% do N total aumentou o sequestro de carbono orgânico no solo em 192 a 224%, contribuindo para redução das emissões líquidas de GEE em 41 a 52%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de evidências revisado neste capítulo demonstra que a irrigação alternada (AWD) é a estratégia de manejo mais eficaz e amplamente validada para a mitigação de gases de efeito estufa em lavouras de arroz irrigado, os resultados dos estudos analisados demonstraram que as reduções consistentes nas emissões de CH_4, sem penalidade sobre a produtividade, estão fundamentadas em mecanismos biogeoquímicos bem estabelecidos, que envolvem a elevação do potencial redox do solo, a supressão da atividade metanogênica, o estímulo à metanotrofia e a redução do transporte de CH_4 via aerênquima radicular.

A variação regional da eficácia do AWD reforça que sua implementação exige adaptação às condições locais de solo, clima e infraestrutura hídrica. Constata-se que o trade-off entre CH_4 e N_2O, embora real, é quantitativamente pequeno em termos de equivalentes de CO_2 e pode ser minimizado por meio da integração do AWD com manejo adequado da adubação nitrogenada, condicionadores de solo à base de ferro e biochar.

O AWD se consolida, assim, como uma ferramenta acessível, tecnicamente viável e economicamente interessante para produtores de arroz em diferentes contextos produtivos, num cenário em que as mudanças climáticas e a crescente demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis tornam cada vez mais urgente a adoção de práticas com eficácia comprovada, para o contexto brasileiro, especialmente nas regiões produtoras do Sul, ainda são necessários estudos de longo prazo que integrem mitigação climática, produtividade e viabilidade econômica como critérios simultâneos de avaliação.

REFERÊNCIAS

BHUIYAN, Md Shahinul Islam et al. **Eco-friendly yield-scaled global warming potential assists to determine the right rate of nitrogen in rice system: A systematic literature review.** Environmental Pollution, v. 271, p. 116386, 2021.

CAMARGO, Estefânia Silva et al. **Intercontinental comparison of greenhouse gas emissions from irrigated rice fields under feasible water management practices: Brazil and Japan.** Soil Science and Plant Nutrition, v. 64, n. 3, p. 332-342, 2018.

CHIDTHAISONG, Amnat et al. **Evaluating the effects of alternate wetting and drying (AWD) on methane and nitrous oxide emissions from a paddy field in Thailand.** Soil Science and Plant Nutrition, v. 64, n. 1, p. 47-58, 2018.

DONG, Wenjun et al. **Water regime-nitrogen fertilizer incorporation interaction: field study on methane and nitrous oxide emissions from a rice agroecosystem in Harbin, China.** Journal of Environmental Sciences, v. 66, p. 125-135, 2018.

FIGUEIREDO MOURA DA SILVA, Evandro H. et al. **Assessing methane and nitrous oxide emissions in lowland rice-soybean cropping systems through crop modeling.** Agricultural Systems, v. 225, p. 104478, 2025.

GALGO, Sherlyn Jane C. et al. **A potential of iron slag-based soil amendment as a suppressor of greenhouse gas (CH_4 and N_2O) emissions in rice paddy.** Frontiers in Environmental Science, v. 12, p. 1290969, 2024.

HOANG, Thi Nhan et al. **Higher rice grain yield and lower methane emission achieved by alternate wetting and drying in central Vietnam.** European Journal of Agronomy, v. 151, p. 126992, 2023.

ISLAM, S. F.-U. et al. **The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage.** Science of the Total Environment, v. 612, p. 1329-1339, 2018.

JI, Yue et al. **Combination of water-saving irrigation and controlled-release fertilizer application reduced gaseous nitrogen loss in single-crop paddy soil.** Journal of Environmental Management, v. 377, p. 124695, 2025.

KARKI, Sudarshan et al. **Multiyear methane and nitrous oxide emissions in different irrigation management under long-term continuous rice rotation in Arkansas.** Journal of Environmental Quality, v. 52, n. 3, p. 558-572, 2023.

LI, Jianchang et al. **Annual greenhouse gas emissions from a rice paddy with different water-nitrogen management strategies in Central China.** Soil and Tillage Research, v. 235, p. 105906, 2024.

LIAO, Bing et al. **A combination of organic fertilizers partially substitution with alternate wet and dry irrigation could further reduce greenhouse gases emission in rice field.** Journal of Environmental Management, v. 342, p. 118372, 2023.

LIU, Chi et al. **Effects of rice straw biochar on CH_4 and N_2O emissions in alternating wetting and drying rice fields.** Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 39, p. 219-228, 2023.

LOAIZA, Sandra et al. **Identifying rice varieties for mitigating methane and nitrous oxide emissions under intermittent irrigation.** Journal of Environmental Management, v. 370, p. 123376, 2024.
MARTíNEZ-EIXARCH, Maite et al. **Multiple environmental benefits of alternate wetting and drying irrigation system with limited yield impact on European rice cultivation: the Ebre Delta case.** Agricultural Water Management, v. 255, p. 107164, 2021.
MEZZARI, Mário Felipe et al. **Mitigation of greenhouse gases emission affected by no-tillage and winter cover crops in a subtropical paddy rice ecosystem.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 47, p. e0220137, 2023.
NISHIMURA, Seiichi et al. **Effect of intermittent drainage in reduction of methane emission from paddy soils in Hokkaido, northern Japan.** Soil Science and Plant Nutrition, v. 66, n. 1, p. 168-177, 2020.
QIN, Hua et al. **Abundance of transcripts of functional gene reflects the inverse relationship between CH_4 and N_2O emissions during mid-season drainage in acidic paddy soil.** Biology and Fertility of Soils, v. 54, n. 8, p. 885-897, 2018.
RAJBONSHI, Manas Pratim; MITRA, Srabani; BHATTACHARYYA, Pratap. **Agro-technologies for greenhouse gases mitigation in flooded rice fields for promoting climate smart agriculture.** Environmental Pollution, v. 352, p. 123973, 2024.
SHA, Ye et al. **Zeolite application increases grain yield and mitigates greenhouse gas emissions under alternate wetting and drying rice system.** Science of the Total Environment, v. 838, p. 156067, 2022.
SIBAYAN, Evangeline B. et al. **Effects of alternate wetting and drying technique on greenhouse gas emissions from irrigated rice paddy in Central Luzon, Philippines.** Soil Science and Plant Nutrition, v. 64, n. 1, p. 39-46, 2018.
TIMM, Pâmela Andrades et al. **A novel irrigation system to reduce methane emissions in paddy fields.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 131, p. 57-72, 2025.
TRAN, Dang Hoa et al. **Impacts of alternate wetting and drying on greenhouse gas emission from paddy field in Central Vietnam.** Soil Science and Plant Nutrition, v. 64, n. 1, p. 24-35, 2018.
TUYISHIME, Olivier et al. **Deep drainage lowers methane and nitrous oxide emissions from rice fields in a semi-arid environment in Rwanda.** Soil Systems, v. 6, n. 4, p. 84, 2022.
VITALI, Andrea et al. **The environmental and agronomic benefits and trade-offs linked with the adoption alternate wetting and drying in temperate rice paddies.** Field Crops Research, v. 317, p. 109550, 2024.
WANG, Chun et al. **Reduction in net greenhouse gas emissions through a combination of pig manure and reduced inorganic fertilizer application in a double-rice cropping system: three-year results.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 328, p. 107799, 2022.
WANG, Jin et al. **Straw type and nitrogen-water management balance rice yield**

and methane emissions by regulating rhizosphere microenvironment. Field Crops Research, v. 316, p. 109555, 2024.

WU, Qian et al. **Drainage in paddy systems maintains rice yield and reduces total greenhouse gas emissions on the global scale.** Journal of Cleaner Production, v. 374, p. 133515, 2022.

WU, Zhangming et al. **Biochar amendment reduced greenhouse gas intensities in the rice-wheat rotation system: six-year field observation and meta-analysis.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 280, p. 107625, 2019.

XIAO, Zhuangzhuang et al. **Synergistic mechanism of moderate wetting drying irrigation improving rice productivity and environmental sustainability.** Field Crops Research, v. 332, p. 110035, 2025.

ZHANG, Gang et al. **The low greenhouse gas emission intensity in water-saving and drought-resistance rice in a rainfed paddy field in Southwest China.** Field Crops Research, v. 302, p. 109045, 2023.

ZHANG, Zhenglin et al. **Opportunities for mitigating net system greenhouse gas emissions in Southeast Asian rice production: a systematic review.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 363, p. 108812, 2024.

ZHAO, Chuang et al. **Effects of alternate wetting and drying irrigation on methane and nitrous oxide emissions from rice fields: a meta-analysis.** Global Change Biology, v. 30, p. e17581, 2024a.

ZHAO, Xin et al. **Management-induced greenhouse gases emission mitigation in global rice production.** Science of the Total Environment, v. 654, p. 131-139, 2019.

ZHAO, Yang et al. **Effects of biochar application methods on greenhouse gas emission and nitrogen use efficiency in paddy fields.** Science of the Total Environment, v. 912, p. 169809, 2024b.

CAPÍTULO 2

EXPANSÃO AGROPECUÁRIA E MUDANÇAS NO USO DA TERRA EM BARCARENA - PA: UMA ANÁLISE GEOESPACIAL ENTRE 2004 E 2024

Fernanda Vanessa de Almeida Corrêa Nascimento Silva[1];
Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, PA.
http://lattes.cnpq.br/6155150354083042
David de Almeida Corrêa Nascimento Silva[2].
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Belém, PA.
http://lattes.cnpq.br/0786531859631693

RESUMO: Este capítulo analisa as transformações espaciais no uso e cobertura da terra no município de Barcarena, Pará, de 2004 a 2024, identificando os reflexos da expansão agropecuária sobre os ecossistemas nativos. Utilizando abordagem quali-quantitativa baseada em dados geoespaciais do MapBiomas e bases cartográficas do IBGE em ambiente SIG, o estudo revela um recuo de 5.382 hectares de cobertura florestal e um decréscimo superior a 75% na vegetação herbácea e arbustiva. Em contrapartida, a macroclasse Agropecuária cresceu aproximadamente 70%, impulsionada pela expansão de pastagens para pecuária extensiva e pela introdução gradual de cultivos agrícolas perenes. À luz da Geografia Agrária regional, conclui-se que essa transição produtiva gera desafios socioambientais e pressões sobre territórios de populações tradicionais. O diagnóstico ressalta a urgência de estratégias de planejamento territorial voltadas à promoção de práticas agrícolas sustentáveis no município de Barcarena.
PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica Territorial. Expansão Agropecuária. Sustentabilidade Amazônica.

AGRICULTURAL AND LIVESTOCK EXPANSION AND LAND-USE CHANGES IN BARCARENA, PARÁ: A GEOSPATIAL ANALYSIS BETWEEN 2004 AND 2024

ABSTRACT: This chapter analyzes spatial changes in land use and land cover in the municipality of Barcarena, Pará, from 2004 to 2024, identifying the impacts of agricultural expansion on native ecosystems. Using a qualitative-quantitative approach based on geospatial data from MapBiomas and cartographic datasets from the IBGE in a GIS environment, the study reveals a loss of 5,382 hectares of forest cover and a decrease of more than 75% in herbaceous and shrub vegetation. In contrast, the “Agriculture and Livestock” macroclass grew by approximately 70%, driven by the expansion of pastures for extensive livestock farming and the gradual introduction of perennial agricultural crops. In light of regional agrarian geography, it is concluded that this productive transition generates socio-environmental challenges and pressures on the territories of traditional populations. The analysis highlights the urgent need for territorial planning strategies aimed at promoting

sustainable agricultural practices in the municipality of Barcarena.

KEYWORDS: Territorial Dynamics. Agricultural Expansion. Sustainability in the Amazon.

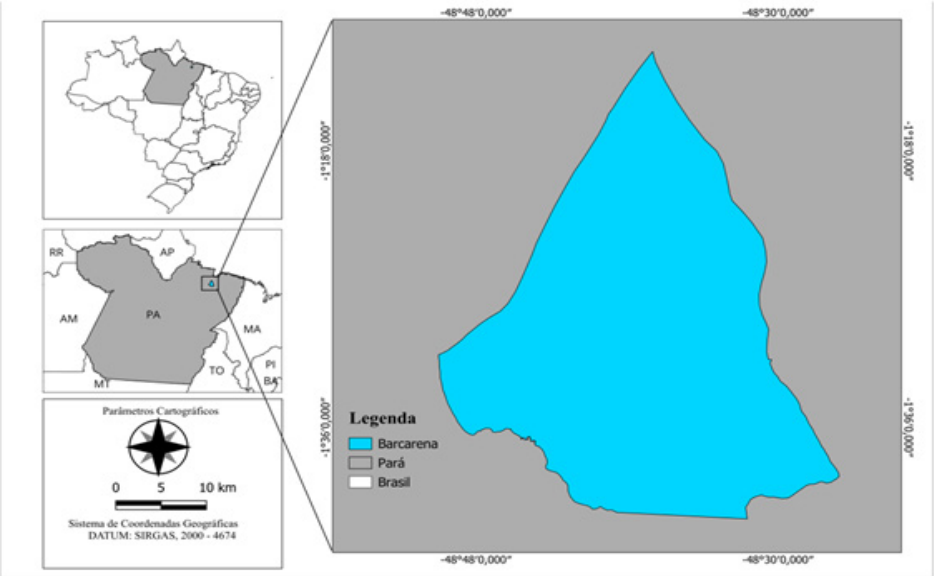
INTRODUÇÃO

As transformações do uso e cobertura da terra constituem importantes indicadores das mudanças territoriais promovidas pelas atividades econômicas e pelas dinâmicas de ocupação do espaço. Na Amazônia brasileira, tais transformações têm sido marcadas pela expansão de atividades produtivas, principalmente agropecuárias, pela incorporação de novas áreas aos circuitos globais de mercadorias e pela crescente pressão sobre os ecossistemas naturais, configurando processos complexos de reorganização territorial (Becker, 2009; Rocha; Vieira, 2018).

Nesse contexto, o monitoramento das mudanças na paisagem torna-se fundamental para compreender os desafios relacionados à sustentabilidade ambiental, à transição ecológica e ao planejamento do território rural frente ao avanço do capital no campo (Oliveira, 2006). O município de Barcarena - PA apresenta características que o tornam um importante objeto de estudo para a análise dessas transformações.

Situado na Região Metropolitana de Belém, às margens do rio Pará, em uma área estuarina de elevada diversidade ambiental (Abreu, 2024), o município possui uma formação territorial historicamente associada à presença de comunidades ribeirinhas, camponesas e quilombolas, cujos modos de vida e segurança alimentar foram estruturados em estreita relação com o manejo dos recursos naturais locais (Loureiro, 2014; Hazeu et al., 2017). Nas últimas décadas, entretanto, as frentes de modernização promoveram mudanças significativas na organização espacial do território, incluindo a ampliação de áreas destinadas à agropecuária e a introdução de cultivos comerciais, alterando padrões tradicionais de ocupação (Trindade Júnior, 2009).

Figura 1: Mapa de localização multidimensional do município de Barcarena - PA.



Fonte: Autores (2026).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar a expansão agropecuária e as transformações do uso e cobertura da terra no município de Barcarena - PA entre os anos de 2004 e 2024, com ênfase na evolução das áreas de pastagem, cultivos agrícolas e cobertura vegetal, a fim de identificar tendências de ocupação do território e discutir suas implicações para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento rural local.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem quali-quantitativa, uma vez que utiliza dados espaciais e estatísticos para mensurar as transformações físicas do uso e cobertura da terra, associando-os à interpretação crítica e teórica de seus reflexos socioespaciais. Quanto à natureza, enquadra-se como pesquisa aplicada, por produzir conhecimentos geográficos voltados à compreensão das dinâmicas territoriais e dos desafios socioambientais gerados pela expansão agropecuária. Em relação aos objetivos, assume caráter descritivo e explicativo, pois busca identificar, mensurar e explicar os fatores econômicos e agrários que impulsionam as mudanças na paisagem. Quanto aos procedimentos técnicos, configura-se como pesquisa documental e bibliográfica, fundamentada em bases cartográficas de acesso público e no referencial teórico da Geografia Agrária e Urbana Regional.

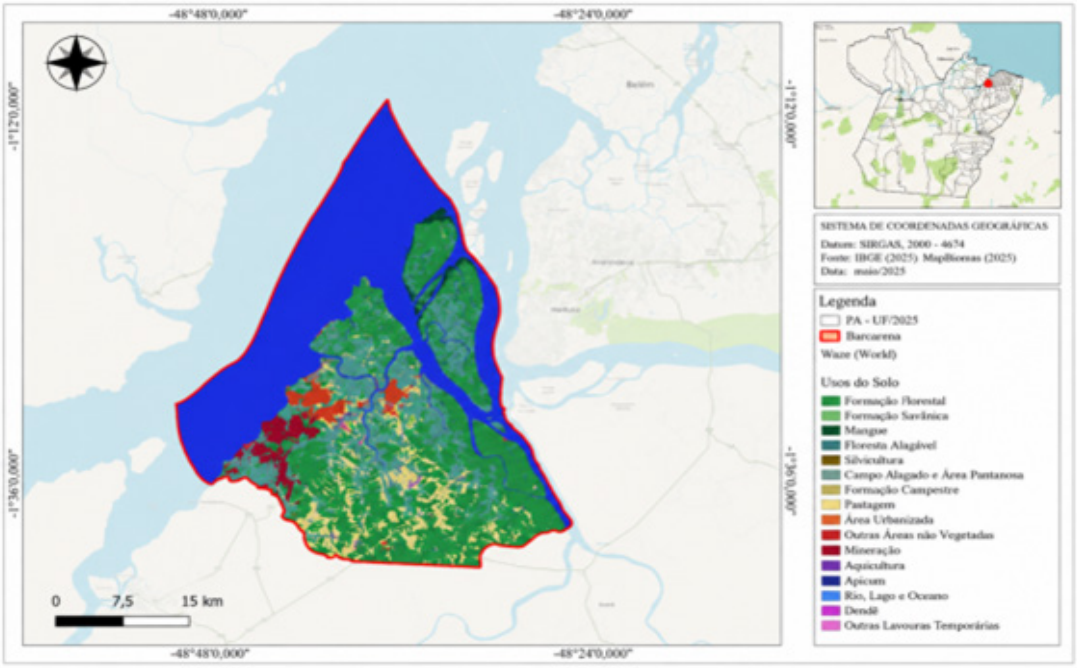
A área de estudo compreende o município de Barcarena, localizado na Região Metropolitana de Belém, estado do Pará, abrangendo uma extensão territorial de 131.033,19 hectares (IBGE, 2024). O município situa-se na margem direita do rio Pará, inserido em uma zona de estuário de alta complexidade geoecológica, caracterizada pelo mosaico ambiental de florestas de terra firme, áreas alagáveis como várzeas e igapós, manguezais e extensas superfícies hídricas (RADAMBRASIL, 1974).

Para a delimitação espacial da área de estudo e fundamentação analítica do território, utilizou-se o ambiente de Sistema de Informação Geográfica através do software livre e de código aberto QGIS, versão 3.34.14. As informações vetoriais referentes aos limites municipais e divisas político-administrativas foram obtidas a partir da Malha Territorial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). Todos os procedimentos de manipulação cartográfica foram desenvolvidos sob o Sistema de Referência de Coordenadas Geográficas oficial do Brasil, o SIRGAS 2000, código EPSG 4674.

Os dados de uso e cobertura da terra foram extraídos da Coleção 10.1 do Projeto MapBiomas (MapBiomas, 2026). Essa plataforma disponibiliza matrizes de tipo raster derivadas da classificação de séries temporais de imagens dos sensores Landsat, processadas em nuvem via Google Earth Engine. Os arquivos foram integrados ao software ArcGIS Pro e recortados para o polígono municipal de Barcarena. Os procedimentos de reclassificação de pixels seguiram de maneira estrita a legenda hierárquica oficial do MapBiomas, associando as assinaturas espectrais às categorias do uso da terra, cuja distribuição geográfica e diferenciação espacial no território municipal encontram-se

mapeadas a seguir.

Figura 2: Distribuição espacial do uso e cobertura do solo no município de Barcarena - PA.



Fonte: Autores (2026), com base em mapas de MapBiomas (2026).

Para garantir o controle de qualidade terrestre e a validação visual de superfícies antrópicas complexas frente às áreas naturais, utilizou-se complementarmente o serviço Esri World Imagery Basemap, que fornece imagens globais de alta resolução espacial, servindo de suporte interpretativo à validação das classes digitais mapeadas, conforme metodologia proposta por Almeida e Farias (2012).

A análise temporal concentrou-se em escala decadal, cobrindo os anos de 2004, 2014 e 2024, permitindo a comparação das dinâmicas da paisagem ao longo de duas décadas. Foram consideradas as categorias macroscópicas florestais, herbáceas e agropecuárias, bem como suas subclasses associadas de pastagem e cultivos de dendê, por representarem os principais componentes da expansão agropecuária identificada no município durante o período analisado.

Os valores de área foram calculados em hectares e convertidos em percentuais relativos à área total do município, possibilitando identificar as tendências de expansão, retração ou estabilidade de cada classe.

A interpretação e discussão dos dados estatísticos fundamentaram-se no cruzamento da análise espacial com os referenciais da Geografia Agrária, especialmente aqueles relacionados à expansão das atividades agropecuárias e às transformações do uso da terra na Amazônia, articulados ao debate sobre a justiça ambiental formulado por Acselrad (2009), à indissociabilidade entre sistemas de objetos e sistemas de ações proposta por Santos (2002), às contradições das frentes de modernização discutidas por Trindade Júnior (2009) e às territorialidades específicas abordadas por Almeida e Farias (2012) e Marin e

Almeida (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados geoespaciais revelam profundas reconfigurações no uso e cobertura da terra em Barcarena (2004 – 2024), marcadas pela expansão agropecuária e pelo declínio da vegetação natural. A cobertura florestal recuou de 69.338,46 hectares (52,9%) para 63.956,24 hectares (48,8%), totalizando a supressão de 5.382 hectares de floresta nativa. Esse processo de conversão antrópica representa o principal vetor de transformação da paisagem amazônica atual (Rocha; Vieira, 2018).

Os dados da Tabela 01 evidenciam que a agropecuária foi a classe que apresentou uma das maiores taxas de crescimento relativo entre 2004 e 2024. Sua participação territorial passou de 4,4% para 7,4% da área municipal, representando um acréscimo superior a quatro mil hectares. Embora a cobertura florestal permaneça predominante na paisagem local, a evolução das áreas agropecuárias demonstra uma tendência de fortalecimento das atividades produtivas rurais no município, refletindo transformações observadas em outras áreas do nordeste paraense.

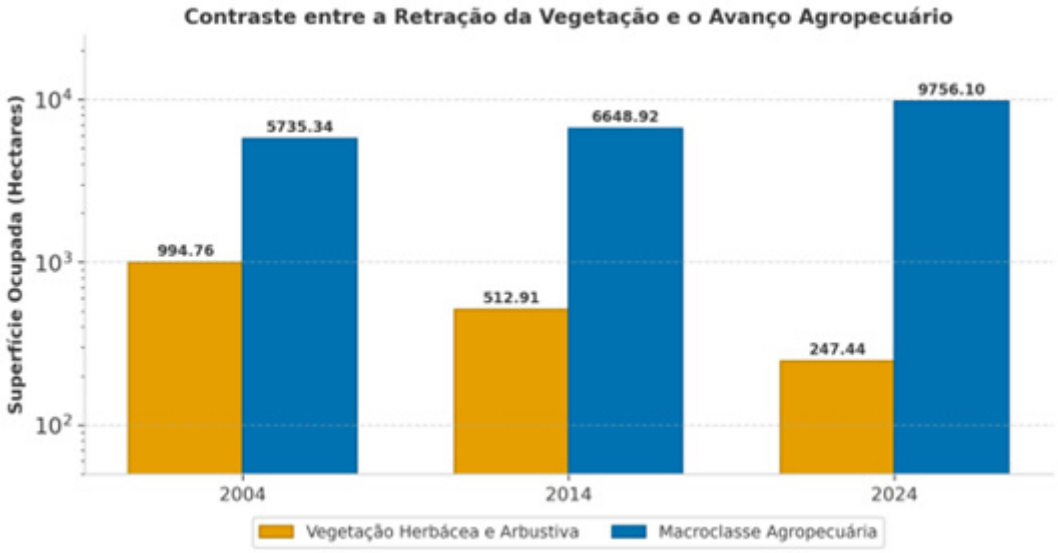
Tabela 01: Evolução quantitativa e proporcional das classes de uso e cobertura da terra em Barcarena - PA nos anos de 2004, 2014 e 2024.

Macroclasse	Área em 2004		Área em 2014		Área em 2024	
	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
1. Floresta	69338,45594	52,9	67783,69783	51,7	63956,24441	48,8
2. Vegetação Herbácea e Arbustiva	994,7576365	0,8	512,9089988	0,4	247,4386044	0,2
3. Agropecuária	5735,344763	4,4	6648,917171	5,1	9756,099257	7,4
4. Área Não Vegetada	2792,452266	2,1	3796,781132	2,9	5337,945251	4,1
5. Água e Ambiente Marinho	52172,18245	39,8	52290,88792	39,9	51735,46553	39,5
Área Total	131033,1931	100	131033,1931	100,0	131033,1931	100,0

Fonte: Autores (2026), com base em mapas de MapBiomas (2026).

A expansão das atividades agropecuárias ocorreu paralelamente à retração de formações vegetais secundárias e áreas de transição ecológica. Nesse contexto, observou-se uma severa retração nas áreas de vegetação herbácea e arbustiva de terra firme, que decresceram de 994,76 hectares em 2004 para 247,44 hectares em 2024, representando uma redução superior a 75%.

Figura 3: Dinâmica da comparação entre vegetação herbácea/arbustiva e expansão agrícola em Barcarena-PA (2004 – 2024).



Fonte: Autores (2026), com base em mapas de MapBiomas (2026).

No estrato rural, principal componente desta categoria de transição ecológica, houve um encolhimento de sua participação de 0,8% para 0,2% do território. Essa dinâmica de degradação da cobertura vegetal nativa e simplificação dos ambientes naturais contrasta diretamente com o crescimento expressivo e contínuo das áreas destinadas às atividades agropecuárias. A área ocupada pela classe Agropecuária expandiu-se de 5.735,34 hectares em 2004 para 9.756,10 hectares em 2024, configurando um aumento de aproximadamente 70% na sua extensão espacial ao longo das duas décadas analisadas.

Esse crescimento da fronteira agropecuária local foi sustentado fundamentalmente pela expansão das pastagens voltadas à atividade pecuária, que saltaram de 5.639,10 hectares para 9.509,10 hectares no período. Em termos absolutos, o incremento das pastagens ultrapassou 3.800 hectares, consolidando-se como o componente hegemônico da expansão agrícola municipal e confirmando a relevância da pecuária extensiva como agente de conversão territorial na Amazônia, conforme amplamente discutido por Oliveira (2006).

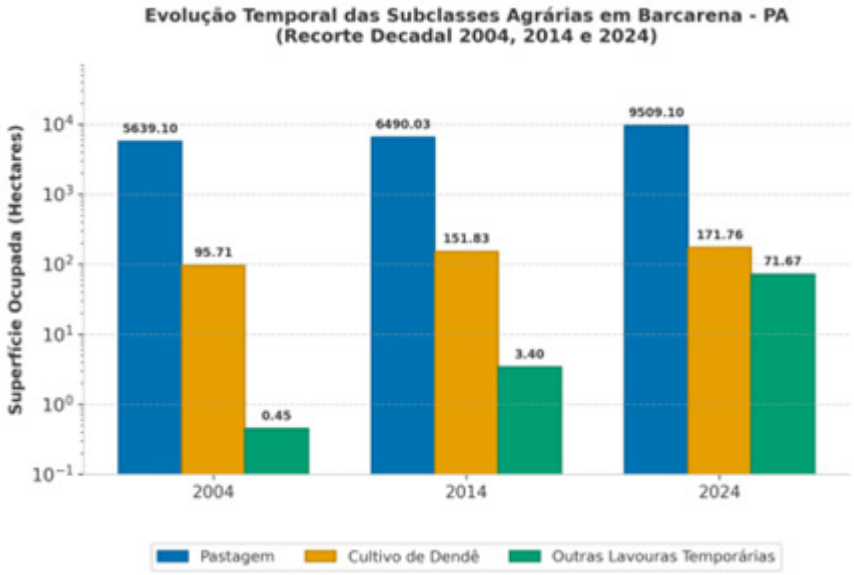
Em termos proporcionais, as pastagens responderam pela maior parcela da expansão agropecuária observada em Barcarena entre 2004 e 2024. Esse comportamento evidencia a permanência da pecuária como principal atividade responsável pela incorporação de novas áreas ao uso produtivo da terra, reproduzindo uma dinâmica historicamente observada em diferentes regiões da Amazônia. Embora o município não esteja entre os maiores polos pecuários do estado, os dados demonstram que a atividade exerce influência significativa na reorganização da paisagem rural local.

Paralelamente, os cultivos agrícolas perenes — representados regionalmente pela introdução da monocultura do dendê — registraram um crescimento modesto, mas contínuo, passando de 95,71 hectares em 2004 para 171,76 hectares em 2024, acompanhados pelo avanço das lavouras temporárias que alcançaram 71,67 hectares no último ano do recorte

temporal.

Embora os cultivos de dendê apresentem participação territorial inferior à das pastagens, sua expansão demonstra a diversificação gradual das atividades agropecuárias no município. A presença dessa cultura reflete processos de inserção de Barcarena em cadeias produtivas regionais vinculadas ao agronegócio amazônico, especialmente aquelas relacionadas à produção de óleos vegetais e biocombustíveis. Dessa forma, além da pecuária, observa-se o fortalecimento de atividades agrícolas comerciais capazes de influenciar a organização futura do espaço rural local.

Figura 4: Gráfico de transição proporcional e participação das subclasses agrárias (Pastagem e Dendê) no território de Barcarena - PA.



Fonte: Autores (2026), com base em mapas de MapBiomas (2026).

Essa transição produtiva e a substituição da cobertura vegetal natural ocorrem em um cenário de forte pressão exercida pelo avanço das áreas não vegetadas e artificiais, que expandiram de 2.792,45 hectares em 2004 para 5.337,95 hectares em 2024, impulsionadas pelo crescimento do tecido urbano e das atividades minerárias. Como a classe de águas e ambientes marinhos permaneceu relativamente estável ao longo do período analisado, infere-se que a expansão conjunta da agropecuária, da urbanização e da mineração ocorreu predominantemente sobre áreas de terra firme anteriormente ocupadas por formações vegetais naturais.

Sob a perspectiva produtiva, os resultados demonstram que a expansão agropecuária desempenhou papel relevante nas mudanças recentes do uso da terra em Barcarena, especialmente por meio da ampliação das áreas de pastagem. Embora os cultivos agrícolas permanentes tenham apresentado crescimento menos expressivo, a expansão do dendê evidencia processos de diversificação produtiva que tendem a influenciar a organização futura do espaço rural municipal. Esses resultados corroboram as interpretações de Oliveira (2006) acerca da importância da agropecuária como vetor de transformação territorial na Amazônia.

Ao mesmo tempo, essas mudanças também dialogam com as discussões de Acselrad (2009) sobre desigualdades ambientais produzidas por determinados modelos de desenvolvimento. À luz de Santos (2002), a expansão dos sistemas técnicos e produtivos reorganiza o território para atender demandas econômicas externas, alterando formas tradicionais de uso da terra. No contexto de Barcarena, conforme discutido por Trindade Júnior (2009), a expansão agropecuária, associada à urbanização e à mineração, integra um processo mais amplo de reconfiguração espacial que produz novos desafios para as comunidades camponesas, ribeirinhas e quilombolas.

Nesse sentido, a adoção de práticas compatíveis com a agricultura sustentável torna-se fundamental para conciliar a produção agropecuária, a conservação ambiental e a manutenção das territorialidades tradicionais na Amazônia estuarina. A implantação de sistemas agroflorestais e o manejo racional das pastagens surgem como alternativas para ampliar a eficiência produtiva sem pressionar a cobertura florestal, salvaguardando a reprodução social e a segurança alimentar de comunidades ribeirinhas, camponesas e quilombolas frente à expansão do agronegócio regional (Loureiro, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciaram a magnitude da reorganização contínua da paisagem em Barcarena-PA entre 2004 e 2024. Esse processo foi caracterizado pela diminuição da cobertura florestal, que perdeu mais de cinco mil hectares ao longo do período analisado, e pela expressiva retração das formações herbáceas e arbustivas. Em contrapartida, as pastagens consolidaram-se como o principal vetor de conversão da paisagem rural, acompanhadas pela expansão urbana e minerária, que intensificaram os processos de artificialização do território.

Essas transformações demonstram que a dinâmica territorial de Barcarena não pode ser compreendida apenas sob a ótica da produção agropecuária, mas deve ser analisada em articulação com os processos de modernização econômica que caracterizam a região metropolitana de Belém. A expansão simultânea da agropecuária, da mineração e da urbanização evidencia a crescente incorporação do município aos circuitos econômicos globais, promovendo novas formas de uso da terra e ampliando as pressões sobre os ecossistemas amazônicos.

Sob a perspectiva socioambiental, os resultados indicam que a expansão das atividades agropecuárias ocorreu paralelamente à redução da cobertura vegetal e ao avanço de outras formas de uso intensivo da terra, como a urbanização e a mineração. Embora a agropecuária represente importante atividade econômica para o município, sua expansão demanda estratégias capazes de compatibilizar a produção rural com a conservação dos recursos naturais e a manutenção da funcionalidade dos ecossistemas amazônicos.

Nesse contexto, destaca-se a necessidade de incentivar práticas alinhadas aos princípios da agricultura sustentável, incluindo a recuperação de áreas degradadas, o manejo racional das pastagens, os sistemas agroflorestais e outras alternativas produtivas capazes

de ampliar a eficiência do uso da terra sem intensificar a pressão sobre os remanescentes florestais. Tais medidas podem contribuir para fortalecer o desenvolvimento rural local e reduzir os impactos associados à conversão de ambientes naturais.

Além dos aspectos produtivos, as transformações identificadas também possuem implicações territoriais relevantes para comunidades ribeirinhas, camponesas e quilombolas, cujos modos de vida mantêm estreita relação com os recursos naturais existentes no município. Dessa forma, o planejamento territorial deve considerar simultaneamente os objetivos de crescimento econômico, conservação ambiental e garantia dos direitos territoriais dessas populações.

Conclui-se, portanto, que a expansão agropecuária desempenhou papel significativo nas mudanças do uso e cobertura da terra observadas em Barcarena entre 2004 e 2024, especialmente por meio da ampliação das áreas de pastagem. Associada a outros processos econômicos presentes no município, essa dinâmica contribuiu para a reorganização da paisagem local e reforça a importância do monitoramento contínuo por meio de geotecnologias e bases de dados espaciais. O uso do MapBiomas mostrou-se fundamental para a identificação dessas transformações, constituindo importante ferramenta de apoio à gestão ambiental e à formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável da Amazônia estuarina.

REFERÊNCIAS

ABREU, Giovanna. Inclusão de Barcarena na Região Metropolitana de Belém fortalece políticas públicas integradas. **Agência Pará**, Belém, 4 set. 2024. Disponível em: https://agenciapara.com.br/noticia/59342/inclusao-de-barcarena-na-regiao-metropolitana-de-belem-fortalece-politicas-publicas-integradas. Acesso em: 9 jun. 2026.

ACSELRAD, Henri. O que é justiça ambiental. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

ALMEIDA, Alfredo Wagner Berno de; FARIAS, Emmanuel de Almeida Farias. Nova Cartografia Social: territorialidades específicas e politização da consciência das fronteiras. Manaus: UEA Edições, 2012.

BECKER, Bertha K. As Amazônias: Ensaios sobre Geografia e Sociedade na Região Amazônica. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL:** Folha SA. 22 Belém. Rio de Janeiro, 1974.

HAZEU, Marcel et al. Barcarena entrega: uma experiência de resistência e conflitos sociais em comunidades tradicionais frente aos desastres socioambientais da mineração em Barcarena/PA. In: **CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE SOCIOLOGÍA**, 31., 2017, Montevidéu. Anais […]. Montevidéu: Asociación Latinoamericana de Sociología, 2017. Disponível em: https://www.aacademica.org/000-018/105.pdf. Acesso em: 8 jun. 2026.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas Territoriais:** Malha municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/

organizacao-do- territorio/malhas-territoriais.html. Acesso em: 8 jun. 2026.
LOUREIRO, Violeta Refkalefsky. A Amazônia no século XXI: novas formas de desenvolvimento ou a velha espoliação? Belém: GAP/NAEA, 2014.
MAPBIOMAS. **Uso e Cobertura (Coleção 10 – 1985 a 2024): Cobertura e Uso da Terra.** São Paulo: MapBiomas, 2026. Base de dados geoespaciais. Arquivo raster em formato .tif. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brazil_coverage_2024.tif. Acesso por meio do site institucional: https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/. Acesso em: 8 jun. 2026.
MARIN, Rosa Elizabeth Acevedo; ALMEIDA, Alfredo Wagner Berno de. Quilombolas: Reivindicações e Judicialização dos Conflitos. **Cadernos de Debates Nova Cartografia Social**, v. 1, n. 3. Manaus: UEA Edições, 2012.
OLIVEIRA, Ariovaldo Umbelino de. A Geografia Agrária e as transformações territoriais no campo brasileiro. **Campo-Território**: revista de geografia agrária, v. 1, n. 1, p. 14-41, 2006.
ROCHA, Gilberto de Miranda; VIEIRA, Ima Célia Guimarães. Uso e cobertura da terra na Amazônia: dinâmicas e cenários. Belém: Editora UFPA, 2018.
SANTOS, Milton. A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. São Paulo: EDUSP, 2002.
TRINDADE JÚNIOR, Saint-Clair Cordeiro da. Cidades integradas, periferias regionais: as frentes de modernização e a reorganização do espaço metropolitano de Belém. **Revista NERA**, v. 12, n. 14, p. 24-41, 2009.

CAPÍTULO 3

DESEMPENHO INICIAL DE PLANTAS DE MILHO PELA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL NO SULCO DE SEMEADURA

Grasiele Kathirine dos Reis Dalgalo[1];
[1]Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Lagoa da Confusão, TO.
Raimundo Filho Freire de Brito[2].
[2]Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Lagoa da Confusão, TO.
http://lattes.cnpq.br/9793546290573184

RESUMO: O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais importantes no cenário mundial e brasileiro, sendo amplamente utilizado na alimentação humana, na nutrição animal e como matéria-prima para diversos produtos industriais. O ensaio experimental foi instalado na área do IFTO *campus* Lagoa, sendo conduzido em canteiro de areia lavada coberto com tela de sombreamento 50%. Foi realizado a semeadura do milho no sulco ao qual foi aplicado a solução com produto organomineral N-1000® com os seguintes tratamentos: T1 – Testemunha (sem aplicação); T2 - 7,5 g de N-1000® L^{-1} de água; T3 - 15 g de N-1000® L^{-1} de água e T4 - 22,5 g de N-1000® L^{-1} de água. Objetivou-se com este estudo verificar se existe efeito do uso de substância orgânica aplicada no sulco de semeadura na cultura do milho. A aplicação do N-1000® no sulco de semeadura influenciou o desempenho inicial das plantas de milho, com efeito significativo sobre o comprimento radicular, a massa seca e o comprimento da parte aérea, não apresentando efeito significativo sobre a massa seca das raízes. A dose de 15 g L^{-1} apresentou os resultados mais favoráveis para o desenvolvimento da parte aérea.
PALAVRAS-CHAVE: Ácido Húmico. *Zea mays*. Semeadura.

INITIAL PERFORMANCE OF MAIZE PLANTS USING AN ORGANOMINERAL PRODUCT IN THE SOWING FURROW

ABSTRACT: Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important agricultural crops globally and in Brazil, widely used for human consumption, animal nutrition, and as a raw material for various industrial products. The experiment was conducted at the IFTO Lagoa *campus* in a washed-sand bed covered with 50% shade netting. Maize was sown in furrows treated with an organo-mineral solution (N-1000®) using the following treatments: T1 – Control (no application); T2 – 7.5 g N-1000® L^{-1} water; T3 – 15 g N-1000® L^{-1} water; and T4 – 22.5 g N-1000® L^{-1} water. The study aimed to determine whether the application of an organic substance in the sowing furrow affects the maize crop. Applying N-1000® in the sowing furrow influenced the initial performance of the maize plants, showing a significant effect on root length, shoot dry mass, and shoot length, but no significant effect on root dry mass. The 15 g L^{-1} dosage yielded the most favorable results for shoot development.

KEYWORDS: Humic acid. *Zea mays.* Sowing

INTRODUÇÃO

O milho *(Zea mays* L.*)* é uma das culturas agrícolas mais importantes no cenário mundial e brasileiro, sendo amplamente utilizado na alimentação humana, na nutrição animal e como matéria-prima para diversos produtos industriais.

No Brasil, sua produção possui grande relevância econômica e social, especialmente em regiões com forte vocação agrícola, como o Cerrado. O milho é uma variável importante na produção pecuária (bovino, suíno, aves), assim como na produção de etanol, colaborando na formação de preços nesses mercados (Coelho, 2026).

Segundo Rathmann *et al*., (2025), as mudanças climáticas podem gerar custos significativos para a economia brasileira. Sendo neste cenário, importante desenvolver tecnologias que mitiguem os efeitos negativos do clima sobre a produção agrícola e consequentemente à segurança alimentar mundial.

Nesse contexto, o uso de substâncias orgânicas como ferramenta biotecnológica pode configurar em estratégia eficiente e sustentável para a manutenção e ou incremento na produtividade da cultura do milho (Martins; Ferreira, 2026).

OBJETIVO

Objetivou-se verificar se diferentes doses de um fertilizante organomineral aplicado no sulco de semeadura, causa diferença nas características agronômicas em plântulas de milho.

METODOLOGIA

O ensaio experimental foi instalado na área do IFTO *campus* Lagoa da Confusão, sendo conduzido em canteiro suspenso preenchido com areia lavada sob tela de sombreamento de 50%. Antes da semeadura, foi realizado o teste de germinação do lote de sementes que apresentou 98% de germinação. Após o teste, foi realizada a semeadura no sulco com 2 cm de profundidade. O espaçamento entre os sulcos foi de 20 cm entre linhas e as sementes posicionadas na linha a cada 5 cm. Foi preparada calda com o produto fertilizante orgânico organomineral classe “a” denominado comercialmente como N-1000®, sendo aplicada na dose de 20 ml por metro linear. Esse produto apresenta as seguintes garantias e características: ácido húmico 70%, ácido fúlvico 15%, carbono orgânico 44,4%, K_2O 10,4%, CTC 3025 $mmol_c\ kg^{-1}$, pH 9-11 e tamanho de partícula de 1-2 mm.

A semeadura foi realizada em 18/02/2026 com avaliação em 02/03/2026. O material genético de milho híbrido utilizado foi o SS214E VIP3®.

O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos. Os tratamentos foram compostos por T1: Testemunha (sem aplicação); T2: 7,5 g de N-1000® l^{-1} de água; T3: 15 g de N-1000® l^{-1} de água; T4: 22,5 g de N-1000® l^{-1} de água. O tratamento foi estabelecido com 4 linhas de semeadura, sendo considerada para coleta

e avaliação, as duas linhas centrais, retirando-se 10 plantas em cada linha. Desse modo, foram analisadas 20 plantas por tratamento. As variáveis avaliadas foram o comprimento da parte aérea (cm) e comprimento da raiz (cm) com uso de régua milimetrada, biomassa seca da parte aérea (g) e da raiz (g) pela pesagem do material após secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software SAS onDemand for Academics® e submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando observado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que a aplicação do fertilizante organomineral promoveu respostas diferenciadas entre o sistema radicular e a parte aérea das plântulas de milho, Tabela 1. A biomassa seca das raízes não foi influenciada significativamente pelos tratamentos (p = 0,2695), enquanto a biomassa seca e o comprimento da parte aérea apresentaram respostas significativas. O tratamento T3 proporcionou a maior biomassa seca da parte aérea e o maior comprimento da parte aérea, indicando que essa dose proporcionou condições favoráveis ao crescimento inicial das plântulas. Respostas diferenciadas entre o crescimento radicular e aéreo podem ocorrer em função da disponibilidade de nutrientes, uma vez que diferentes níveis de fertilização podem promover alterações distintas na biomassa radicular e na relação entre raízes e parte aérea (Ordóñez *et al*., 2021).

A manutenção da biomassa radicular, acompanhada pelo aumento da biomassa da parte aérea, sugere alteração no padrão de alocação de biomassa das plântulas. Em T3, a biomassa seca das raízes foi numericamente superior (0,156 g), porém não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, enquanto a biomassa da parte aérea foi significativamente maior.

Considerando as médias obtidas, a relação entre biomassa radicular e aérea foi de aproximadamente 3,25 na testemunha e 2,74 em T3, indicando, de forma descritiva, maior participação relativa da parte aérea no acúmulo de biomassa nesse tratamento. Essa resposta é compatível com a capacidade das plantas de ajustar a distribuição de biomassa entre raízes e parte aérea em função da disponibilidade de nutrientes (Ordóñez *et al*., 2021).

Tabela 1: Variáveis de plântulas de milho sob diferentes doses de organomineral aplicados no sulco de semeadura.

Tratamento	Biomassa Seca das raízes (g)	Biomassa Seca da parte aérea (g)	Comprimento da raiz (cm)	Comprimento da parte aérea (cm)
T1 (testemunha)	0,143±0,006 a	0,044±0,003 b	23,61±1,42 a	3,93±0,145 b
T2 (7,5 g L-1)	0,141±0,006 a	0,042±0,003 b	21,78±1,67 ab	4,04±0,0221 b
T3 (15 g L-1)	0,156±0,007 a	0,057±0,002 a	16,67±0,32 b	5,06±0,045 a
T4 (22,5 g L-1)	0,141±0,005 a	0,051±0,003 b	21,47±1,79 ab	4,65±0,187 a
C.V (%)	19,4	27,2	30,7	16,6
p-valor	0,2695	0,0077	0,0004	0,0001

Valores das médias acompanhados pelas mesmas letras, na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Fonte: Elaboração dos autores, 2026.

Outro aspecto relevante foi a redução do comprimento radicular observada em T3, que passou de 23,61 cm na testemunha para 16,67 cm, apesar da manutenção da biomassa seca das raízes. Esse resultado demonstra que comprimento e biomassa radicular constituem características distintas do crescimento e não necessariamente apresentam respostas semelhantes.

A arquitetura radicular pode ser modificada em função da distribuição e disponibilidade dos nutrientes no solo, alterando características morfológicas das raízes e, consequentemente, a relação entre crescimento radicular e crescimento da parte aérea. Em milho, o fornecimento localizado de nutrientes pode modificar características da morfologia radicular e favorecer o crescimento da parte aérea e a aquisição de nutrientes (Zhang *et al*., 2023).

Nesse contexto, a menor relação raiz/parte aérea calculada a partir das médias em T3 e T4 pode indicar maior alocação relativa de biomassa para a parte aérea nesses tratamentos. Entretanto, essa interpretação deve ser considerada com cautela, pois a relação raiz/parte aérea não foi submetida a uma análise estatística específica. Além disso, o presente estudo não avaliou diretamente a distribuição de fotoassimilados, a absorção de nutrientes ou outras características da arquitetura radicular.

Portanto, os resultados permitem sugerir uma alteração no padrão de alocação de biomassa, mas não permitem afirmar que houve aumento comprovado do direcionamento de fotoassimilados para a parte aérea.

A resposta observada também é compatível com estudos que demonstram a eficiência agronômica de fontes organominerais na cultura do milho. Frazão *et al.* (2021) verificaram que um fertilizante organomineral fosfatado apresentou elevada eficiência agronômica quando comparado com fonte fosfatada convencional em milho e soja, demonstrando o

potencial dessas fontes no fornecimento de nutrientes. Dessa forma, no presente estudo, a dose de 15 g L^{-1} apresentou a resposta mais favorável ao crescimento inicial das plântulas, principalmente pelo maior acúmulo de biomassa e crescimento da parte aérea, enquanto a biomassa das raízes foi mantida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que a aplicação do fertilizante organomineral N-1000® influenciou o crescimento inicial das plântulas de milho, promovendo respostas diferenciadas entre os componentes radicular e aéreo. A dose de 15 g L^{-1} (T3) proporcionou maior biomassa seca e comprimento da parte aérea, sem alteração significativa da biomassa seca das raízes. Apesar da redução do comprimento radicular nessa dose, a biomassa das raízes foi mantida, enquanto a relação raiz/parte aérea calculada a partir das médias apresentou menor valor, sugerindo maior participação relativa da parte aérea no acúmulo de biomassa. Dessa forma, nas condições avaliadas, a dose de 15 g L^{-1} apresentou-se como a mais favorável ao crescimento inicial das plântulas de milho.

REFERÊNCIAS

CÔELHO, Jackson Dantas. **MILHO.** v. 11, n. 433, maio de 2026. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, v. 11, 2026.

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. M.; PIEROBON, V. M.; RIBEIRO, J. V. S.; LAVRES, J. A poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer has higher agronomic effectiveness than conventional phosphate fertilizer applied to field-grown maize and soybean. Sustainability, v. 13, n. 21, 11635, 2021.

MARTINS, Ana Laura Sodré; FERREIRA, Cleidson Soares. **Desenvolvimento de plântulas de milho com o uso de bioestimulantes e promotores de crescimento**. Revista Agroveterinária do Sul de Minas - ISSN: 2674-9661, v. 8, n. 1, p. 112–131, 2026.

ORDÓÑEZ, R. A.; CASTELLANO, M. J.; DANALATOS, G. N.; WRIGHT, E. E.; HATFIELD, J. L.; BURRAS, L.; ARCHONTOULIS, S. V. Insufficient and excessive N fertilizer input reduces maize root mass across soil types. Field Crops Research, v. 267, 108142, 2021.

RATHMANN, Régis (coord.). Estudo estratégico dos impactos econômicos da mudança do clima no Brasil. Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento, 2025. 201 p.

ZHANG, A.; WANG, X.-X.; ZHANG, D.; DONG, Z.; JI, H.; LI, H. Localized nutrient supply promotes maize growth and nutrient acquisition by shaping root morphology and physiology and mycorrhizal symbiosis. Soil and Tillage Research, v. 225, 105550, 2023.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO ESTRATÉGIA DE RESTAURAÇÃO PRODUTIVA NA AMAZÔNIA

Loarena Leal Cruz[1];
[1]Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Clima e Sustentabilidade (SEMAS), Belém, Pará.
https://lattes.cnpq.br/2879910743114666
Andrielle Leal da Silva[2];
[2]Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará.
http://lattes.cnpq.br/0825562924164356
Karlla Zilda Vieira Tavares[3].
[3]Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará.
http://lattes.cnpq.br/8194013703056612

RESUMO: A degradação de áreas na Amazônia constitui um desafio para a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade das atividades produtivas. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) apresentam potencial para conciliar restauração ambiental e uso produtivo de áreas degradadas. Este estudo analisa as contribuições ambientais, produtivas e socioeconômicas dos SAFs para a restauração produtiva na Amazônia, bem como as condições necessárias à sua consolidação. Trata-se de pesquisa qualitativa, exploratória e bibliográfica, baseada em publicações científicas e documentos técnicos, com ênfase na Amazônia brasileira. A análise considerou aspectos relacionados ao solo, carbono, biodiversidade, diversificação produtiva, geração de renda e bioeconomia. Os resultados indicam que os SAFs podem favorecer a recuperação da qualidade do solo, a ciclagem de nutrientes, a conservação de estoques de carbono e a diversificação vegetal e produtiva. A regeneração natural e o manejo agroecológico também contribuem para a recuperação ambiental e a manutenção da fertilidade. No âmbito socioeconômico, a diversificação pode ampliar as possibilidades de renda e fortalecer cadeias da bioeconomia e da sociobiodiversidade. Conclui-se que a consolidação dos SAFs depende de manejo adequado, assistência técnica, financiamento, infraestrutura, organização produtiva e acesso aos mercados.
PALAVRAS-CHAVE: Biodiversidade, Bioeconomia. Serviços ecossistêmicos.

AGROFORESTRY SYSTEMS AS A STRATEGY FOR PRODUCTIVE RESTORATION IN THE AMAZON

ABSTRACT: The degradation of areas in the Amazon poses a challenge to biodiversity conservation and the sustainability of productive activities. In this context, agroforestry systems (AFSs) have the potential to reconcile environmental restoration with the productive use of degraded areas. This study analyzes the environmental, productive, and socioeconomic

contributions of AFSs to productive restoration in the Amazon, as well as the conditions required for their consolidation. This is a qualitative, exploratory, and bibliographic study based on scientific publications and technical documents, with emphasis on the Brazilian Amazon. The analysis considered aspects related to soil, carbon, biodiversity, productive diversification, income generation, and the bioeconomy. The results indicate that AFSs can contribute to improving soil quality, nutrient cycling, carbon stock conservation, and plant and productive diversification. Natural regeneration and agroecological management also contribute to environmental recovery and the maintenance of soil fertility. From a socioeconomic perspective, diversification can expand income-generating opportunities and strengthen bioeconomy and sociobiodiversity value chains. It is concluded that the consolidation of AFSs depends on appropriate management, technical assistance, financing, infrastructure, productive organization, and market access.
KEYWORDS: Biodiversity. Bioeconomy. Ecosystem services.

INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha funções fundamentais para a conservação da biodiversidade, regulação climática, manutenção dos ciclos hidrológicos e armazenamento de carbono. Paralelamente à sua importância ecológica, constitui um território marcado por diferentes formas de ocupação e utilização dos recursos naturais, nas quais atividades produtivas e condições socioeconômicas das populações rurais mantêm estreita relação com a paisagem. Essa interação entre conservação ambiental e uso produtivo do território torna particularmente relevante a busca por estratégias capazes de recuperar áreas alteradas sem desconsiderar as necessidades econômicas das populações rurais.

A conversão da vegetação nativa e o uso inadequado do solo contribuíram para a formação de áreas degradadas em diferentes partes da região. Além da perda de cobertura vegetal, esses processos podem comprometer atributos físicos, químicos e biológicos do solo, reduzir a capacidade de regeneração da vegetação e limitar a produtividade das áreas. Nesse cenário, recuperar a funcionalidade ambiental dessas áreas sem desconsiderar as necessidades produtivas constitui um dos desafios para a construção de modelos sustentáveis de desenvolvimento rural. Nesse sentido, estratégias de recuperação que conciliem recomposição de funções ecológicas, produção de alimentos e geração de renda ganham relevância no contexto amazônico.

Nessa perspectiva, a recuperação de áreas degradadas deve estar associada à adoção de práticas de manejo capazes de conservar a qualidade do solo e reduzir a recorrência dos processos de degradação. O manejo agroecológico assume relevância nesse processo por considerar o solo de forma integrada e priorizar práticas relacionadas à manutenção e ao incremento da matéria orgânica, à cobertura do solo, à adubação verde, à diversificação dos sistemas produtivos e à ciclagem de nutrientes. Segundo Alcântara (2017), essas práticas constituem componentes importantes do manejo agroecológico e contribuem para a manutenção da fertilidade e da qualidade do solo. Nesse sentido,

sua incorporação às estratégias de restauração produtiva pode favorecer não apenas a recuperação de áreas já degradadas, mas também a sustentabilidade de seu uso produtivo ao longo do tempo.

A restauração produtiva insere-se nessa discussão ao propor a recuperação de funções ecológicas associadas à utilização econômica das áreas em processo de recuperação. Entre as estratégias compatíveis com essa perspectiva destacam-se os sistemas agroflorestais (SAFs), caracterizados pela integração intencional de espécies arbóreas com cultivos agrícolas e outros componentes produtivos. Nessa perspectiva, a produção não constitui elemento secundário, mas parte da estratégia de recuperação, especialmente em territórios nos quais a permanência das atividades agrícolas está associada à reprodução econômica das famílias rurais

A presença de árvores e a diversificação vegetal conferem aos SAFs maior complexidade estrutural quando comparados a sistemas agrícolas simplificados. Essa configuração pode favorecer a ciclagem de nutrientes, produção de biomassa, conservação do solo, armazenamento de carbono e criação de habitats para diferentes organismos. Entretanto, a intensidade desses benefícios depende da composição, estrutura e manejo adotados em cada sistema.

Ortolan, Maciel e Martins (2025) demonstram que sistemas agroflorestais com maior diversidade vegetal, estrutura mais complexa e manejo menos intensivo tendem a apresentar resultados mais favoráveis para a riqueza de espécies. Os autores ressaltam, entretanto, que a implantação de SAFs não deve ocorrer mediante substituição de vegetação nativa preservada, reforçando sua aplicação principalmente em áreas previamente alteradas.

No contexto amazônico, essa perspectiva assume especial importância diante da possibilidade de transformar áreas produtivas degradadas em sistemas mais diversificados. No município de Tomé-Açu, Pará, Oliveira Neto, Alves e Schwartz (2022) observaram que agricultores familiares desenvolvem SAFs associados à regeneração natural, possibilitando conciliar produção, diversidade de espécies, serviços ambientais, segurança alimentar e geração de renda.

Além dos benefícios ecológicos, a diversificação produtiva permite associar espécies agrícolas, frutíferas e florestais com diferentes ciclos de produção, criando possibilidades de geração de renda ao longo do desenvolvimento do sistema. Essa característica pode reduzir a exposição dos produtores às oscilações de uma única cadeia produtiva e distribuir os retornos econômicos ao longo do tempo. A diversificação produtiva, portanto, estabelece uma conexão entre restauração, segurança econômica e valorização da biodiversidade. O que favorece as discussões relacionadas à bioeconomia amazônica e à valorização econômica da biodiversidade.

Diante disso, questiona-se: em que medida os sistemas agroflorestais podem contribuir para conciliar a recuperação de áreas degradadas, a conservação ambiental e a geração de benefícios socioeconômicos na Amazônia? O presente estudo tem como objetivo analisar o potencial dos SAFs como estratégia de restauração produtiva na Amazônia,

considerando suas contribuições ambientais, produtivas e socioeconômicas, bem como as condições e limitações relacionadas à sua implantação e consolidação.

OBJETIVO

Analisar, de forma integrada, o potencial dos sistemas agroflorestais como estratégia de restauração produtiva na Amazônia, considerando sua contribuição para a recuperação de áreas degradadas, a conservação da biodiversidade e das funções ecológicas, a melhoria das condições do solo, a diversificação dos sistemas produtivos e a geração de benefícios socioeconômicos, bem como os fatores ambientais, técnicos, econômicos e institucionais que influenciam sua implantação, consolidação e permanência no território.

METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como pesquisa qualitativa, exploratória e bibliográfica, desenvolvida a partir da análise de artigos científicos e documentos técnicos relacionados aos sistemas agroflorestais, restauração de áreas degradadas, biodiversidade, serviços ecossistêmicos e sustentabilidade, buscando identificar evidências sobre as contribuições ambientais, produtivas e socioeconômicas dos SAFs.

Foram priorizadas publicações recentes, com ênfase no período de 2020 a 2026 e em estudos desenvolvidos na Amazônia brasileira. Trabalhos anteriores foram utilizados de forma complementar quando considerados relevantes para a fundamentação conceitual. A seleção considerou a pertinência dos estudos em relação ao objeto da pesquisa, priorizando trabalhos que apresentassem evidências empíricas ou análises relacionadas à recuperação de áreas degradadas, funcionamento dos SAFs, biodiversidade, produção, renda e bioeconomia na região amazônica.”

A análise foi estruturada em três dimensões inter-relacionadas: ambiental, considerando solo, carbono, biodiversidade e recuperação das funções ecológicas; produtiva, relacionada à diversificação dos sistemas e à obtenção de produtos em diferentes períodos; e socioeconômica, envolvendo geração de renda, agricultura familiar, bioeconomia e condições necessárias à consolidação dos SAFs.

Os resultados apresentados correspondem, portanto, a uma síntese interpretativa da literatura selecionada, buscando identificar convergências, potencialidades e limitações relacionadas à utilização dos sistemas agroflorestais como estratégia de restauração produtiva na Amazônia., sem pretensão de generalização dos resultados para todos os contextos amazônicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura analisada evidencia que os sistemas agroflorestais apresentam potencial para recuperar funções ambientais em áreas anteriormente submetidas a usos degradantes. A incorporação de espécies arbóreas e a manutenção de cobertura vegetal mais diversificada modificam características estruturais e funcionais dos sistemas produtivos, favorecendo

processos relacionados à conservação do solo, ciclagem de nutrientes, armazenamento de carbono e biodiversidade.

Recuperação ambiental e qualidade do solo

Entre as contribuições mais relevantes dos SAFs encontra-se a recuperação da qualidade do solo. A presença de diferentes estratos vegetais favorece a deposição de material orgânico, enquanto sistemas radiculares diversificados exploram diferentes profundidades e contribuem para a estruturação do solo.

Evidências recentes obtidas na Amazônia brasileira reforçam essa contribuição. Brasil et al. (2026), ao analisarem a conversão de pastagem degradada em sistemas agroflorestais comerciais de cacau com 12 e 25 anos, verificaram maior teor de matéria orgânica, estoque de carbono e porosidade nos SAFs em relação à pastagem. Também foram observadas redução da densidade e da resistência do solo à penetração, além de maior riqueza da macrofauna no sistema mais antigo.

Esses resultados demonstram que a restauração produtiva pode promover alterações progressivas nas características físicas e biológicas de solos degradados. A comparação entre diferentes tempos de implantação sugere que os efeitos dos SAFs sobre o solo devem ser compreendidos como processos graduais, cuja expressão depende da trajetória de manejo e do desenvolvimento dos componentes arbóreos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2025) em Silves, Amazonas. Ao comparar um SAF estabelecido há 22 anos com área de floresta nativa, os autores verificaram que o sistema agroflorestal contribuiu para a conservação dos estoques de carbono orgânico do solo, apresentando ainda valores de densidade semelhantes aos encontrados na floresta.

Esses resultados reforçam que a avaliação dos SAFs como estratégia de restauração deve considerar indicadores físicos e biológicos do solo, e não apenas a produtividade agrícola obtida no sistema. Essas evidências não significam que SAFs reproduzam integralmente as condições ecológicas dos ecossistemas florestais, mas indicam que sua implantação em áreas previamente degradadas pode favorecer trajetórias de recuperação ambiental.

Biodiversidade e complexidade dos sistemas

A contribuição dos SAFs para a biodiversidade está diretamente relacionada ao desenho e manejo adotados. Ortolan, Maciel e Martins (2025), em revisão sistemática sobre agroflorestas em regiões tropicais, demonstraram que sistemas com maior diversidade vegetal, estruturas mais complexas, manejo menos intensivo e matrizes de paisagem mais permeáveis tendem a apresentar melhores condições para a riqueza de espécies.

Portanto, a simples presença de árvores não é suficiente para assegurar o potencial restaurador de um SAF, uma vez que seus efeitos dependem da diversidade, da estrutura da vegetação, do manejo e da configuração da paisagem. SAFs compostos por poucas

espécies e manejados intensivamente podem apresentar benefícios superiores aos de determinadas monoculturas, mas possuem menor capacidade de proporcionar funções relacionadas à biodiversidade quando comparados a sistemas diversificados.

Essa diferenciação é especialmente importante quando os SAFs são utilizados como estratégia de restauração. Sua implantação deve priorizar áreas anteriormente degradadas ou antropizadas e ser complementar à conservação das florestas nativas.

Experiências no Pará demonstram possibilidades de integração entre produção e regeneração. Oliveira Neto, Alves e Schwartz (2022), ao estudarem SAFs manejados por agricultores familiares de Tomé-Açu, identificaram sistemas nos quais a regeneração natural foi incorporada às áreas produtivas. Os sistemas com regeneração apresentaram maior riqueza e diversidade arbórea, além de possibilitarem manutenção de serviços ambientais, produção de alimentos e geração de renda.

A incorporação da regeneração natural aos sistemas produtivos amplia essa perspectiva ao demonstrar que a restauração não precisa ocorrer exclusivamente pela implantação planejada de espécies. A manutenção e condução de processos naturais podem constituir componentes do desenho agroflorestal, desde que compatíveis com os objetivos produtivos e com a conservação da vegetação nativa. A experiência demonstra que processos naturais podem ser incorporados ao planejamento produtivo, ampliando a heterogeneidade da paisagem e reduzindo a separação rígida entre espaços destinados à produção e à recuperação ambiental.

Produção, renda e bioeconomia

A dimensão econômica constitui elemento fundamental para compreender a viabilidade da restauração produtiva. Sistemas agroflorestais permitem combinar espécies com diferentes ciclos, possibilitando que cultivos de retorno mais rápido sejam associados a componentes perenes e florestais.

No Pará, Santana et al. (2022) avaliaram sistemas agroflorestais sob a perspectiva bioeconômica e demonstraram seu potencial para contribuir simultaneamente com a recuperação de áreas degradadas e a capitalização dos produtores. Essa perspectiva é relevante porque a sustentabilidade dos projetos de restauração depende não apenas de seu desempenho ambiental, mas também de sua capacidade de permanecer economicamente viável. A viabilidade econômica, nesse sentido, não deve ser entendida apenas como resultado complementar da restauração, mas como condição para sua continuidade no território, especialmente em sistemas conduzidos pela agricultura familiar.

A diversificação também reduz, potencialmente, a dependência de uma única cultura e possibilita integrar produtos associados à biodiversidade amazônica. Frutos, sementes, óleos, fibras e outros produtos podem constituir cadeias relacionadas à bioeconomia e agregar valor à manutenção de sistemas produtivos diversificados.

A articulação entre diversificação produtiva e cadeias da sociobiodiversidade pode ampliar o valor econômico associado à manutenção de paisagens diversificadas,

aproximando a restauração produtiva de estratégias territoriais de bioeconomia.

Entretanto, a diversidade biológica não se converte automaticamente em retorno econômico. A consolidação dessas iniciativas depende da existência de mercados, infraestrutura de beneficiamento, logística, assistência técnica, acesso ao crédito e organização produtiva.

Limitações e condições para implantação

Apesar das potencialidades identificadas, os SAFs não devem ser compreendidos como solução universal para a degradação ambiental. Sua efetividade depende da adequação do desenho agroflorestal às condições ambientais, produtivas e socioeconômicas de cada território. A implantação e manutenção de sistemas diversificados exigem conhecimento técnico e planejamento de longo prazo.

Entre os desafios encontram-se os custos iniciais de implantação, disponibilidade de sementes e mudas, necessidade de mão de obra, complexidade do manejo, tempo de retorno de determinadas espécies e acesso aos mercados. Em revisão sistemática sobre os obstáculos à adoção de práticas agroflorestais, Tranchina, Reubens e Frey (2024) demonstram que fatores econômicos, técnicos, institucionais e sociais podem limitar sua adoção.

Esses condicionantes indicam que a expansão dos SAFs não depende exclusivamente da decisão individual dos produtores, mas também de ambientes institucionais capazes de reduzir riscos, ampliar capacidades técnicas e criar condições de mercado.

Nesse sentido, políticas públicas de restauração não devem restringir-se ao incentivo ao plantio. Assistência técnica continuada, crédito adequado aos ciclos produtivos, estruturação de cadeias de comercialização e valorização dos serviços ambientais são componentes necessários para ampliar a permanência dos produtores nos sistemas.

Sob essa perspectiva, a assistência técnica assume importância não apenas na etapa de implantação dos SAFs, mas também no acompanhamento continuado do manejo e da trajetória de recuperação do solo. O monitoramento de indicadores como matéria orgânica, densidade e porosidade, fertilidade química e componentes da biota edáfica pode subsidiar ajustes nas práticas de manejo e permitir a avaliação da evolução funcional das áreas. A ATER continuada pode, assim, contribuir para compatibilizar os objetivos de restauração, conservação do solo e viabilidade produtiva ao longo do desenvolvimento dos sistemas agroflorestais.

A análise da literatura permite compreender, portanto, que a restauração produtiva por meio dos SAFs depende da articulação entre recuperação ecológica, viabilidade produtiva e condições socioeconômicas e territoriais para sua manutenção. A efetividade desses sistemas resulta, assim, da interação entre características biofísicas, desenho produtivo, práticas de manejo e condições institucionais e econômicas, o que reforça a necessidade de abordagens integradas para sua implantação na Amazônia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas agroflorestais apresentam potencial relevante para integrar estratégias de restauração produtiva de áreas degradadas na Amazônia.A análise da literatura evidenciou que esse potencial está associado à capacidade dos SAFs de articular recuperação de funções ecológicas, diversificação produtiva e geração de benefícios socioeconômicos, especialmente quando implantados em áreas previamente alteradas.

Os resultados indicam que os benefícios ambientais dos SAFs não decorrem apenas da presença de espécies arbóreas, mas da diversidade, da estrutura da vegetação, do tempo de implantação e das práticas de manejo adotadas. A diversidade e a estrutura da vegetação constituem fatores determinantes para esses resultados. Sistemas mais diversificados e menos intensivamente manejados tendem a proporcionar maiores benefícios ambientais, reforçando a necessidade de considerar a composição e o desenho dos SAFs nos projetos de restauração.

No aspecto produtivo e socioeconômico, a diversificação dos componentes dos SAFs amplia as possibilidades de produção em diferentes períodos e pode favorecer a geração de renda e a inserção em cadeias relacionadas à bioeconomia e à sociobiodiversidade. Entretanto, esses benefícios dependem de condições que ultrapassam o desenho produtivo, incluindo assistência técnica, financiamento, infraestrutura, organização produtiva e acesso aos mercados.

Ressalta-se, ainda, que os sistemas agroflorestais não substituem a conservação das florestas nativas.

Sua contribuição para a restauração está principalmente relacionada à recuperação de áreas degradadas e à transformação de paisagens produtivas simplificadas em sistemas mais diversos e funcionalmente mais complexos.

Conclui-se que os SAFs constituem uma estratégia promissora de restauração produtiva na Amazônia, mas sua efetividade depende da articulação entre condições ambientais, desenho e manejo dos sistemas, viabilidade econômica e suporte institucional. Dessa forma, a restauração produtiva por meio de SAFs pode contribuir para aproximar conservação ambiental e produção rural, desde que inserida em estratégias territoriais integradas e orientada à recuperação de áreas previamente degradadas, à manutenção da vegetação nativa e à sustentabilidade das atividades produtivas no longo prazo.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A. de. **Manejo agroecológico do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 28 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, 314).

BRASIL, N. M. de Q. X.; NORONHA, N. C.; FARIAS, V. D. da S.; BRASIL NETO, A. B.; CARVALHO, E. J. M.; SILVEIRA, J. M. de Q. X.; SILVA, S. A. S. da. Conversion of degraded pasture to cocoa agroforestry in the Brazilian Amazon: improvements in soil physical and biological properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 400, 110268, 2026. DOI: 10.1016/j.agee.2026.110268.

OLIVEIRA NETO, M.; ALVES, L. de F. N.; SCHWARTZ, G. Agroforestry systems associated with natural regeneration: alternatives practiced by family-farmers of Tomé-Açu, Pará. **Sustainability in Debate**, v. 13, n. 1, p. 286–298, 2022. DOI: 10.18472/SustDeb.v13n1.2022.40855.

ORTOLAN, E.; MACIEL, E. A.; MARTINS, V. F. Biodiversity in agroforestry systems implemented in tropical ecoregions: a systematic review. **Journal of Environmental Management**, v. 382, 125317, 2025. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125317.

SANTANA, A. C. de; SANTANA, Á. L. de; SANTANA, Á. L. de; OLIVEIRA, G. M. T. da S. de; SANTOS, M. A. S. dos. Bioeconomic evaluation of an agroforestry system and the potential to recover degraded areas and capitalize producers in the state of Pará, Brazilian Amazon. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 61, 2022. DOI: 10.5380/dma.v61i0.80516.

SANTOS, L. A. C. et al. Spatial variability of soil organic carbon in native forest and agroforestry system in central Brazilian Amazonia. **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, 2025.

SOUZA, F. E. D. de; OLIVEIRA, J. de N. dos S.; SANTOS, C. R. C. dos; FERREIRA, E. V. de O.; SILVA, R. T. L. da; PAULA, M. T. de; ALVES, J. D. N.; OLIVEIRA, J. S. R. de; RODRIGUES, J. I. de M.; MARTINS, W. B. R. Physical and chemical soil quality and litter stock in agroforestry systems in the Eastern Amazonia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 382, 109479, 2025. DOI: 10.1016/j.agee.2025.109479.

TRANCHINA, M.; REUBENS, B.; FREY, M. What challenges impede the adoption of agroforestry practices? A global perspective through a systematic literature review. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 1817–1837, 2024. DOI: 10.1007/s10457-024-00993-w.

CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMENTO DE LAYOUTS AQUAPÔNICOS COM NFT E TORRES AEROPÔNICAS PARA O CULTIVO DE ALFACE

João Marcos Ferrari Rubio[1];
[1]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Lilian Elgalise Techio Pereira[2];
[2]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Adriano Rogério Bruno Tech[3].
[3]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

RESUMO: A organização espacial dos componentes de sistemas aquapônicos pode influenciar a capacidade de cultivo vegetal por unidade de área, especialmente em locais com limitação de espaço. Este estudo teve como objetivo desenvolver e comparar layouts aquapônicos utilizando o sistema Nutrient Film Technique (NFT) e torres aeropônicas verticais para o cultivo de alface crespa (Lactuca sativa L.), considerando uma área padronizada de 200 m². O dimensionamento contemplou os componentes aquícola, vegetal e de tratamento da água, incluindo tanques de criação de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), decantação, biofiltração, circulação e áreas destinadas ao manejo. No sistema NFT, foram dimensionados 30 canais de cultivo, totalizando 960 pontos para plantas e densidade teórica de 4,8 plantas m². O layout com torres aeropônicas apresentou capacidade para 220 torres e 8.800 pontos de cultivo, correspondendo a 44 plantas m². Nas configurações propostas, a verticalização proporcionou capacidade instalada aproximadamente 9,2 vezes superior à do NFT na mesma área horizontal. Entretanto, o aumento da densidade vegetal exige compatibilização com a oferta de nutrientes, biomassa de peixes, alimentação, capacidade de filtragem e condições operacionais do sistema. Os resultados evidenciam o potencial da integração entre aquaponia e cultivo aeropônico vertical para maior aproveitamento espacial, devendo o desempenho produtivo e a viabilidade dos layouts propostos ser posteriormente validados experimentalmente.
PALAVRAS-CHAVE: Agricultura vertical. Aproveitamento especial. Produção integrada.

DESIGN OF AQUAPONIC LAYOUTS WITH NFT AND AEROPONIC TOWERS FOR LETTUCE CULTIVATION

ABSTRACT: The spatial organization of aquaponic system components can influence plant cultivation capacity per unit area, particularly where space is limited. This study aimed to develop and compare aquaponic layouts using the Nutrient Film Technique (NFT) and

vertical aeroponic towers for curly lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation within a standardized area of 200 m². The design included the aquaculture, plant production, and water treatment components, comprising Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) rearing tanks, sedimentation, biofiltration, water circulation, and areas allocated for system management. The NFT layout consisted of 30 cultivation channels, providing 960 planting sites and a theoretical density of 4.8 plants m^{-2}. The vertical aeroponic layout accommodated 220 towers and 8,800 planting sites, corresponding to 44 plants m^{-2}. Under the proposed configurations, vertical cultivation provided an installed cultivation capacity approximately 9.2 times greater than that of the NFT system within the same horizontal area. However, increased plant density requires compatibility among nutrient availability, fish biomass, feeding rate, filtration capacity, and system operating conditions. The results demonstrate the potential of integrating aquaponics with vertical aeroponic cultivation to improve spatial utilization; however, the productive performance and feasibility of the proposed layouts should be further validated under experimental conditions.
KEYWORDS: Vertical farming. Spatial efficiency. Integrated production.

INTRODUÇÃO

A aquaponia é um sistema integrado de produção que associa a criação de organismos aquáticos ao cultivo de plantas sem solo, utilizando a recirculação da água e a transformação dos resíduos metabólicos dos animais em nutrientes potencialmente disponíveis ao componente vegetal. Nesse sistema, microrganismos desempenham papel fundamental na conversão dos compostos nitrogenados, contribuindo para a manutenção da qualidade da água e para a integração entre os componentes aquícola e vegetal (Junge et al., 2017; Okomoda et al., 2023). Além da produção simultânea de peixes e vegetais, a recirculação pode favorecer o uso eficiente da água e reduzir a geração de efluentes quando comparada a sistemas produtivos convencionais, embora seu desempenho dependa do adequado equilíbrio entre os diferentes componentes do sistema (Schoor et al., 2023).

No Brasil, a aquaponia tem despertado interesse crescente como alternativa para sistemas integrados de produção. Revisão sistemática recente, abrangendo 148 trabalhos brasileiros publicados entre 2008 e 2022, identificou o *Nutrient Film Technique* (NFT) como a técnica hidropônica mais citada nas pesquisas nacionais, enquanto a tilápia e a alface figuraram entre os organismos mais utilizados. O estudo também destacou a necessidade de maior padronização dos parâmetros experimentais e de avanços na avaliação bioeconômica de sistemas aquapônicos em escala comercial (Moraes-Viana et al., 2025).

Entre as técnicas utilizadas para o componente vegetal, o NFT caracteriza-se pela circulação contínua de uma fina lâmina de água ou solução nutritiva ao longo de canais, permitindo o contato com o sistema radicular das plantas. Sua simplicidade construtiva, recirculação da água e ampla utilização no cultivo de hortaliças folhosas contribuíram para sua adoção em sistemas hidropônicos e aquapônicos (Maucieri et al., 2019). Entretanto, sua disposição predominantemente horizontal condiciona a quantidade de pontos de cultivo

à superfície disponível, tornando o aproveitamento espacial um aspecto relevante quando a área de implantação é limitada.

A intensificação do uso da área pode ser obtida por sistemas de cultivo vertical, nos quais os pontos de produção são distribuídos em diferentes níveis. Nesse contexto, a aeroponia constitui uma técnica de cultivo sem solo em que as raízes permanecem suspensas e recebem água e nutrientes por pulverização ou nebulização. A elevada disponibilidade de oxigênio na região radicular, a recirculação da água e a possibilidade de organização vertical das estruturas tornam essa tecnologia particularmente interessante para sistemas destinados ao aumento da densidade de cultivo por unidade de área horizontal. Revisões recentes apontam a aeroponia como uma alternativa de produção eficiente no uso de água e espaço, embora seu desempenho dependa do controle adequado da distribuição de água e nutrientes, do ambiente radicular e do consumo energético do sistema (Chu; Wan, 2026).

A verticalização, entretanto, não implica necessariamente aumento proporcional da produtividade. A instalação de maior número de pontos de cultivo em uma mesma área pode intensificar a competição por radiação, produzir diferenças microclimáticas entre os níveis da estrutura e aumentar as exigências relacionadas ao bombeamento, à uniformidade de distribuição da água e dos nutrientes, à manutenção e ao controle operacional. Dessa forma, a comparação entre sistemas horizontais e verticais deve distinguir capacidade instalada de cultivo, expressa pelo número potencial de plantas que o layout comporta, de produtividade efetiva, que depende do crescimento, sobrevivência, qualidade e massa comercial obtidos durante o ciclo produtivo.

Essa distinção torna-se ainda mais importante em sistemas aquapônicos. O aumento da quantidade de plantas não pode ser analisado isoladamente, pois deve ser compatível com a biomassa de peixes, a quantidade de ração fornecida, a geração de nutrientes, a capacidade de remoção de sólidos e biofiltração e a qualidade da água. Consequentemente, o planejamento espacial deve integrar os componentes aquícola, vegetal e microbiológico, evitando que a intensificação de uma das etapas ultrapasse a capacidade de suporte das demais.

Nesse contexto, a integração de torres aeropônicas verticais a sistemas aquapônicos apresenta potencial para aumentar o aproveitamento tridimensional do espaço, mas sua vantagem em relação ao NFT deve ser analisada considerando não apenas a quantidade de pontos de cultivo, mas também as exigências estruturais e operacionais associadas ao sistema. Assim, a elaboração e comparação de layouts sob uma mesma área física constituem uma etapa inicial para avaliar o potencial de intensificação espacial e subsidiar estudos posteriores de desempenho produtivo, eficiência no uso de recursos e viabilidade econômica.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo dimensionar e comparar layouts aquapônicos utilizando o sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) e torres aeropônicas verticais para o

cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), considerando uma área padronizada de 200 m², com ênfase na capacidade instalada de cultivo, no aproveitamento espacial e nos requisitos de dimensionamento dos componentes aquícola e vegetal.

METODOLOGIA

Quanto à abordagem, o presente estudo caracteriza-se como quantitativo, de natureza aplicada e com objetivos descritivos, comparativos e exploratórios, uma vez que busca dimensionar e comparar diferentes configurações de sistemas aquapônicos com potencial de aplicação prática. Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica associada ao dimensionamento técnico e à análise comparativa, fundamentada em parâmetros disponíveis na literatura para os componentes aquícola e vegetal. Foram elaborados e comparados dois layouts destinados ao cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), utilizando o sistema Nutrient Film Technique (NFT) e torres aeropônicas verticais, ambos considerando uma área padronizada de 200 m². A análise dos dados foi realizada por meio de cálculos de capacidade instalada de cultivo, densidade de pontos por unidade de área, demanda teórica de ração, biomassa estimada de peixes e ganho relativo proporcionado pela verticalização. Por se tratar de um estudo de dimensionamento teórico, sem coleta de dados com seres humanos ou realização de experimentação animal, não foram aplicados procedimentos referentes à definição de população amostral ou protocolos de experimentação.

Delineamento do estudo e critérios de dimensionamento

O estudo foi desenvolvido como uma análise de dimensionamento e comparação de dois layouts aquapônicos destinados ao cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), utilizando o sistema *Nutrient Film Technique* (NFT) e torres aeropônicas verticais como componentes de produção vegetal. Para permitir a comparação sob condições espaciais equivalentes, ambos os layouts foram projetados em uma área padronizada de 200 m² (10 × 20 m).

O dimensionamento foi realizado em três etapas: definição dos parâmetros do componente aquícola e da relação entre alimentação dos peixes e demanda vegetal; estabelecimento das características construtivas dos sistemas NFT e de torres aeropônicas; e elaboração dos layouts, considerando a quantidade de pontos de cultivo, áreas destinadas aos componentes de tratamento da água e espaços necessários à circulação e ao manejo.

Dimensionamento do componente aquícola

A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi adotada como espécie aquícola devido à sua ampla utilização em sistemas aquapônicos. O dimensionamento considerou o volume útil dos tanques e uma densidade de referência de 20 kg de biomassa de peixes por m³ de água, valor indicado por Somerville et al. (2014) como referência para sistemas aquapônicos de pequena escala. Densidades superiores podem ser utilizadas, porém exigem maior

controle da qualidade da água, oxigenação e capacidade de tratamento.

A capacidade máxima teórica de biomassa dos tanques foi determinada pela Equação 1:

$$B_{max} = V_u \times D \quad (1)$$

Onde: B_{max} corresponde à biomassa máxima teórica de peixes (kg), V_u ao volume útil do tanque (m^3) e D à densidade de estocagem adotada (kg m^{-3}).

A quantidade teórica de peixes correspondente à biomassa foi determinada considerando peso individual de referência de 0,60 kg por animal (Equação 2):

$$N_p = \frac{B}{P_m} \quad (2)$$

Onde: $\mathbf{N_p}$ corresponde ao número de peixes, **B** à biomassa (kg) e $\mathbf{P_m}$ ao peso médio individual dos peixes (kg).

Relação entre alimentação e componente vegetal

Para compatibilizar os componentes aquícola e vegetal, adotou-se como referência a relação proposta por Lennard (2012), de aproximadamente 1 kg de ração por dia para cada 1.500 plantas de alface. Assim, a demanda teórica diária de ração associada ao número de pontos de cultivo de cada layout foi calculada pela Equação 3:

$$R_d = \frac{N_v}{1500} \quad (3)$$

Onde: $\mathbf{R_d}$ representa a quantidade diária de ração (kg dia) e $\mathbf{N_v}$ o número de pontos de cultivo de alface.

Para fins de dimensionamento, foi considerada taxa diária de alimentação equivalente a 2% da biomassa de peixes, permitindo estimar a biomassa correspondente à demanda de ração (Equação 4):

$$B_r = \frac{R_d}{0{,}02} \quad (4)$$

Onde: $\mathbf{B_r}$ representa a biomassa teórica de peixes associada à demanda diária de ração.

Dimensionamento do sistema NFT

O sistema NFT foi constituído por canais dispostos horizontalmente, sistema de bombeamento, tubulações de alimentação e retorno e estruturas de sustentação. Os canais foram projetados com declividade de 2%, permitindo o escoamento da água por gravidade após seu bombeamento.

Para o cultivo da alface, foi adotado espaçamento de 25 cm entre plantas, com base em Gualberto, Resende e Braz (1999). O layout foi organizado considerando a área ocupada pelos canais, o tanque de criação, decantadores, biofiltro e espaços necessários às atividades de circulação, transplantio, inspeção, manejo e colheita.

A capacidade instalada de cultivo foi determinada pelo número total de posições disponíveis nos canais, e a densidade espacial pela Equação 5:

$$D_v = \frac{N_v}{A} \quad (5)$$

Onde: $\mathbf{D_v}$ corresponde à densidade de pontos de cultivo (pontos m^{-2}), $\mathbf{N_v}$ ao número total de pontos de cultivo e A à área total padronizada do sistema (200 m^2).

Dimensionamento das torres aeropônicas

O segundo layout foi desenvolvido utilizando torres aeropônicas verticais destinadas ao cultivo de alface. As torres foram dimensionadas com aproximadamente 2,0 m de altura e 0,20 m de diâmetro, com pontos de cultivo distribuídos verticalmente ao longo da estrutura.

As raízes permanecem no interior das torres e recebem periodicamente a água proveniente do sistema aquapônico por pulverização, mantendo exposição ao ar entre os ciclos de fornecimento. A água não absorvida pelas plantas é coletada e recirculada ao sistema.

Foi adotado espaço livre de 40 cm entre as bordas das torres, correspondendo a 60 cm entre os eixos de estruturas adjacentes. A distribuição espacial considerou, além das torres, os tanques de criação, sistemas de decantação e biofiltração, tubulações e áreas necessárias ao acesso, manutenção, transplantio e colheita.

A quantidade de pontos de cultivo foi determinada pelo número de posições disponíveis em cada torre multiplicado pelo número de torres instaladas (Equação 6):

$$N_v = N_t \times P_t \quad (6)$$

Onde: $\mathbf{N_t}$ corresponde ao número de torres e $\mathbf{P_t}$ ao número de pontos de cultivo por torre.

Comparação dos layouts

Os dois sistemas foram comparados considerando a mesma área horizontal de 200 m². Foram utilizados como indicadores o número de pontos de cultivo, a densidade de pontos por unidade de área, a demanda teórica diária de ração e a biomassa de peixes correspondente ao balanço adotado.

O ganho relativo de capacidade instalada proporcionado pela verticalização foi calculado pela razão (Equação 7):

$$G = \frac{N_{Aer}}{N_{NFT}} \quad (7)$$

Onde: **G** representa o ganho relativo de capacidade instalada, $\mathbf{N_{Aer}}$ o número de pontos de cultivo nas torres aeropônicas e $\mathbf{N_{NFT}}$ o número de pontos no sistema NFT.

Os valores obtidos representam capacidades teóricas de dimensionamento dos layouts, não devendo ser interpretados como produtividade experimental. O desempenho produtivo efetivo depende, entre outros fatores, da disponibilidade e distribuição de nutrientes, radiação incidente, condições microclimáticas, qualidade da água, eficiência da biofiltração e manejo dos componentes animal e vegetal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O layout aquapônico com sistema NFT contempla os canais de cultivo, o componente aquícola, as unidades de tratamento da água e os espaços destinados à circulação e ao manejo. A configuração proposta apresentou 30 canais, totalizando 960 pontos de cultivo de alface, correspondentes a uma densidade teórica de 4,8 pontos m².

Considerando a relação de dimensionamento de aproximadamente 1 kg de ração / dia para 1.500 plantas de alface, proposta por Lennard (2012) para sistemas com tilápia e alface, os 960 pontos de cultivo corresponderam a uma demanda teórica de 0,64 kg de ração / dia. Adotando-se, para fins de dimensionamento, alimentação diária equivalente a 2% da biomassa, essa quantidade corresponderia a aproximadamente 32 kg de biomassa de peixes, ou cerca de 53 animais com peso médio de 0,60 kg. A relação utilizada deve ser interpretada como referência de dimensionamento, uma vez que o próprio método depende das espécies cultivadas, das características do sistema de tratamento e das condições de manejo (Lennard, 2012).

Esses valores representam a biomassa teórica associada à demanda vegetal segundo o critério adotado e não a capacidade máxima de estocagem dos tanques. Em sistemas aquapônicos, o equilíbrio entre os componentes deve ser estabelecido principalmente em função da alimentação dos peixes e da capacidade de utilização dos nutrientes pelas plantas. Rakocy, Losordo e Masser (2006) destaca que o *feeding rate ratio*, expresso pela quantidade diária de ração em relação à área vegetal, constitui um dos principais critérios

para o dimensionamento de sistemas aquapônicos equilibrados.

No layout com torres aeropônicas, a utilização vertical do espaço possibilitou a instalação de 220 torres, contendo 40 pontos de cultivo cada, resultando em 8.800 pontos de cultivo. Considerando a mesma área total de 200 m², a configuração apresentou densidade teórica de 44 pontos m², aproximadamente 9,2 vezes superior à capacidade instalada do layout NFT.

A diferença observada decorre principalmente do aproveitamento tridimensional do espaço. A agricultura vertical permite distribuir as plantas em diferentes níveis e, consequentemente, aumentar a capacidade de cultivo por unidade de área horizontal. Entretanto, maior densidade instalada não implica necessariamente aumento proporcional da produtividade, uma vez que o desempenho das plantas depende de fatores como disponibilidade de radiação, temperatura, condições microclimáticas, manejo da água e dos nutrientes e configuração do sistema de cultivo (Pennisi et al., 2025).

No caso da aeroponia, as raízes permanecem suspensas e recebem água e nutrientes por pulverização ou nebulização, proporcionando elevada disponibilidade de oxigênio na região radicular. Regmi et al. (2024), ao compararem diferentes sistemas de cultivo sem solo, destacaram que NFT e aeroponia apresentam características distintas quanto ao uso de água e nutrientes e que seu desempenho é influenciado por fatores como cultura, cultivar, concentração da solução, vazão e configuração do sistema. Os autores também identificaram elevada eficiência no uso da água em sistemas aeropônicos, embora ressaltem a dificuldade de comparações diretas entre sistemas submetidos a diferentes condições experimentais.

Aplicando às torres aeropônicas o mesmo critério utilizado para o NFT, os 8.800 pontos de cultivo corresponderam a uma demanda teórica de aproximadamente 5,87 kg de ração / dia. Considerando alimentação diária equivalente a 2% da biomassa, esse valor corresponderia a aproximadamente 293,5 kg de biomassa de peixes, ou cerca de 489 animais de 0,60 kg. O aumento da capacidade instalada do componente vegetal, portanto, deve ser acompanhado pelo redimensionamento dos demais componentes do sistema aquapônico.

Esse aspecto é particularmente importante porque a intensificação do componente vegetal não pode ser realizada isoladamente. O aumento da quantidade de plantas modifica a demanda potencial por nutrientes e exige compatibilização com alimentação e biomassa dos peixes, remoção de sólidos, biofiltração, oxigenação e circulação da água. Dessa forma, o dimensionamento integrado é necessário para evitar desequilíbrios entre a geração de resíduos no componente aquícola e sua transformação e utilização no componente vegetal (Lennard, 2012; Rakocy, Losordo e Masser, 2006).

A Tabela 1 permite verificar a comparação entre os parâmetros de dimensionamento dos layouts NFT, com as torres aeropônicas em uma área útil de 200 m².

Tabela 1 - Comparação dos parâmetros de dimensionamento dos layouts NFT e com torres aeropônicas.

Parâmetro	NFT	Torres aeropônicas
Área total (m²)	200	200
Estruturas de cultivo	30 canais	220 torres
Pontos por estrutura	32	40
Pontos de cultivo	960	8.800
Densidade (pontos / m²)	4,8	44,0
Ração estimada (kg / dia¹)	0,64	5,87
Biomassa estimada (kg)	32,0	293,5
Peixes de 0,60 kg (n)	≈53	≈489
Capacidade relativa	1,0	9,17

Fonte: Própria Autoria. 2026.

A comparação demonstra expressiva vantagem das torres aeropônicas quanto ao aproveitamento espacial, porém esse resultado deve ser interpretado como capacidade instalada de cultivo e não como produtividade comprovada. Pennisi *et al.* (2025) demonstram que sistemas de produção vertical podem apresentar elevada eficiência no uso da terra e intensificação produtiva, mas seu desempenho ambiental e econômico é fortemente condicionado pelo consumo energético, particularmente pelas demandas relacionadas à iluminação e ao controle ambiental.

Para sistemas aeropônicos especificamente, Chu e Wan (2026) destacam vantagens relacionadas à recirculação da água, disponibilidade de oxigênio para as raízes e possibilidade de utilização de configurações verticais, mas ressaltam que o desempenho depende do controle de parâmetros ambientais, da distribuição de água e nutrientes e da demanda energética. Portanto, a maior capacidade espacial observada no layout proposto deve ser analisada conjuntamente com suas exigências hidráulicas, energéticas e operacionais.

As representações dos dois layouts evidenciam estratégias distintas de ocupação da área. No NFT, os pontos de cultivo são distribuídos predominantemente no plano horizontal, enquanto as torres aeropônicas utilizam também a dimensão vertical. Em ambos os sistemas, entretanto, devem ser preservados espaços destinados à circulação, manejo, colheita, manutenção, tratamento da água e acesso aos componentes aquícolas. Assim, a maximização do número de estruturas não deve comprometer a funcionalidade operacional do sistema.

Os resultados correspondem a estimativas de dimensionamento e não a avaliações experimentais de produtividade. Não foram mensurados massa fresca das plantas, produtividade por ciclo, uniformidade entre posições nas torres, disponibilidade de radiação,

consumo de água e energia ou viabilidade econômica. Consequentemente, embora as torres aeropônicas tenham apresentado capacidade instalada aproximadamente 9,2 vezes superior ao NFT na área projetada, sua superioridade produtiva e econômica deverá ser confirmada por estudos experimentais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento dos layouts demonstrou que a utilização de torres aeropônicas verticais amplia substancialmente o aproveitamento espacial do componente vegetal em sistemas aquapônicos. Na área padronizada de 200 m², o sistema NFT apresentou capacidade para 960 pontos de cultivo, correspondendo a 4,8 pontos m², enquanto o layout com 220 torres aeropônicas comportou 8.800 pontos, equivalente a 44 pontos m². Dessa forma, a configuração vertical apresentou capacidade instalada de cultivo aproximadamente 9,2 vezes superior à do NFT na mesma área horizontal.

A intensificação do componente vegetal, entretanto, exige o redimensionamento integrado dos demais componentes do sistema. De acordo com os critérios adotados, a demanda teórica de ração passou de 0,64 kg dia¹ no NFT para 5,87 kg dia¹ nas torres aeropônicas, correspondendo a biomassas estimadas de aproximadamente 32,0 e 293,5 kg de peixes, respectivamente. Esses resultados evidenciam que o aumento da quantidade de pontos de cultivo deve ser compatibilizado com a biomassa animal, alimentação, disponibilidade de nutrientes, remoção de sólidos, biofiltração e circulação da água.

Assim, a integração de torres aeropônicas a sistemas aquapônicos apresenta potencial para intensificar o uso do espaço, especialmente em situações de limitada disponibilidade de área. Contudo, os resultados representam estimativas de dimensionamento e não comprovam aumento proporcional da produtividade ou da eficiência econômica. Estudos experimentais devem avaliar o desempenho dos layouts em condições reais, considerando produtividade e uniformidade das plantas, qualidade da água, desempenho dos peixes, consumo hídrico e energético, exigências de manejo e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

CHU, S.-W.; WAN, T.-J. **Advancing sustainable agriculture through aeroponics: a critical review of integrated water-energy-nutrient management and environmental impact mitigation**. *Agriculture*, v. 16, n. 2, art. 265, 2026. DOI: 10.3390/agriculture16020265.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Soilless culture for horticultural crop production.** Rome: FAO, 1990. 188 p. (FAO Plant Production and Protection Paper, n. 101).

GUALBERTO, R.; RESENDE, F. V.; BRAZ, L. T. **Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico "NFT" em três diferentes espaçamentos.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 17, n. 2, p. 155-158, 1999.

JUNGE, R.; KÖNIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M. H. **Strategic points in aquaponics.** Water, v. 9, n. 3, p. 182, 2017. DOI: 10.3390/w9030182.

LENNARD, W. A. **Aquaponic system design parameters: fish to plant ratios (feeding rate ratios).** Aquaponics Solutions, 2012.

MAUCIERI, C.; NICOLETTO, C.; VAN OS, E.; ANSEEUW, D.; VAN HAVERMAET, R.; JUNGE, R. Hydroponic technologies. In: GODDEK, S. *et al*. (ed.). **Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future.** Cham: Springer, 2019. p. 77-110. DOI: 10.1007/978-3-030-15943-6_4.

MORAES-VIANA, M. L. *et al*. **Status of aquaponics systems in Brazil: a systematic literature review.** Boletim do Instituto de Pesca, v. 51, e945, 2025. DOI: 10.20950/1678-2305/bip.2024.51.e945.

OKOMODA, V. T. *et al.* **Aquaponics production system: a review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption.** Food Science & Nutrition, v. 11, n. 3, p. 1157-1165, 2023. DOI: 10.1002/fsn3.3154.

PENNISI, G.; GIANQUINTO, G.; MARCELIS, L. F. M.; MARTIN, M.; ORSINI, F. **Vertical farming: productivity, environmental impact, and resource use: a review.** ***Agronomy for Sustainable Development***, v. 45, art. 57, 2025. DOI: 10.1007/s13593-025-01055-w.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture.** SRAC Publication, n. 454, p. 1-16, 2006.

REGMI, A.; RUEDA-KUNZ, D.; LIU, H.; TREVINO, J.; KATHI, S.; SIMPSON, C**. Comparing resource use efficiencies in hydroponic and aeroponic production systems**. *Technology in Horticulture*, v. 4, e005, 2024. DOI: 10.48130/tihort-0024-0002.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming.** Rome: FAO, 2014. 262 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589).

CAPÍTULO 6

RESPOSTA PRODUTIVA DO RABANETE (*Raphanus sativus L.*) À ADUBAÇÃO COM COMPOSTO ORGÂNICO

Indiamara Marasca[1];
[1]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/0580990668129391
Fernanda Cristina Araujo[2];
[2]Instituição de Ensino (UNEMAT, Nova Mutum -MT).
http://lattes.cnpq.br/1956123832091057
Gilmar Oliveira Santos[3];
[3]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/8750158608140247
Rogério Paulo Tovo[4];
[4]Instituição de Ensino (UNILASALLE/Lucas) Lucas do Rio Verde-MT.
http://lattes.cnpq.br/4528256592672159
Gabriela Lucas Chagas[5];
[5]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/5017039225930200
June Faria Scherrer Menezes[6];
[6]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás.
http://lattes.cnpq.br/141766342128341
Cellini Castro[7];
[7]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás).
http://lattes.cnpq.br/2511564042637075
Givanildo Zildo da Silva[8];
[8]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás).
http://lattes.cnpq.br/9449940702589176
Gabriel Gomes Matias[9].
[9]Instituição de Ensino (UniRV, Campus Rio Verde), Rio Verde, Goiás).
http://lattes.cnpq.br/2513257451159051

RESUMO: A produção de hortaliças de ciclo curto apresenta importância para a oferta de alimentos e diversificação dos sistemas produtivos, destacando-se o rabanete pelo rápido desenvolvimento. O uso de compostos orgânicos constitui alternativa para o aproveitamento de resíduos agrícolas e fornecimento de nutrientes às plantas. Este trabalho avaliou o efeito da adubação com composto orgânico sobre a massa do rabanete, comparando plantas cultivadas com e sem aplicação do adubo. O experimento foi conduzido no setor de Olericultura e Fruticultura da Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde, em Rio Verde, Goiás, utilizando a cultivar híbrida de rabanete. O composto foi constituído por

carbonato de cálcio, estercos, cama de aviário, farelos, torta de origem vegetal e cascas de pinus e eucalipto. Os rabanetes foram avaliados individualmente quanto à massa, e os dados submetidos ao teste t para amostras pareadas. O tratamento com adubação apresentou massa média de 1,76g, enquanto o tratamento sem adubação apresentou 1,51g, representando incremento numérico de 16,6%. Entretanto, a diferença não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%. Os resultados indicam tendência de aumento da massa com o uso do composto, porém são necessários estudos com maior número de repetições para confirmar esse efeito.
PALAVRAS-CHAVE: Raiz tuberosa. Compostagem. Horticultura.

PRODUCTIVE RESPONSE OF RADISH (*Raphanus sativus L.*) TO FERTILIZATION WITH ORGANIC COMPOST

ABSTRACT: The production of short-cycle vegetables is important for food supply and the diversification of production systems, with radishes standing out due to their rapid development. The use of organic compost offers an alternative for utilizing agricultural waste and supplying nutrients to plants. This study evaluated the effect of organic compost fertilization on radish mass by comparing plants grown with and without the application of the fertilizer. The experiment was conducted at the Vegetable and Fruit Production Section of the Faculty of Agronomy at the University of Rio Verde (Goiás), using a hybrid radish cultivar. The compost consisted of calcium carbonate, manure, poultry litter, brans, plant-based oilseed cake, and pine and eucalyptus bark. The radishes were evaluated individually for mass, and the data were subjected to a paired-sample t-test. The fertilized treatment showed a mean mass of 1.76 g, while the unfertilized treatment showed 1.51 g, representing a numerical increase of 16.6%. However, the difference was not statistically significant at the 5% level. The results indicate a trend toward increased mass with the use of the compost; however, further studies with a larger number of replicates are needed to confirm this effect.
KEYWORDS: Tuberous root. Composting. Horticulture.

INTRODUÇÃO

A horticultura possui papel relevante na produção de alimentos, especialmente por envolver culturas de ciclo relativamente curto, elevada diversidade e importância econômica e nutricional. Entre as hortaliças de raiz, o rabanete (*Raphanus sativus* L.) destaca-se pela rapidez de crescimento e pela possibilidade de inserção em sistemas de produção diversificados. Entretanto, a obtenção de elevada produtividade e qualidade comercial depende de fatores como fertilidade do solo, disponibilidade de nutrientes, manejo da água e condições ambientais. Estudos recentes ressaltam a importância de estratégias de manejo que conciliem produtividade agrícola, eficiência no uso de recursos e conservação da qualidade do solo (WANG et al., 2024).

Nesse contexto, a utilização de fontes orgânicas de nutrientes apresenta-se como

uma alternativa para o manejo sustentável da fertilidade do solo. A aplicação de compostos orgânicos pode contribuir para o fornecimento gradual de nutrientes e para a melhoria de atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Além disso, o aproveitamento de resíduos de origem vegetal e animal na produção de compostos possibilita sua reinserção nos sistemas agrícolas, reduzindo a quantidade de materiais destinados ao descarte e favorecendo princípios relacionados à economia circular. Pesquisas recentes demonstram que a utilização de compostos pode aumentar a matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes no solo, além de favorecer o desempenho de culturas hortícolas (LARKIN, 2024; WANG et al., 2024).

A compostagem também apresenta importância para a manutenção da qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças. A incorporação de matéria orgânica pode favorecer a atividade microbiana, a ciclagem de nutrientes e determinadas características relacionadas à estrutura e à retenção de água. Em estudo realizado em sistemas de produção de hortaliças, Larkin (2024) verificou que tratamentos com composto promoveram alterações positivas no pH, na matéria orgânica e nos teores de nutrientes do solo, refletindo também em ganhos de produtividade em diferentes culturas. Resultados mais recentes também indicam que a aplicação de compostos pode contribuir para a melhoria de indicadores de saúde do solo, embora seus efeitos dependam do tipo de composto, das características do solo, das doses utilizadas e das condições de cultivo (RAY; ZHAO, 2025).

Para a cultura do rabanete, a relação entre adubação orgânica e produtividade tem sido investigada em estudos recentes. Cruz et al. (2024) avaliaram diferentes doses de composto produzido a partir de resíduos vegetais e observaram aumento do rendimento comercial do rabanete com a elevação das doses de composto, passando de 15.460 kg ha^{-1} no tratamento sem composto para 22.530 kg ha^{-1} na dose de 10 t ha^{-1}. Os autores também observaram aumento da rentabilidade, demonstrando que o uso adequado de resíduos compostados pode apresentar benefícios tanto agronômicos quanto econômicos. Esses resultados reforçam a importância de avaliar fontes orgânicas de nutrientes especificamente para cada cultura e condição de cultivo.

Além do uso de compostos, pesquisas recentes têm buscado alternativas para melhorar a eficiência da adubação nitrogenada na cultura do rabanete. Estudo publicado em 2025 avaliou diferentes fontes e doses de nitrogênio e destacou que o manejo adequado desse nutriente é fundamental para alcançar bom desenvolvimento da cultura, evitando perdas por lixiviação e reduzindo impactos ambientais e custos de produção (CRUZ et al., 2025). Dessa forma, a avaliação da produtividade do rabanete com e sem adubação por compostagem torna-se relevante para compreender o potencial dessa prática no cultivo da hortaliça, especialmente considerando a possibilidade de aproveitamento de resíduos agrícolas e a busca por sistemas de produção mais sustentáveis e eficientes.

OBJETIVO

Avaliar o efeito da adubação com composto orgânico sobre a produtividade e a qualidade comercial do rabanete (*Raphanus sativus L.*), comparando plantas cultivadas com e sem aplicação de compostagem, visando verificar o potencial do uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes na produção hortícola sustentável.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na faculdade de agronomia da Universidade de Rio Verde em Rio Verde- Goiás, no setor de olericultura e fruticultura. A adubação orgânica utilizada foi uma mistura de carbonato de cálcio, estercos, cama de aviários, farelos e torta de origem vegetal e casca de pinus/eucalipto. A variedade usada foi de rabanete híbrido rubro f1 topseed premium. Essa variedade tem tolerância a rachadura, raízes uniformes e coloração interna intensa.

A planta possui porte médio, vigorosa e com folhagem permitindo boa cobertura dos frutos e apresenta estrutura vertical. Raiz redonda, com casca brilhante, polpa crocante, de sabor suave e baixo índice de isoporização. Além de características como sabor suave e também resistente a ferrugem branca e míldio. Essa variedade possui tamanho médio de 3,5 cm com coloração vermelha-média brilhante. Para condução do experimento o espaçamento utilizado para plantio foi de 10cm entre plantas e entre linhas.

Os rabanetes foram escolhidos aleatoriamente e pesados, através das médias gerais foram avaliados. A análise estatística foi com o teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grupo com adubo apresentou peso médio 0,25 g maior (+16,6%) em relação ao grupo sem adubo. Onde o pico de peso correu no índice 1 em ambos os casos (3,23 g com adubo e 2,68 g sem adubo), enquanto os menores pesos ocorreram no índice 10 (1,06 g e 0,68 g).

O comportamento de dispersão foi bastante parecido entre os grupos, com desvio padrão próximo de 0,60 g em ambos. O teste t pareado resulta em p = 0,1001 Isso indica uma tendência de ganho de peso com o uso de adubo, embora não atinja significância estatística ao nível padrão de 5% ($\propto$ =0,05), principalmente pelo tamanho reduzido da amostra (n = 10).

Conforme quadro 1. Analise estatística dos dados.

Quadro 1. Estatística descritiva da massa dos rabanetes (*Raphanus sativus* L.) submetidos aos tratamentos com e sem adubação orgânica.

Métrica	Com ADUBO	SEM ADUBO
Amostras válidas (N)	9	9
Média	1,761	1,509
Mediana	1,780	1,540
Desvio Padrão	0,652	0,585
Variância	0,425	0,342
Mínimo	1,060	0,680
Primeiro Quartil (Q1)	1,190	1,110
Terceiro Quartil (Q3)	1,870	1,710
Amplitude	2,170	2,000
Intervalo Interquartil (IQR)	0,680	0,600

Fonte: Dados dos autores.

Conforme quadro 2,

Quadro 2. Estatística descritiva e teste t pareado para a massa de rabanetes (*Raphanus sativus* L.) submetidos aos tratamentos com e sem adubação orgânica.

Indicador	Resultado
n	9 pares
Diferença média	0,2522 g
Desvio-padrão das diferenças	0,4070 g
Estatística t	1,859
Graus de liberdade (gl)	8
p-valor (bilateral)	0,1001
IC 95% da diferença média	−0,0606 a 0,5651 g

Fonte: Dados dos autores.

Os resultados da estatística descritiva demonstram que os rabanetes submetidos à adubação orgânica apresentaram massa média de 1,761 g, enquanto aqueles cultivados sem adubação apresentaram média de 1,509 g, correspondendo a um incremento numérico de aproximadamente 16,7%. A mediana também foi superior no tratamento com adubação (1,780 g) em comparação ao tratamento sem adubação (1,540 g). Esses resultados indicam uma tendência de maior acúmulo de massa nas plantas submetidas ao composto orgânico. A utilização de fontes orgânicas pode favorecer a disponibilidade gradual de nutrientes e melhorar características químicas, físicas e biológicas do solo, contribuindo para o desenvolvimento das hortaliças (LARKIN, 2024; WANG et al., 2024).

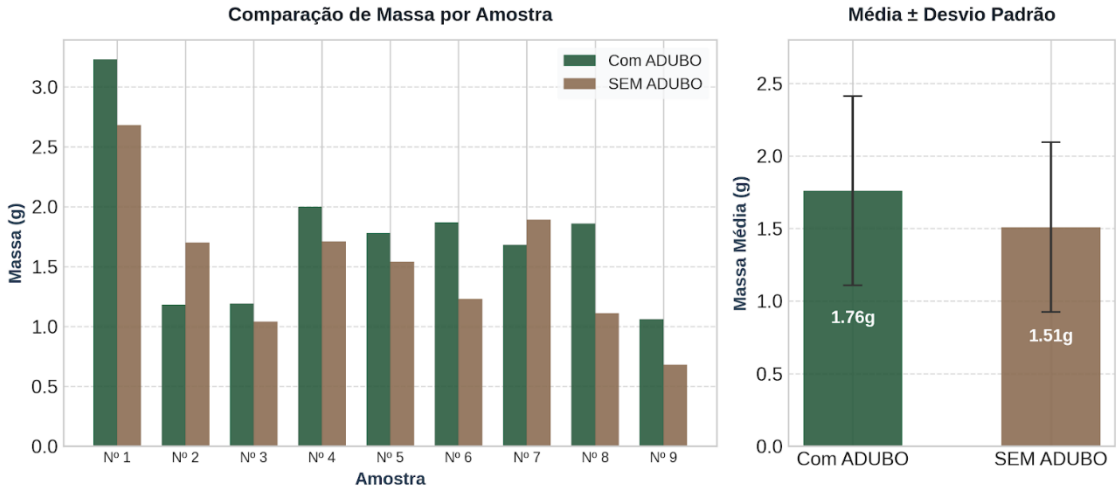
A variabilidade observada nos dados foi relativamente elevada, com desvios-padrão de 0,652 g para o tratamento com adubo e 0,585 g para o tratamento sem adubo. Os intervalos interquartis foram de 0,680 e 0,600 g, respectivamente, indicando dispersão semelhante entre os tratamentos. A amplitude dos valores também evidencia variação considerável na massa individual dos rabanetes, o que pode estar relacionado à variabilidade inerente aos

experimentos com plantas e às condições microambientais de cultivo. Estudos destacam que os efeitos da aplicação de compostos orgânicos sobre o desempenho das culturas podem variar conforme as características do composto, as condições do solo, as doses empregadas e o ambiente de cultivo (RAY; ZHAO, 2025).

Dessa forma, embora os dados indiquem tendência de aumento da massa com a adubação orgânica, a interpretação deve considerar a variabilidade observada e os resultados do teste estatístico apresentado posteriormente.

Na figura 1, apresentasse os dados de comparação de massa e a média do desvio padrão.

Figura1. Massa dos rabanetes em gramas para aplicação com e sem adubo.



Fonte: Dados dos autores.

Os resultados obtidos demonstram uma superioridade numérica no ganho de massa total para as plantas submetidas à adubação (1,76 g) em comparação ao grupo controle (1,51g), representando um incremento relativo de aproximadamente 16,6%. Esse comportamento corrobora os achados da literatura especializada, que destacam que o fornecimento adequado de nutrientes ao solo impulsiona a atividade metabólica vegetativa e otimiza os processos fotossintéticos, refletindo diretamente em maior acúmulo de biomassa seca ou fresca (RESENDE et al., 2018).

Apesar da vantagem média observada no grupo adubado, o teste t de Student para amostras pareadas indicou ausência de significância estatística ao nível padrão de 5% ($p = 0,1001$). A falta de suporte estatístico robusto para a hipótese alternativa não invalida a tendência de resposta biológica, mas sugere fortemente que o tamanho amostral reduzido ($N = 9$) limitou o poder do teste estatístico (FERREIRA, 2019). Em experimentos agrícolas com alta variabilidade intrínseca, amostras pequenas elevam o risco do Erro Tipo II, camuflando diferenças reais entre os tratamentos.

A variabilidade dos dados em ambas as condições, apresentando desvio padrão de 0,65 g no grupo com adubo e 0,59 g no grupo sem adubo. Essa dispersão indica que fatores microambientais não controlados, como pequenas variações de insolação, retenção

de umidade no substrato ou heterogeneidade genética das sementes, exerceram forte influência sobre o desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017). O pico máximo atingido no índice 1 (3,23 g) contrasta severamente com a menor marca do mesmo grupo (1,06 g), evidenciando essa amplitude.

Outro ponto crítico na análise experimental foi a perda do dado referente ao índice 5, que reduziu o tamanho amostral planejado. Em ensaios biológicos, o extravio ou a inutilização de parcelas experimentais acarreta desbalanceamento no banco de dados, exigindo correções metodológicas para evitar viés de aferição (PIMENTEL-GOMES, 2009). No presente estudo, a opção por conduzir a análise excluindo o par afetado preservou a integridade do teste pareado, embora tenha reduzido os graus de liberdade disponíveis para a inferência estatística.

Diante do exposto, os dados indicam uma tendência promissora da adubação sobre a produtividade, mas demandam cautela na extrapolação dos resultados. Para validação definitiva da eficiência do adubo avaliado, recomenda-se a ampliação do número de repetições (N>30) e a padronização rigorosa do ambiente de cultivo (SOUSA; OLIVEIRA, 2021). Tais ajustes metodológicos permitirão diluir a variabilidade individual das amostras e alcançar o poder estatístico necessário para confirmar o ganho de massa observado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento com adubação apresentou massa média de 1,76g, enquanto o tratamento sem adubação apresentou 1,51g, representando incremento numérico de 16,6%. Entretanto, a diferença não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%. Os resultados indicam tendência de aumento da massa com o uso do composto, porém são necessários estudos com maior número de repetições para confirmar esse efeito.

REFERÊNCIAS

CRUZ, D. D. et al. **Analysis of the chemical and biological characteristics and their relationship with the yield of radish (*Raphanus sativus* L.) nourished with compost based on plant residues**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, 2024. DOI: 10.1590/1519-6984.283287.

CRUZ, D. D. et al. **Optimizing radish (*Raphanus sativus* L.) production through alternative nitrogen sources**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 85, 2025. DOI: 10.1590/1519-6984.301745.

FERREIRA, D. F. **Estatística Experimental**. 3. ed. Lavras: Editora UFLA, 2019.

LARKIN, R. P. **Effects of Different Cover Crops and Amendments on Soil and Crop Properties in Organic Vegetable Production**. *Agronomy*, v. 14, n. 1, 171, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14010171.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

RAY, Z. T.; ZHAO, X. **Seasonal Impacts of Organic Fertilizers, Cover Crop Residues,**

and Composts on Soil Health Indicators in Sandy Soils: A Case Study with Organic Celery. *Agronomy*, v. 15, n. 6, 1334, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15061334.

RESENDE, A. V. et al. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema de produção agrícola.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. 1-15, 2018.

SOUSA, R. M.; OLIVEIRA, T. C. **Delineamentos experimentais e o impacto do tamanho amostral em ensaios agronômicos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 56, e02341, 2021.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, J. et al. **Effects of Exogenous Organic Matter on Soil Nutrient Dynamics and Its Role in Replacing Chemical Fertilizers for Vegetable Yield and Quality**. *Horticulturae*, v. 10, n. 12, 1355, 2024. DOI: 10.3390/horticulturae10121355.

CAPÍTULO 7

CULTIVO CONSORCIADO DE SOJA COM *Urochloa brizantha* BRS PAIAGUÁS PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Lucas Rezende Lozano[1];
[1]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.
https://lattes.cnpq.br/5637286634966636
Emerson Borghi[2];
[2]Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.
http://lattes.cnpq.br/1371443752174438
Alberto Carlos de Campos Bernardi[3];
[3]Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.
http://lattes.cnpq.br/5588269274851789
Henrique Antunes de Souza[4];
[4]Embrapa Meio Norte, Teresina, PI.
http://lattes.cnpq.br/1542888683453935
Ronilson Martins Silva[5];
[5]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.
http://lattes.cnpq.br/2905929579262261
Fernanda de Fátima da Silva Devechio[6].
[6]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.
http://lattes.cnpq.br/2167811056562057

RESUMO: O cultivo consorciado de culturas produtoras de grãos com espécies forrageiras tropicais visa intensificar o uso de áreas pela produção de grãos e, após a colheita, estabelecer uma pastagem para cultivo no período de inverno/primavera. Porém, a presença da forrageira em cultivo simultâneo com a soja pode comprometer a produtividade de grãos e, se não for realizado o controle da gramínea para diminuir a competição entre as espécies, o seu uso como pasto será comprometido. O trabalho teve como objetivo avaliar o cultivo consorciado da soja com a braquiária (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás) para viabilizar um modelo de integração lavoura-pecuária em região de transição dos Biomas Mata Atlântica e Cerrado. O experimento foi conduzido na safra 2025/26, em São Carlos/SP, em 6,6 hectares. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 2 blocos, sendo os tratamentos por 3 sistemas de cultivo: 1) Soja exclusiva (sem o consórcio com BRS Paiaguás); 2) Soja consorciada com BRS Paiaguás com controle da forrageira; 3) Soja consorciada com BRS Paiaguás sem controle da forrageira. A presença da gramínea em consórcio com a soja reduziu a produtividade de grãos e, caso o controle não seja realizado, este sistema de cultivo em ILP trona-se inviabilizado.
PALAVRAS-CHAVE: Consórcio. ILP. *Urochloa*.

INTERCROPPING OF SOYBEAN WITH BRS PAIAGUÁS PALISADEGRASS FOR GRAIN PRODUCTION IN AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM

ABSTRACT: The intercropping of grain-producing crops with tropical forage species aims to intensify land use through grain production and, after harvest, establish pasture for use during the winter/spring period. However, the simultaneous presence of forage with soybean may reduce grain yield, and controlling the palisadegrass to reduce competition between species may compromise its subsequent use as pasture. This study aimed to evaluate soybean intercropped with palisadegrass (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás) to enable an integrated crop-livestock system in a region of transition between the Atlantic Forest and Cerrado Biomes. The experiment was conducted during the 2025/26 growing season in São Carlos, São Paulo, Brazil, in an area of 6.6 hectares. A completely randomized design with two blocks was used, with three cropping systems: 1) sole soybean (without palisadegrass intercropping); 2) soybean intercropped with BRS Paiaguás with forage control; and 3) soybean intercropped with BRS Paiaguás without forage control. The presence of palisadegrass intercropped with soybean reduced grain yield, and when forage control was not performed, this cropping system was not viable for integrated crop-livestock systems.
KEYWORDS: Intercropping. ICL. *Urochloa*.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos de origem animal tem impulsionado a busca por sistemas de produção capazes de aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais, sem comprometer a qualidade do solo e a sustentabilidade agropecuária (MABHAUDHI *et al*., 2023). Nesse contexto, os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) constituem uma estratégia de intensificação sustentável por possibilitarem a diversificação das atividades produtivas na mesma área e a complementaridade entre culturas agrícolas e espécies forrageiras (LEITE-MORAES *et al*., 2023). A integração entre os componentes vegetal e animal pode favorecer a ciclagem de nutrientes, o aporte de resíduos orgânicos e a melhoria da produção vegetal, contribuindo para maior eficiência e estabilidade dos sistemas produtivos (LEMAIRE *et al*., 2023).

Entre as alternativas para estabelecimento de sistemas integrados em regiões tropicais, o cultivo de soja (*Glycine max* L.) associado a espécies forrageiras do gênero *Urochloa* apresenta elevado potencial, especialmente pela possibilidade de produção de grãos durante o período de verão e formação de pastagem para utilização subsequente (DIAS *et al*., 2025). A presença da forrageira também proporciona maior cobertura do solo e produção de biomassa, aspectos importantes para a conservação do solo e para a continuidade do sistema produtivo (SILVA *et al*., 2023). Estudos recentes demonstram que a integração de forrageiras com culturas agrícolas pode contribuir para a melhoria e eficiência do sistema, embora os resultados dependam da espécie forrageira, do arranjo de cultivo e do manejo adotado (AMBUS *et al*., 2023; SOARES *et al*., 2023).

Entretanto, a utilização de forrageiras em consórcio com a soja exige adequado planejamento do estabelecimento e do manejo das espécies, uma vez que a competição por água, luz e nutrientes pode interferir no crescimento da cultura e na produtividade de grãos (LEAL *et al*., 2024). Por outro lado, a supressão excessiva do crescimento da forrageira durante o ciclo da soja pode reduzir a quantidade de biomassa disponível para a formação da pastagem subsequente, comprometendo um dos principais benefícios da ILP (SOARES *et al*., 2023). Assim, a definição de estratégias que permitam compatibilizar o desempenho produtivo da soja com o estabelecimento satisfatório da forrageira constitui um dos principais desafios para a adoção do consórcio. Resultados obtidos com *Urochloa* demonstram que a escolha da espécie ou cultivar e o momento de estabelecimento são determinantes para reduzir a competição e favorecer a produção de forragem no período subsequente (SOUSA SANTOS *et al*., 2024).

A cultivar BRS Paiaguás de *Urochloa brizantha* apresenta características de interesse para sistemas integrados, por constituir uma alternativa forrageira para formação de pastagens e produção de biomassa em sistemas agrícolas (SEKIYA *et al*., 2021). Nesse sentido, a adoção de sistemas integrados com adequado manejo da forrageira pode representar uma alternativa para aumentar a eficiência de uso do solo e reduzir os períodos de ociosidade das áreas agrícolas (LIMA *et al*., 2025).

Diante desse contexto, este estudo avaliou o cultivo consorciado da soja com *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás, buscando verificar a viabilidade dessa associação para a produção de grãos e o estabelecimento de uma pastagem em sistema de integração lavoura-pecuária em região de transição dos Biomas Mata Atlântica e Cerrado. O cultivo da soja em consórcio com a *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás pode representar uma alternativa para a integração entre a produção de grãos e a pecuária. Com a avaliação de diferentes estratégias de manejo da forrageira é possível analisar os efeitos da competição sobre a soja e sua viabilidade em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo avaliar o cultivo consorciado da soja (*Glycine max* L.) com a braquiária (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás) para viabilizar um modelo de integração lavoura-pecuária em região de transição dos Biomas Mata Atlântica e Cerrado.

METODOLOGIA

Área experimental

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola 2025/26 na área experimental pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos/SP (19° 28'S; 44° 15'W e altitude de 732 m).

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Distrófico, A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado. A área experimental (6,6 ha) estava sendo utilizada há mais de 30 anos com pastagem de *Urochloa* (syn *Brachiaria*) *decumbens* cv. Basilisk em

sistema extensivo com animais das raças Canchim e Nelore de diferentes idades (machos e fêmeas), sem a adoção de estratégias de manejo da forrageira, controle de lotação animal, assim como aplicação de tratos culturais como adubação de cobertura e manejos de pragas, doenças e plantas daninhas (Figura 1).

Figura 1. Área experimental antes do início das coletas de solo para implantação do experimento (agosto/2025).

Fonte: Emerson Borghi.

Tratamentos e delineamento experimental

A área experimental de 6,6 hectares está subdividida em 3 sistemas produtivos: 1) Soja exclusiva (sem o consórcio); 2) Soja consorciada com BRS Paiaguás com controle da forrageira; 3) Soja consorciada com BRS Paiaguás sem controle da forrageira.

O delineamento experimental utilizado é o inteiramente casualizado, considerando 3 Sistemas de Cultivo e duas formas de controle da gramínea (1 – com controle; 2 – sem controle). Face ao processo de mecanização para realização dos tratamentos, os dados de avaliações foram obtidos por meio de amostras independentes em cinco pontos aleatórios previamente georreferenciados dentro de cada tratamento, uma vez que a mecanização de grande porte não permite a utilização de delineamento experimental em bloco casualizados, por exemplo (FERREIRA *et al*., 2012; CECAGNO *et al*., 2016; PEIXOTO *et al*., 2019; SIMÃO, 2020).

Instalação e realização do experimento

As atividades tiveram início com a demarcação com grade aradora das curvas de nível que estavam presentes na área e permaneceram após a implantação dos sistemas, seguido da reconstrução das curvas (10/10/2025), aplicação de calcário dolomítico com PRNT de 70% na dose de 2 t/ha. Após esta operação, foi efetuada gradagem aradora modelo para incorporação e nivelamento (21/10/2025), preparo do solo com subsolador a 55 cm de profundidade, seguido de gradagem niveladora. A soja cultivar BRS 5980 IPRO

foi semeada no dia 20/11/2025 mecanicamente a 50 cm de espaçamento e densidade inicial de sementes de 360.000 plantas ha^{-1} e adubação com 16 kg ha^{-1} de N, 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha_{-1} de K_2O, correspondendo a 400 kg ha^{-1} da formulação NPK 04 30 10. As quantidades de calcário e fertilizante seguiram os resultados da análise de solo e as recomendações de Cantarella *et al*. (2022) para a cultura da soja.

Por ocasião da semeadura, as sementes de soja foram inoculadas com estirpes do gênero *Bradyrhizobium* na dose recomendada pelo fabricante. O cultivar BRS Paiaguás foi semeado simultaneamente com a soja. Para esta operação, as sementes da forrageira (10 kg/ha) foram misturadas ao fertilizante no momento da semeadura. A emergência da soja ocorreu em 02/12/2025 e a gramínea em 08/12/2025 correspondendo a, respectivamente, 12 e 18 dias após a semeadura dos Sistemas.

Para o controle da forrageira, nos Sistemas 1 e 2, aos 23 dias após a semeadura, foi realizada a aplicação de herbicidas com 720 g de ingrediente ativo (i. a.) ha^{-1} de glifosato e, aos 32 dias após a semeadura, a aplicação com o herbicida Clorimurom Etílico (15 g de i. a. ha^{-1}). Para estas aplicações foi utilizado veículo aéreo não tripulado (drone), na vazão de 50 L ha^{-1}.

O controle fitossanitário na soja foi efetuado seguindo os princípios das boas práticas agrícolas, através do acompanhamento periódico da ocorrência de pragas e doenças. Antecedendo a colheita da soja, em cada um dos sistemas, foram feitas 5 repetições para contagem do estande final de plantas, sendo cada repetição composta por 3 linhas com 3 metros de comprimento cada. Em cada repetição, 10 plantas foram escolhidas aleatoriamente para avaliação das características agronômicas para estimativa da produtividade de grãos em kg ha^{-1} considerando o teor de umidade de 13 g kg^{-1}. Após estas avaliações, a soja foi colhida em área total em 01/04/2026 correspondendo a 126 dias após a semeadura.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2011). Na comparação de médias das variáveis foi empregado o teste Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento, o volume de precipitação pluvial acumulada foi de 905,6 mm, satisfatório para a cultura da soja. Entre a semeadura e a emergência (12 dias) não foi registrada nenhuma ocorrência de chuvas e, por esta razão, o estabelecimento de plantas foi severamente prejudicado, reduzindo o estande final de plantas de soja.

Na Tabela 1 constatou-se que no estande final de plantas houve efeito dos Sistemas, assim como o método de controle da forrageira e da interação entre os fatores. A ausência de controle da gramínea com o uso de herbicidas reduziu o estande final de plantas de soja em média 16,5%. Além disso, houve significativa redução no estande final de plantas em

relação à densidade inicial desejada (360.000 plantas ha^{-1}), com uma perda de 32% para os Sistemas 1 e 2, e de 43% para o Sistema 3.

Tabela 1. Valores médios de estande final de plantas e de produtividade de grãos de soja em cultivo exclusivo ou consorciado com *Urochloa* BRS Paiaguás, em dois métodos de controle do crescimento da forrageira.

Sistemas (SIST)	Estande final de plantas	Produtividade de grãos
	plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
Sistema 1	243.555 a	2.950 a
Sistema 2	244.222 a	2.568 ab
Sistema 3	203.500 b	1.928 b
Erro padrão da média	6.645	204
Controle da braquiária (CONTR)		
Com controle	243.888 a	2.759 a
Sem controle	203.500 b	1.928 b
Erro padrão da média	6.809	194
Média	238.119	2.568
CV(%)	11,84	22,97
Valor de F		
SIST	8,70*	5,59*
CONTR	17,59**	9,16*
SIST X CONTR	8,80**	5,71**

Sistema 1: Soja exclusiva (sem o consórcio com a forrageira); **Sistema 2:** Soja consorciada com BRS Paiaguás com controle da forrageira; **Sistema 3.** Soja consorciada com BRS Paiaguás sem controle da forrageira.

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna não diferem entre si ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. * - significativo a 1%; ** - significativo a 5%

O baixo estande neste último também foi decorrente da ausência de controle do crescimento da forrageira em comparação a Sistema 2 (Tabela 1). Resultados obtidos em sistemas de produção envolvendo *Urochloa* também demonstram que o manejo da forrageira pode modificar as condições físicas do solo e as relações de crescimento das culturas componentes, especialmente quando a gramínea permanece em crescimento ativo (LIMA *et al*., 2025).

A produtividade de grãos acompanhou a tendência observada para o estande, com redução significativa no tratamento em que a gramínea permaneceu sem controle. A produtividade média foi de 2.759 kg ha^{-1} nos tratamentos com controle da forrageira, enquanto a ausência de controle resultou em apenas 1.928 kg ha^{-1}, correspondendo a redução de aproximadamente 30,1%. Esse comportamento demonstra que, nas condições deste experimento, a competição exercida pelo BRS Paiaguás foi suficientemente intensa

para comprometer não apenas o estabelecimento das plantas, mas também a capacidade produtiva da soja. Estudos recentes sobre sistemas integrados mostram que a presença de espécies forrageiras pode modificar o desempenho da soja, sendo o manejo dos componentes determinante para o equilíbrio entre produção de biomassa e produtividade de grãos (SOARES *et al*., 2023).

Por outro lado, a produtividade de 2.950 kg ha^{-1} obtida no Sistema 1 e de 2.568 kg ha^{-1} no Sistema 2 não diferiu estatisticamente, indicando que o consórcio com BRS Paiaguás, quando associado ao controle do crescimento da forrageira, não reduziu significativamente a produtividade da soja em relação ao cultivo exclusivo. Esse resultado é particularmente relevante para o objetivo do estudo, pois demonstra que o consórcio pode ser conduzido sem penalizar estatisticamente a produção de grãos, desde que a competição da forrageira seja adequadamente manejada. Em experimento envolvendo sistemas integrados com BRS Paiaguás, Soares *et al*. (2024) também demonstraram o potencial de sistemas contendo essa forrageira para conciliar a produção agrícola com a geração de biomassa, reforçando a viabilidade da integração quando os componentes são adequadamente manejados.

A diferença de produtividade entre o Sistema 2 e o Sistema 3, embora numericamente expressiva, reforça a importância do controle da competição durante o ciclo da soja. O Sistema 3 apresentou produtividade 24,9% inferior ao Sistema 2, resultado que pode ser associado à combinação entre o menor estande inicial e a maior interferência da forrageira sobre as plantas remanescentes. Estudos recentes com soja submetida a diferentes níveis de competição demonstram que a manutenção de condições de menor interferência durante os estádios iniciais favorece a população de plantas e os componentes de rendimento, enquanto a competição prolongada pode reduzir o desempenho produtivo da cultura (ARSHAD *et al*., 2026).

De maneira geral, os resultados demonstram que o consórcio soja–BRS Paiaguás apresenta potencial para produção de grãos, mas o sucesso do sistema depende do estabelecimento adequado da soja e do controle da competição exercida pela forrageira. A ausência de redução estatística da produtividade entre o cultivo exclusivo e o consórcio com controle da BRS Paiaguás é um indicativo favorável à utilização dessa modalidade de integração, especialmente porque permite manter a forrageira no sistema e, simultaneamente, preservar o rendimento da cultura de grãos. Resultados recentes em sistemas integrados com BRS Paiaguás corroboram a possibilidade de combinar produção agrícola e geração de biomassa, reforçando seu potencial como componente de sistemas de produção mais diversificados e sustentáveis (SOARES *et al*., 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo consorciado simultâneo da soja com a *Urochloa* BRS Paiaguás visa a possibilidade de colheita de grãos e, na sequência, a forragem produzida poderá ser consumida pelos animais em pastejo durante o período de primavera, viabilizado a integração lavoura-pecuária. Para que este sistema de cultivo tenha êxito, é fundamental o controle do

crescimento da forrageira no início do perfilhamento, pois a ausência deste manejo reduz o estande final de plantas em 17% e a produtividade de grãos de soja em 30%. Com o controle a forrageira, a competição entre as espécies é reduzida, e não compromete a produtividade da soja a presença da gramínea em relação ao cultivo exclusivo da leguminosa.

REFERÊNCIAS

AMBUS, J. V.; AWE, G. O.; CARVALHO, P. C. F.; REICHERT, J. M. Integrated crop-livestock systems in lowlands with rice cultivation improve root environment and maintain soil structure and functioning. ***Soil and Tillage Research***, v. 227, 105592, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105592.

ARSHAD, M. A.; ABBAS, R. N.; BALOCH, R.; AHMAD, A.; ZULFIQAR, U.; HAIDER, F. U.; EL-BELTAGI, H. S.; ALQAHTANI, M. D.; PRASAD, P. V. V. Enhancing soybean (*Glycine max* L.) yield and quality through optimized weed-free periods and sowing techniques. ***Frontiers in Plant Science***, v. 17, 1700878, 2026. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1700878.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (ed.). Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. 489 p.

CECAGNO, D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; BALERINI, F.; FINK, J. R.; CARVALHO, P. C. F. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities. ***Soil and Tillage Research***, v. 156, p. 54–62, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.005.

DIAS, M. B. D. C.; COSTA, K. A. D. P.; BILEGO, U. O.; COSTA, J. V. C. P.; BEZERRA FERNANDES, P. Protein and carbohydrate fractionation of *Urochloa* spp. and *Megathyrsus maximus* forages after intercropping with soybean in an integrated crop-livestock system. ***New Zealand Journal of Agricultural Research***, v. 68, n. 1, p. 116–129, 2025. DOI: https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2214366.

FERREIRA, D. F.; FILHO, A. C.; LÚCIO, A. D. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. ***Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo***, v. 37, n. 3, p. 16–19, 2012.

LEAL, V. N.; PAIM, T. P.; SANTOS, D. C.; FERNANDES, P. B.; SANTOS, L. P.; SOUZA, B. R.; BUENO, M. S. L.; VALICHESKI, R. R.; GONÇALVES, L. F.; CLAUDIO, F. L.; ALVES, E. M. Grazing effect on different forage species in yield of soybean-pasture succession. ***Journal of Agriculture and Food Research***, v. 15, 101053, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101053.

LEMAIRE, G.; GARNIER, J.; DA SILVEIRA PONTES, L.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; BILLEN, G.; SIMIONI ASSMANN, T. Domestic herbivores, the crucial trophic level for sustainable agriculture: avenues for reconnecting livestock to cropping systems. ***Agronomy***, v. 13, n. 4, 982, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy13040982.

LEITE-MORAES, A. E.; ROSSATO, F. G.; SUSAETA, A.; BINOTTO, E.; MALAFAIA, G. C.; AZEVEDO, D. B. Environmental impacts in integrated production systems: an overview.

Journal of Cleaner Production, v. 420, 138400, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138400.

LIMA, J. D. P.; SILVA, J. F. G.; LINHARES, A. J. S.; COSTA, K. A. P.; FERREIRA, C. J. B.; SEVERIANO, E. C. Crop-livestock integration systems mitigate soil compaction and increase soybean yield. ***Acta Scientiarum. Agronomy***, v. 47, n. 1, e69446, 2025. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v47i1.69446.

MABHAUDHI, T. M.; CHIBARABADA, T. P.; SIKKA, A. Status of integrated crop-livestock research in the mixed farming systems of the Global South: a scoping study. ***Frontiers in Sustainable Food Systems***, v. 7, 1241675, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1241675.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; SILVA, S. H. G.; KARLEN, D. L.; MOREIRA, S. G.; SILVA, A. A. P.; RESENDE, A. V.; NORTON, L. D.; CURI, N. Diagnosing, ameliorating, and monitoring soil compaction in no-till Brazilian soils. ***Agrosystems, Geosciences & Environment***, v. 2, n. 1, 2019. DOI: https://doi.org/10.2134/age2018.09.0035.

SEKIYA, B. M. S.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; NEVES, F. O.; MARANGONI, G. A. O.; MULERO, J.; LOPES, R. M. Forage characteristics and beef cattle production in perennial pastures of BRS Paiaguás and BRS Piatã in integrated crop livestock system. ***Semina: Ciências Agrárias***, Londrina, v. 42, n. 5, p. 2979–2992, 2021. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n5p2979.

SILVA, J. A. G.; COSTA, K. A. P.; DA SILVA, L. M.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, F. G.; HABERMANN, E.; MARTINEZ, C. A.; VILELA, L.; DA SILVA, A. G.; COSTA, A. C.; COSTA, J. V. C. P.; DE OLIVEIRA, K. J. Integrated systems improve the sustainability of soybean cultivation in the tropical region. ***Frontiers in Sustainable Food Systems,*** v. 7, 1224530, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1224530.

SIMÃO, E. P. Desempenho produtivo e avaliação econômica de sistemas intensificados de cultivo de grãos na região Central de Minas Gerais. 2020. 60 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

SOARES, D. A.; MODESTO, V. C.; NAKAO, A. H.; SOARES, W. R.; FREITAS, L. A.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; ANDREOTTI, M. Soybean yield and nutrition grown on the straw of grain sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* and intercropped with BRS Paiaguás grass. ***Plants***, v. 12, n. 10, 2007, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12102007.

SOARES, D. A.; LUPATINI, G. C.; SEKIYA, B. M. S.; MATEUS, G. P.; ANDRIGHETTO, C.; MODESTO, V. C.; DA SILVA, J. R.; DA LUZ, J. H. S.; GALINDO, F. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; *et al.* Integrated crop-livestock systems as a strategy for the sustainable production of corn and soybean grain in tropical sandy soils. ***Agronomy***, v. 14, n. 9, 2071, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy14092071.

SOUSA SANTOS, F. L.; NASCENTE, A. S.; LACERDA, M. C.; CALIL, F. N. Clearfield upland rice intercropped with *Urochloa ruziziensis* for grain, increased revenue and environmental preservation. ***Agronomy Journal***, v. 116, p. 1917–1932, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.21576.

CAPÍTULO 8

FUNGOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL: MECANISMOS DE AÇÃO E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO NA AGRICULTURA

Thuane Barbosa Medeiros Franco[1];
[1]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/7383821115610743
Catarina Araújo de Souza[2];
[2]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/3010750008511791
Keveny Martins Claudino[3];
[3]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/0060213408102654
Ana Gabriela Alves Batista[4];
[4]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/9352091425943334
Liziane Maria de Lima[5].
[5]Embrapa Algodão (EMBRAPA), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/7350753350522784

RESUMO: Os fungos promotores de crescimento vegetal utilizam diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos para desempenhar seu papel no desenvolvimento das plantas, favorecendo a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a adaptação a condições ambientais adversas. Objetivou-se revisar o papel dos fungos promotores do crescimento vegetal, com ênfase nos mecanismos de interação com as plantas e no potencial de aplicação desses microrganismos como estratégia biotecnológica na agricultura. Selecionamos 19 artigos da base de dados do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) e 14 *ScienceDirect*, totalizando 33 trabalhos. Constatou-se que os fungos endofíticos e rizosféricos atenuam estresses ambientais e estimulam o desenvolvimento vegetal por meio da síntese hormonal, solubilização de nutrientes e biocontrole de patógenos. Contudo, estudos interdisciplinares e abordagens de modulação microbiana são necessários para otimizar as relações simbióticas planta-fungo e seu potencial para o aumento da produtividade. Em síntese, recomenda-se que as pesquisas continuem a avançar na compreensão das interações entre plantas e microrganismos, com enfoque no isolamento de linhagens adaptadas e no aprimoramento de bioinsumos para a agricultura.
PALAVRAS-CHAVE: Bioestimulantes. Interação planta-microrganismo. Fungos endofíticos.

PLANT GROWTH-PROMOTING FUNGI: MECHANISMS OF ACTION AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL IN AGRICULTURE

ABSTRACT: Plant growth-promoting fungi employ various physiological and biochemical mechanisms to influence plant development, facilitating nutrient uptake, root growth, and adaptation to adverse environmental conditions. This study aimed to review the role of plant growth-promoting fungi, focusing on their interaction mechanisms with plants and their potential application as a biotechnological strategy in agriculture. We selected 33 studies in total: 19 from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) database and 14 from ScienceDirect. The findings indicate that endophytic and rhizospheric fungi mitigate environmental stress and stimulate plant development through hormone synthesis, nutrient solubilization, and pathogen biocontrol. However, interdisciplinary studies and microbial modulation approaches are required to optimize plant-fungus symbiotic relationships and their potential to boost productivity. In summary, further research is recommended to advance the understanding of plant-microorganism interactions, with a focus on isolating adapted strains and improving bio-inputs for agriculture.
KEYWORDS: Biostimulants. Plant-microorganism interaction. Endophytic fungi.

INTRODUÇÃO

Práticas agrícolas intensivas e não sustentáveis colocam em risco a segurança alimentar, a economia e o meio ambiente em todo o mundo (Díaz-Rodríguez et al., 2025). Para enfrentar esse desafio, são necessárias alternativas, como a adoção de um manejo adequado e a redução do uso indiscriminado de agroquímicos (Murali et al., 2021).

Nesse contexto, os microrganismos promotores de crescimento constituem uma estratégia eficaz no controle de doenças e uma alternativa para impulsionar o crescimento e os mecanismos de defesa nas plantas (Murali et al., 2021). Diante da necessidade de práticas mais sustentáveis, a busca por estratégias biotecnológicas, como o uso de bioinoculantes à base de microrganismos promotores de crescimento, tem se mostrado eficiente, favorecendo o desenvolvimento e a saúde das plantas (Hossain; Sultana; Islam, 2017; Adedayo; Babalola, 2023).

Entre estes microrganismos, os fungos desempenham um papel multifuncional importante para as plantas; diversas espécies endofíticas vêm se destacando por suas associações simbióticas com culturas variadas, promovendo a supressão de patógenos e a fertilidade do solo (Samal et al., 2023). Uma vez que melhoram a absorção de nutrientes e, por consequência, atuam no aumento da taxa de germinação, no crescimento vegetativo, no alongamento das raízes e na produção de biomassa, além de auxiliar na tolerância a estresses bióticos e abióticos (Ben Rhouma et al., 2020; Baron; Rigobelo, 2022; Samal; Rai; Upadhaya, 2023).

O uso de biofertilizantes e inoculantes microbianos tem se destacado como uma estratégia promissora para a agricultura sustentável, por modular o microbioma do solo e

fortalecer as interações entre o solo, as plantas e os microrganismos. Esses microrganismos contribuem para a redução da dependência de fertilizantes minerais e promovem melhorias na qualidade e fertilidade do solo. Tais efeitos são mediados por mecanismos que estimulam a atividade enzimática e favorecem comunidades microbianas benéficas (Srijanani et al., 2024; Panek et al., 2026).

OBJETIVO

Abordar, com base na literatura científica, o papel dos fungos promotores de crescimento vegetal, com ênfase nos mecanismos de interação com as plantas e no potencial de aplicação como estratégia biotecnológica na agricultura.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios e descritivos, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, com o propósito de reunir e analisar informações científicas acerca da atuação de fungos promotores de crescimento vegetal.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados: *ScienceDirect* e *PubMed*, disponibilizadas pelo *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), mediante a combinação de palavras-chave: “fungos promotores do crescimento vegetal”, “bioinsumos” e “agricultura sustentável” (Tabela 1).

Tabela 1 - Combinação de palavras-chave utilizadas na busca de dados.

Banco de Dados	Estratégia de busca
SCIENCEDIRECT	“Fungos promotores do crescimento vegetal”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” *AN*D “Bioinsumos”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” *AN*D “Agricultura sustentável”
NCBI	“Fungos promotores do crescimento vegetal”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” *AN*D “Bioinsumos”
	“Fungos promotores do crescimento vegetal” *AN*D “Agricultura sustentável”

Os termos utilizados na busca foram adicionados aos bancos de dados em inglês.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos que apresentaram informações sobre a interação benéfica entre fungos e plantas, mecanismos de promoção

do crescimento vegetal, aquisição de nutrientes, produção ou modulação de fitormônios, indução de defesa e tolerância a estresses abióticos, bem como estudos que discutissem a utilização de fungos como bioinsumos e sua contribuição para sistemas agrícolas sustentáveis. Não foram estabelecidos limites quanto ao ano de publicação ou ao idioma dos artigos.

Foram excluídos trabalhos que não apresentaram relação direta com os objetivos da revisão, bem como estudos exclusivamente relacionados à interação planta-fungo de caráter patogênico. As buscas foram realizadas no período de março a maio de 2026, com um total de 33 artigos selecionados, sendo 19 da base de dados *NCBI* e 14 do *ScienceDirect*. Após a busca, os estudos foram selecionados por meio da leitura dos títulos, resumos e, quando pertinente, do texto completo, considerando sua relevância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fungos endofíticos e a interação planta-microrganismo

O uso de fungos, bactérias ou consórcios microbianos associados a biofertilizantes mostra-se uma alternativa para a prática da agricultura sustentável. Fungos benéficos têm se destacado como uma alternativa promissora, apresentando mecanismos que induzem diversas respostas nas plantas, como a promoção do crescimento vegetal, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios, produção de sideróforos e o controle biológico de pragas, contribuindo para sistemas de cultivo mais eficientes e ecologicamente equilibrados (Gazola et al., 2024; Rodrigues; Limeira, 2023).

Dentre os fungos utilizados na agricultura, destacam-se principalmente aqueles que apresentam a capacidade promotora de crescimento, como os fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Piriformospora*, *Phoma* e *Rhizoctonia*, que têm a capacidade natural de estimular características relacionadas ao crescimento das plantas, aumento da aquisição de nutrientes, modificação do ambiente do solo para promover o crescimento e desenvolvimento da planta e biocontrole de patógenos vegetais (Bent, 2006; Hossain; Sultana; Islam, 2017).

Todavia, ainda há muito a descobrir sobre os fungos promotores de crescimento vegetal (FPCV), um grupo abundante e diverso de eucariotos, cujas funções promotoras do crescimento vegetal são conhecidas há décadas, mas, infelizmente, frequentemente negligenciadas. Em certos aspectos, os fungos superam as bactérias, principalmente devido à sua ubiquidade, morfologia particular, capacidade de penetrar em substratos sólidos, ampla distribuição geográfica e maior tolerância a condições adversas. Além disso, os fungos, sejam filamentosos, endofíticos, micorrízicos ou leveduras, exibem quase todas as funções ecológicas e características das bactérias. Portanto, o micobioma vegetal é considerado uma fonte quase inexplorada de FPCV excepcionais (Zenteno□Alegría et al., 2024).

Somada a isso, a natureza predominantemente não patogênica dos FPCV, aliada ao seu alto potencial de rendimento, segurança ambiental e custo-benefício, os posiciona como

alternativas ecologicamente corretas e economicamente viáveis aos agroquímicos sintéticos em meio a cenários de rápidas mudanças climáticas. Consequentemente, o horizonte promissor desses microrganismos na produção agrícola exige estudos interdisciplinares e abordagens de modulação microbiana para otimizar as relações simbióticas planta-fungo e o potencial desses microrganismos para aumentar a produtividade (Fite et al., 2023).

Mecanismos de promoção do crescimento vegetal mediados por fungos

Mecanismos diretos de promoção do crescimento vegetal

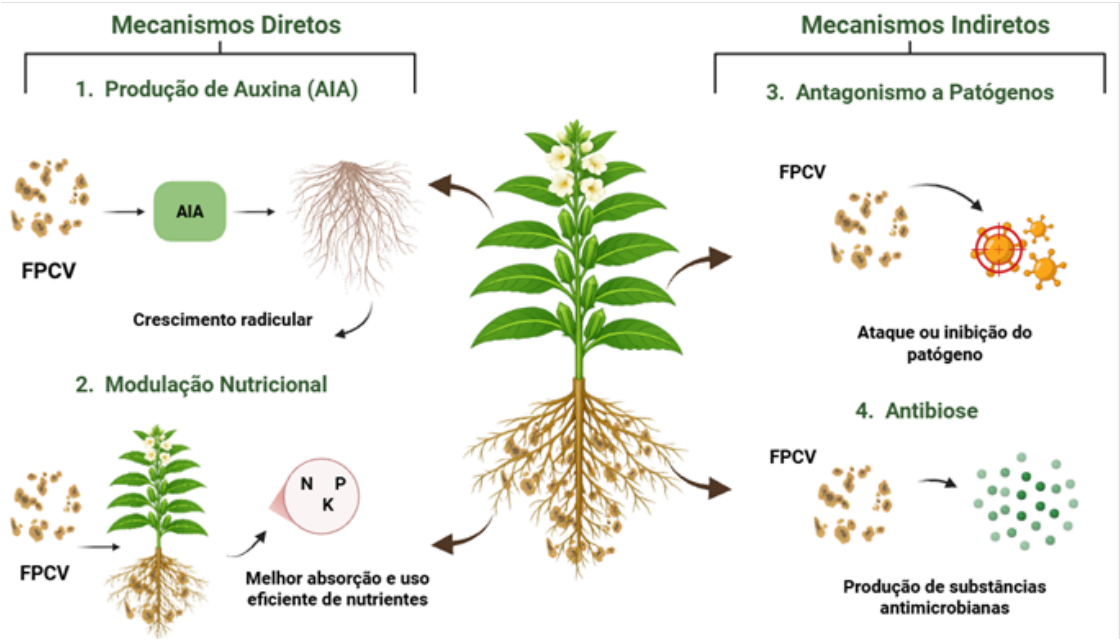
Os FPCV utilizam diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos para desempenhar seu papel no desenvolvimento das plantas, favorecendo a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a adaptação a condições ambientais adversas. Esses microrganismos atuam diretamente no metabolismo vegetal, promovendo alterações hormonais e nutricionais que resultam em maior eficiência fisiológica e na produção das culturas agrícolas (Figura 1) (Baron; Rigobelo, 2022).

Entre os principais mecanismos diretos de promoção do crescimento vegetal, destaca-se a produção de fitormônios, especialmente auxinas, giberelinas e citocininas. As auxinas, principalmente o ácido indol-3-acético (AIA), estão associadas ao estímulo do crescimento radicular, ao alongamento celular e à formação de raízes laterais, o que aumenta a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas (Tripathi et al., 2025).

Os fungos endofíticos capazes de sintetizar AIA promovem modificações significativas na arquitetura radicular, favorecendo o estabelecimento vegetal sob condições de estresse abiótico (Khan et al., 2015). A inoculação de plantas com microrganismos endofíticos produtores de AIA têm sido relatados como uma estratégia promissora para aumentar parâmetros de crescimento vegetal, como biomassa, comprimento da raiz e da parte aérea (Tripathi et al., 2025).

Os FPCV desempenham um papel fundamental na dinâmica nutricional da rizosfera, atuando na solubilização do fósforo, na mobilização do potássio e no aumento da eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas, estimulando a produção de compostos, como ácidos inorgânicos, ácidos orgânicos e fosfatases, que convertem compostos orgânicos complexos em moléculas solúveis que podem ser assimiladas pelas plantas (Adedayo; Babalola, 2023).

Figura 1: Mecanismos diretos e indiretos de promoção do crescimento vegetal mediados por fungos. Mecanismos diretos: (1) Produção de auxina (AIA), promovendo o crescimento radicular; (2) Modulação nutricional, favorecendo maior absorção de nutrientes minerais. Mecanismos indiretos: (3) Antagonismo a patógenos e (4) Antibiose, contribuindo para a supressão de microrganismos fitopatogênicos e proteção vegetal. FPCV: Fungos promotores de crescimento vegetal; AIA: Ácido Indol-3-Acético. Criado no BioRender.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Mecanismos indiretos de promoção do crescimento vegetal

Os mecanismos indiretos relacionados à proteção das plantas contra fitopatógenos são particularmente importantes em ambientes agrícolas sujeitos a estresses bióticos e abióticos, nos quais a interação entre microrganismos pode determinar o sucesso do estabelecimento vegetal (Figura 1) (Verma et al., 2022).

O controle biológico de fitopatógenos constitui uma das principais formas indiretas de atuação desses fungos. Diversas espécies endofíticas e rizosféricas têm a capacidade de inibir o crescimento de fungos patogênicos por meio da produção de compostos antimicrobianos, enzimas hidrolíticas e metabólitos secundários com ação antifúngica. Enzimas como quitinases, glucanases e proteases promovem a degradação da parede celular de patógenos, reduzindo sua capacidade de colonização e de infecção (Verma et al., 2022).

O antagonismo microbiano também desempenha um papel relevante na defesa vegetal. Fungos benéficos podem competir diretamente com organismos patogênicos por nutrientes, espaço e recursos metabólicos disponíveis na rizosfera. Em muitos casos, o rápido crescimento e o estabelecimento desses microrganismos reduzem a possibilidade de colonização por agentes causadores de doenças, promovendo um maior equilíbrio microbiológico no solo (Adedayo; Babalola, 2023).

Além disso, muitos fungos promotores de crescimento são capazes de induzir

resistência sistêmica nas plantas hospedeiras. Esse processo envolve a ativação prévia de mecanismos de proteção vegetal, fenômeno conhecido como “priming”. Plantas previamente colonizadas por microrganismos benéficos apresentam respostas fisiológicas mais rápidas e eficientes diante de condições adversas, incluindo maior atividade antioxidante e maior expressão de genes relacionados à defesa e a tolerância ao estresse (Pieterse et al., 2014; Verma et al., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na literatura revisada, foi possível verificar a importância dos fungos promotores de crescimento vegetal em estratégias que envolvem desde o estímulo ao desenvolvimento radicular até a indução de tolerância a estresses bióticos e abióticos. Diante dessas informações, torna-se relevante ampliar os estudos que abordem a interação planta-microrganismo, especialmente com enfoque de isolamento de linhagens adaptadas e no aprimoramento de bioinsumos para a agricultura.

REFERÊNCIAS

ABDELMOTELEB, A.; MORENO-RAMÍREZ, L.; VALDEZ-SALAS, B.; SELEIMAN, M. F.; EL-HENDAWY, S.; ALDHUWAIB, K. J.; ALOTAIBI, M.; GONZÁLEZ-MENDOZA, D. New Bacillus subtilis strains isolated from *Prosopis glandulosa* rhizosphere for suppressing *Fusarium* spp. and enhancing growth of *Gossypium hirsutum* L**. Biology**, v. 12, n. 1, p. 73, 2022.

ADEDAYO, A. A.; BABALOLA, O. O. Fungi that promote plant growth in the rhizosphere boost crop growth. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 2, p. 239, 2023.

ALI, R.; GUL, H.; RAUF, M.; ARIF, M.; HAMAYUN, M.; HUSNA; KHILJI, S. A.; UD-DIN, A.; SAJID, Z. A.; LEE, I.-J. Growth-promoting endophytic fungus (*Stemphylium lycopersici*) ameliorates salt stress tolerance in maize by balancing ionic and metabolic status. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 890565, 2022.

BARON, N. C.; RIGOBELO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. **Mycology**, v. 13, n. 1, p. 39-55, 2022.

BEN RHOUMA, M.; KRIAA, M.; NASR, Y. B.; MELLOULI, L.; KAMMOUN, R. A new endophytic *Fusarium oxysporum* gibberellic acid: optimization of production using combined strategies of experimental designs and potency on tomato growth under stress condition**. BioMed Research International**, v. 2020, n. 1, p. 4587148, 2020.

BENT, E. Induced systemic resistance mediated by plant growth-promoting rhizobacteria and fungi. In: SIDDIQUI, Zaki A. (ed.). Multigenic and induced systemic resistance in plants. Boston, MA: **Springer US**, 2006. p. 225-258.

BITAS, V.; MCCARTNEY, N.; LI, N.; DEMERS, J.; KIM, J.-E.; KIM, H.-S.; BROWN, K. M.; KANG, S. *Fusarium oxysporum* volatiles enhance plant growth via affecting auxin transport and signaling. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 1248, 2015.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from *Amazon soils* improve soybean plant growth.

Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 2858, 2020.
CHUN, S. C.; PARAMASIVAN, M.; CHANDRASEKARAN, M. Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 2525, 2018.
DÍAZ-RODRÍGUEZ A. M.; COTA F. I. P.; CHÁVEZ L. A. C.; ORTEGA L. F. G.; ALVARADO M. I. E.; SANTOYO G.; SANTOS-VILLALOBOS S. Microbial inoculants in sustainable agriculture: advancements, challenges, and future directions**. Plants**, v. 14, n. 2, p.191, 2025.
EGAMBERDIEVA, D.; JABBOROVA, D.; HASHEM, A. *Pseudomonas* induces salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum*) and resistance to *Fusarium* root rot through the modulation of indole-3-acetic acid. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 6, p. 773- 779, 2015.
FERREIRA, T. C.; LAGO, L. do; SILVA, L. G.; PACIFICO, M. G.; FARIA, M. R. de; BETTIOL, W. Potencial de *Bacillus* spp. em promover o crescimento e controlar *Fusarium verticillioides* em milho. **Summa Phytopathologica**, v. 47, n. 4, p. 195-203, 2021.
FITE, T.; KEBEDE, E.; TEFERA, T.; BEKEKO, Z. Endophytic fungi: versatile partners for pest biocontrol, growth promotion, and climate change resilience in plants. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1322861, 2023.
GAZOLA, V. D.; SANTOS, M. C. B. R. dos; NEGRELLI, J. G. D.; POLONIO, J. Importância de fungos do gênero *Trichoderma* para a agricultura: mecanismos de ação e melhoramento genético. **Peer Review**, v. 6, n. 16, p. 141-156, 2024.
HARMAN, G. E.; DONI, F.; KHADKA, R. B.; UPHOFF, N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 2, p. 529-546, 2021.
HOSSAIN, M. M.; SULTANA, F.; ISLAM, S. Plant growth-promoting fungi: phytostimulation and induced systemic resistance. In: SINGH, Dhananjaya Pratap; SINGH, Harikesh Bahadur; PRABHA, Ratna (ed.). Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives. Singapore: **Springer Singapore**, 2017. p. 135-191.
ISLAM, S.; AKANDA, M.; PROVA, A.; SULTANA, F.; HOSSAIN, M. M. Growth promotion effect of *Fusarium* spp. PPF1 from bermudagrass (*Cynodon dactylon*) rhizosphere on Indian spinach (*Basella alba*) seedlings are linked to root colonisation. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 47, n. 19, p. 2319-2331, 2014.
MINERDI, D.; BOSSI, S.; MAFFEI, M. E.; GULLINO, M. L.; GARIBALDI, A. *Fusarium oxysporum* and its bacterial consortium promote lettuce growth and *expansin A5* gene expression through microbial volatile organic compound emission. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 76, n. 2, p. 342-351, 2011.
MIRSAM, H.; KALQUTNY, S. H.; SURIANI; AQIL, M.; AZRAI, M.; PAKKI, S.; MUIS, A.; DJAENUDDIN, N.; RAUF, A. W.; MUSLIMIN. Indigenous fungi from corn as a potential plant growth promoter and its role in *Fusarium verticillioides* suppression on corn. **Heliyon**, v. 7, n. 9, p. e07926, 2021.

MURALI, M.; NAZIYA, B.; ANSARI, M. A.; ALOMARY, M. N.; ALYAHYA, S.; ALMATROUDI, A.; THRIVENI, MC.; GOWTHAM, H. G.; SINGH, S. B.; AIYAZ, M.; KALEGOWDA, N.; LAKSHMIDEVI, N.; AMRUTHESH, K. N. Bioprospecting of rhizosphere-resident fungi: Their role and importance in sustainable agriculture. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 4, p. 314, 2021.

PANEK, J.; GRYTA, A.; MAJ, W.; MĄCIK, M.; OSZUST, K.; PERTILE, G.; PYLAK, M.; SIEGIEDA, D.; HALLAMA, M.; HATANO, R.; KANDELER, E.; PATHAN, S. I.; PIETRAMELLARA, G.; MALUSA, E.; WEBER, J.; TURNAU, K.; RÓŻALSKA, S.; FRĄC, M. Plant–soil–microbiome interactions: mechanisms, advances, and challenges in sustainable agriculture and healthy agroecosystems. **Frontiers in Microbiology**, v. 17, p. 1762743, 2026.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; Weller D. M.; WEES, V. S. C. M.; BAKKER, P. A. H. M. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 59, p. 53–78, 2014.

RODRIGUES DE QUEIROZ, A.; HINES, C.; BROWN, J.; SAHAY, S.; VIJAYAN, J.; STONE, J. M.; BICKFORD, N.; WUELLNER, M.; GLOWACKA, K.; BUAN, N. R.; ROSTON, R. L. The effects of exogenously applied antioxidants on plant growth and resilience. **Phytochemistry Reviews**, v. 22, n. 2, p. 407-447, 2023.

SAMAL S.; RAI S.; UPADHAYA R. S. Endophytic *Fusarium* and their association with plant growth. **Microbial endophytes and plant growth beneficial interactions and applications**, p.259-268, 2023.

SEVILLANO-CAÑO, J.; NÚÑEZ-CANO, J.; PRIETO, P.; TRAPERO, A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A.R.; AGUSTÍ-BRISACH, C. The endophytic role and growth-promoting ability of the nonpathogenic strain *Fusarium oxysporum* FO12 in herbaceous hosts. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113220, 2024.

SRIJANANI, V.; MALATHI, P.; ANANDHAM, R.; SELLAMUTHU, K.; JAYASHREE, R. Harnessing endophytes: Advanced insights into nutrient acquisition and plant growth enhancement. **Plant Science Today**, v. 11, n. sp4, 2024.

TRIPATHI, R.; ARAVIND, T.; KUMAR, S.; KESWANI, C.; SINGH, S. P.; TEWARI, R.; TEWARI, A. K.; SINGH, K. P.; MINKINA T. Microbial phytohormones: the potential orchestrators of plant growth and defense. **Discover Plants**, v. 2, n. 1, p. 180, 2025.

VERMA, A.; SHAMEEM N.; JATAV, H. S.; SATHYANARAYANA, E.; PARRAY, J. A.; POCZAI, P.; SAYYED, R. Z. Fungal endophytes to combat biotic and abiotic stresses for climate-smart and sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.953836, 2022.

ZENTENO□ALEGRÍA, C. O.; RODRÍGUEZ, L. A. Y; JIMÉNEZ. J. C.; GUTIÉRREZ, P. E. A.; GUNDE-CIMERMAN, N. G.; BATISTA-GARCÍA, R. A. Fungi beyond limits: the agricultural promise of extremophiles. **Microbial Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. e14439, 2024.

CAPÍTULO 9

SIMULAÇÃO TERRITORIAL E EDUCAÇÃO AGROECOLÓGICA NO CERRADO: A ARQUITETURA PEDAGÓGICA DO PROJETO RESERVA ARARAS

Hélio Craveiro Pessoa Júnior[1].
[1]Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal.
http://lattes.cnpq.br/1415349950533370

RESUMO: Este trabalho apresenta e analisa o Reserva Araras, uma simulação educacional desenvolvida em Google Apps Script para apoiar a educação agroecológica nos anos iniciais do Ensino Fundamental. O projeto está disponível no repositório público ReservaAraras/Game, que reúne código-fonte, documentação e testes. A pesquisa é aplicada, qualitativa, descritiva e exploratória, baseada na análise documental, na inspeção do código e nos testes automatizados. O jogo representa um território com 48 parcelas, quatro destinadas à proteção hídrica, e orçamento limitado para o manejo. Em cada rodada, o estudante formula uma pergunta e uma hipótese, realiza uma intervenção, compara indicadores e registra sua explicação e o próximo teste. A análise identificou coerência entre as regras implementadas e esse percurso investigativo, mas também limitações de segurança, funcionamento e avaliação. A proposta permite discutir escolhas relacionadas à produção, à conservação, à água e ao orçamento, com mediação docente. Sua aplicação-piloto depende de correções técnicas e cuidados com os dados dos participantes. A contribuição para a aprendizagem e a adequação das relações ambientais representadas ainda precisam ser avaliadas em estudos específicos.
PALAVRAS-CHAVE: Agroecologia. Simulação territorial. Educação agroambiental.

TERRITORIAL SIMULATION AND AGROECOLOGICAL EDUCATION IN THE CERRADO: THE PEDAGOGICAL ARCHITECTURE OF THE RESERVA ARARAS PROJECT

ABSTRACT: This paper presents and analyzes Reserva Araras, an educational simulation developed with Google Apps Script to support agroecological education in the early years of elementary school. The project is available in the public ReservaAraras/Game repository, which contains source code, documentation, and tests. This applied, qualitative, descriptive, and exploratory study draws on document analysis, code inspection, and automated tests. The game represents a territory with 48 land tiles, four designated for water protection, and a limited management budget. In each round, students formulate a question and a hypothesis, perform one intervention, compare indicators, and record their explanation and next test. The analysis identified coherence between the implemented rules and this inquiry process, alongside limitations in security, operation, and evaluation. With teacher guidance, the simulation allows students to discuss choices involving production, conservation, water,

and budget constraints. A school pilot requires technical corrections and measures to protect participant data. Its contribution to learning and the adequacy of the environmental relationships represented still require further assessment.
KEYWORDS: Agroecology. Territorial simulation. Agro-environmental education.

INTRODUÇÃO

Conciliar a produção agropecuária com a conservação do Cerrado exige relacionar biodiversidade, água, uso do solo, custos e participação social. O bioma reúne grande diversidade biológica, mas sofre pressões associadas à conversão da vegetação nativa e à intensificação do uso da terra (KLINK; MACHADO, 2005). A proteção dessa vegetação, prevista na Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), também permite discutir responsabilidades e limites do manejo.

A agroecologia articula processos ecológicos, sociais e econômicos, valorizando diversidade, sinergias, resiliência, construção conjunta de conhecimentos e governança responsável (FAO, 2018). A biodiversidade participa da ciclagem de nutrientes e da regulação hídrica nos agroecossistemas (ALTIERI, 1999). Os sistemas agroflorestais exemplificam essa articulação ao combinar atividades produtivas com benefícios para o carbono, o solo, a biodiversidade e a água (JOSE, 2009).

Na escola, o desafio é abordar essas relações sem tratar produção e preservação como escolhas sempre incompatíveis nem reduzir a sustentabilidade a um número. Os sistemas socioecológicos envolvem recursos, atores, regras e interações em diferentes escalas (OSTROM, 2009). Sua compreensão exige relacionar decisões locais às consequências para a paisagem.

A aprendizagem por investigação favorece esse trabalho ao articular perguntas, hipóteses, análise de dados, conclusões e discussão (PEDASTE et al., 2015). Jogos e simulações podem apoiar a exploração de alternativas (BARAB; DEDE, 2007), desde que o professor oriente a interpretação dos resultados e dos limites do modelo. A proposta se aproxima da investigação, da argumentação e da responsabilidade valorizadas pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018).

O Reserva Araras representa um território dividido em parcelas, no qual os estudantes experimentam ações de manejo com orçamento limitado. As escolhas produzem efeitos distintos, convidando os grupos a comparar resultados e justificar prioridades.

Pergunta-se, portanto, como essa simulação pode apoiar a compreensão das relações entre produção, conservação, água, orçamento e tomada de decisão. O estudo examina suas funções e possibilidades pedagógicas, sem atribuir aos resultados valor de previsão ambiental, certificação ou recomendação de manejo.

OBJETIVO

Apresentar e analisar a organização pedagógica e técnica do Reserva Araras, considerando as relações entre território, manejo, proteção da água, orçamento e caderno de investigação.

De forma específica, busca-se descrever o papel das parcelas na realização e na observação das intervenções; comparar os efeitos das estratégias de manejo; discutir o uso dos indicadores na elaboração de argumentos; examinar a regra de uma intervenção por rodada; e propor uma aplicação-piloto supervisionada. Também se procura distinguir o que já foi verificado no funcionamento do código daquilo que ainda depende de avaliação com estudantes ou de estudos ambientais.

METODOLOGIA

A pesquisa é aplicada, qualitativa, descritiva e exploratória, com apoio de dados quantitativos sobre as regras da simulação. O estudo de caso tecnológico dialoga com a pesquisa baseada em design, que aproxima o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem da análise dos princípios que os orientam (WANG; HANNAFIN, 2005).

Foram examinados os relatórios técnico e de arquitetura, os arquivos da aplicação, os serviços de cálculo e armazenamento, as figuras conceituais e os testes automatizados. A análise compreendeu quatro etapas: identificação dos componentes ativos; levantamento de regras, custos, fórmulas e registros; exame da relação entre ação, validação, cálculo e documentação da atividade; e conferência da correspondência entre documentação, código e testes.

As funções disponíveis aos estudantes foram diferenciadas dos módulos auxiliares e das possibilidades de desenvolvimento futuro. Essa distinção evita atribuir ao jogo recursos que ainda não fazem parte da experiência de uso. Os aspectos técnicos foram examinados conforme sua contribuição para a atividade pedagógica e para a proteção dos dados.

Consideraram-se quatro dimensões: presença das regras no código, funcionamento da aplicação publicada, contribuição para a aprendizagem e correspondência das relações ambientais com situações reais. Apenas a primeira foi examinada por inspeção e testes locais. As demais requerem testes na aplicação, estudos com participantes e comparação com dados ambientais. Não houve atividades com estudantes nem coleta de dados pessoais nesta etapa.

O relatório registra que, em 25 de agosto de 2026, o comando npm run verify aprovou os 27 testes então existentes e as verificações do relatório e das referências. Esse resultado não substitui testes no navegador, na comunicação com Google Sheets e Drive ou em sala de aula.

Para uma etapa posterior, propõe-se um piloto com duas sessões de 50 minutos e grupos de três a cinco estudantes. A primeira envolveria leitura do mapa, definição do problema e hipótese; a segunda, intervenção, comparação e discussão das explicações. O professor ajustaria a atividade ao ano escolar e às condições de leitura. Sua realização

depende das correções técnicas e dos cuidados com os dados apresentados adiante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eixo 1 – As decisões sobre as parcelas e seus efeitos no território

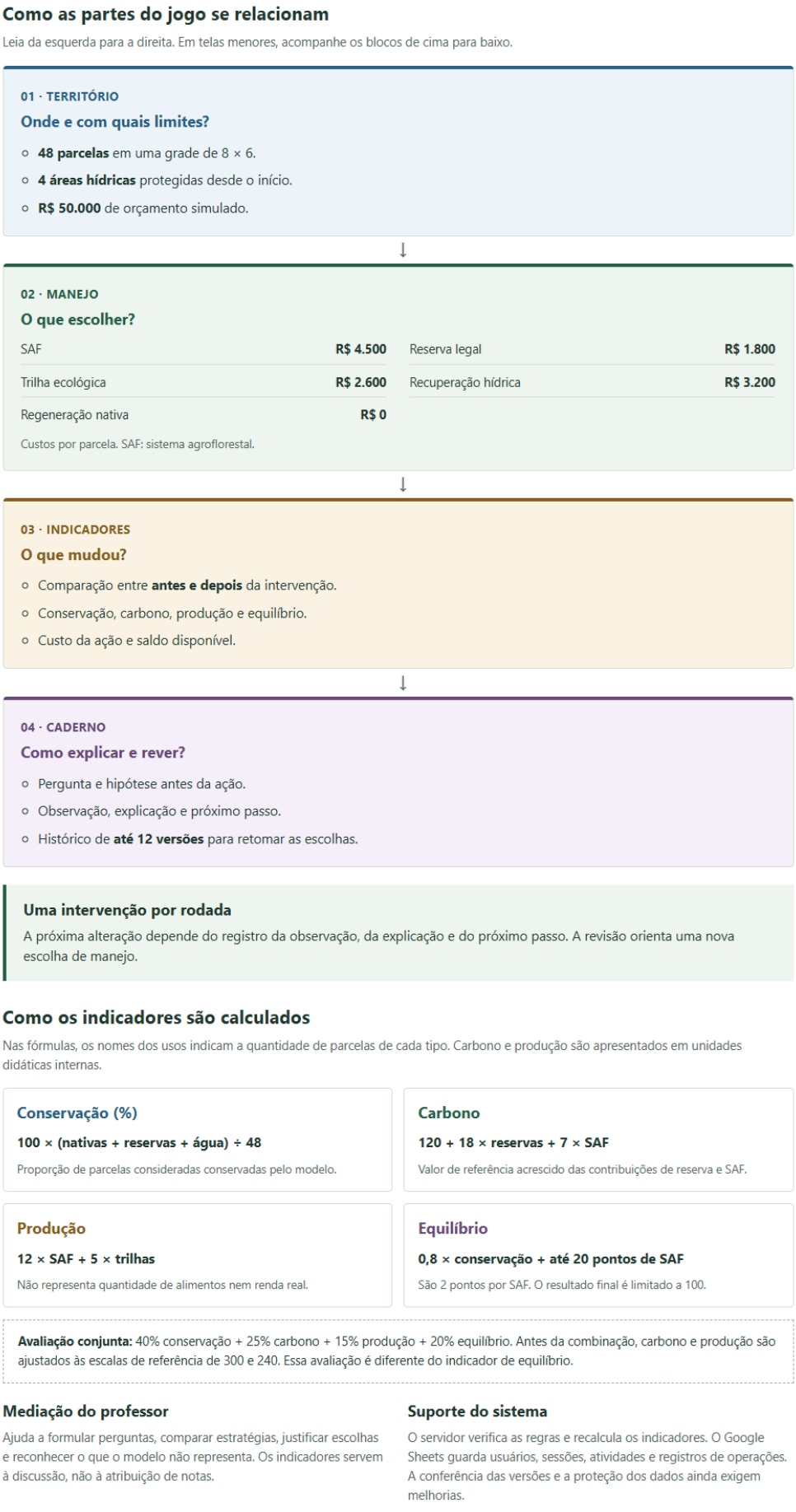
O mapa tem uma grade de 8 × 6, totalizando 48 parcelas. Cada uma permite localizar a intervenção, enquanto os indicadores mostram seus efeitos no território inteiro. Essa organização relaciona a decisão local às mudanças na paisagem.

Quatro parcelas de proteção hídrica não podem ser removidas. A regra permite discutir nascentes, planejamento e responsabilidade com a água diante de interesses concorrentes. Trata-se de uma simplificação didática, que não reproduz a configuração espacial nem as exigências legais de uma propriedade real.

O orçamento inicial de R$ 50.000, em valores simulados, exige definir prioridades. O mapa reúne o local da intervenção, os limites ambientais e os recursos disponíveis; os indicadores e o histórico permitem acompanhar as escolhas.

A Figura 1 sintetiza as relações entre território, manejo, indicadores e caderno de investigação, incluindo as regras de cálculo e a mediação docente.

Figura 1: Organização conceitual do projeto Reserva Araras



Fonte: elaborada pelo autor (2026).

Nessa organização, a comparação dos indicadores ajuda a explicar o resultado e a planejar uma nova intervenção. Durante o uso previsto do jogo, o servidor verifica se a ação respeita os limites territoriais e as etapas da investigação. Essa verificação sustenta a sequência da atividade, embora ainda existam limitações na conferência dos dados enviados pelo navegador, discutidas no Eixo 4.

O funcionamento principal utiliza cinco arquivos de interface, responsáveis pela página, pelos estilos, pela entrada do usuário, pela cena e pelas ações no navegador. Os serviços do servidor cuidam da identificação dos usuários, dos cálculos da simulação, dos recursos visuais e do registro das atividades. Os dados ficam no Google Sheets, em quatro abas: Players, Sessions, Saves e Audit, destinadas, respectivamente, aos usuários, às sessões, às atividades salvas e aos registros de operações. Essa estrutura facilita a identificação de onde cada informação é tratada.

Eixo 2 – Escolhas de manejo: produção, conservação, água e orçamento

As opções disponíveis são sistema agroflorestal (SAF), reserva legal, trilha ecológica, recuperação hídrica e regeneração nativa. A integração lavoura-pecuária-floresta existe em um serviço auxiliar, mas não pode ser selecionada no mapa.

Cada alternativa relaciona produção e conservação de uma maneira. O SAF combina usos produtivos e cobertura vegetal; a reserva amplia a proteção e o carbono; a trilha associa uso educativo e paisagem; e a recuperação hídrica enfatiza a água. Seus custos e efeitos permitem discutir a adequação das escolhas à pergunta do grupo.

Na simulação, o SAF aumenta produção e carbono, reduz o saldo e diminui ligeiramente a proporção considerada conservada. A reserva apresenta outra relação entre custo e carbono. A trilha acrescenta menos à produção e altera o equilíbrio calculado. A recuperação hídrica mantém a proporção conservada, mas consome recursos. A comparação evidencia diferentes prioridades.

A conservação corresponde à proporção de parcelas nativas, de reserva e de água. O carbono parte de 120 unidades, acrescidas de 18 por reserva e 7 por SAF. A produção soma 12 por SAF e 5 por trilha. O equilíbrio combina 80% do valor de conservação com uma contribuição do SAF limitada a 20 pontos.

Há também uma avaliação conjunta: após ajustar as escalas de carbono e produção, o sistema atribui pesos de 40% à conservação, 25% ao carbono, 15% à produção e 20% ao equilíbrio. Explicitar esses pesos permite discutir como as fórmulas influenciam a avaliação, sem substituir os indicadores separados nem a justificativa da decisão.

Os cálculos são simplificações didáticas, sem calibração para propriedades rurais. Não substituem inventários ecológicos, análises de solo ou avaliações econômicas. O indicador de produção não mede a quantidade ou a qualidade nutricional dos alimentos. Esses limites precisam acompanhar a discussão sobre diversidade, água e funções ecológicas.

Eixo 3 – O uso dos indicadores na investigação e na argumentação

A Figura 2 apresenta sete etapas da atividade, relacionando as ações do estudante às verificações e aos registros do jogo.

Figura 2: Etapas da investigação, da entrada no jogo à revisão

O estudante registra uma previsão, altera uma parcela e compara os resultados. A explicação e a proposta do próximo teste completam a rodada.

Etapa	O que o estudante faz	Como o jogo acompanha
1	**Entrar no jogo** Acessa sua conta com a orientação do professor.	Confere a identificação do usuário e cria ou retoma uma sessão de acesso, com validade de 12 horas.
2	**Conhecer o mapa** Observa as parcelas, as áreas hídricas, as ferramentas e o orçamento.	Na situação inicial, apresenta 48 parcelas, quatro áreas hídricas protegidas e R$ 50.000 de orçamento simulado.
3	**Formular a pergunta e a hipótese** Define o que pretende investigar e registra o resultado que espera observar.	Oferece campos para a pergunta e a hipótese. Exige o registro da previsão antes da intervenção.
4	**Realizar uma intervenção** Escolhe uma parcela e uma ação de manejo para testar a hipótese.	Verifica a sessão, a ferramenta, o orçamento, a proteção da água e as pendências da rodada. Registra a situação anterior para comparação.
5	**Observar os resultados** Compara os indicadores de antes e depois da ação e registra o que mudou.	Recalcula conservação, carbono, produção e equilíbrio, além de atualizar o saldo disponível.
6	**Explicar a escolha e o resultado** Relaciona a intervenção aos indicadores e verifica se o resultado corresponde à hipótese.	Mantém o espaço para a explicação. A interpretação cabe ao estudante, com a mediação do professor.
7	**Revisar e salvar a atividade** Propõe o próximo teste e salva a atividade para retomá-la depois.	Ao concluir a comparação, registra uma versão no histórico, limitado a 12 versões. O salvamento guarda a atividade vinculada ao usuário.

Quando a próxima intervenção é liberada?

Depois do preenchimento de **observação, explicação e próximo passo**. Salvar a atividade não substitui esses registros.

Retorno ao ciclo: rever a hipótese → escolher uma nova intervenção → comparar os resultados.

Mediação durante todo o percurso

O professor ajuda a formular a pergunta, solicita justificativas, compara as estratégias dos grupos e discute o que a simulação deixa de representar.

Uma mudança por vez

A regra facilita a comparação dentro do modelo. Ela não comprova que a mesma intervenção terá o mesmo efeito em um território real.

Condição para o uso escolar

O fluxo representa a atividade prevista no jogo. As verificações existentes ainda não garantem a integridade de todo o histórico; segurança, controle das versões e funcionamento na aplicação publicada precisam ser revistos antes do piloto.

Fonte: elaborada pelo autor (2026).

A atividade articula pergunta, hipótese, intervenção, evidência, explicação e revisão. Antes de modificar o mapa, o estudante registra sua previsão; depois, compara os indicadores. Uma nova intervenção depende do registro da observação, da explicação e do próximo teste.

O caderno aceita até 240 caracteres para a pergunta, 600 para a hipótese, 600 para a observação, 800 para a explicação e 400 para o próximo passo. O histórico mantém até 12 versões com parcela, intervenção, custo, indicadores e revisão, permitindo retomar decisões e argumentos.

Uma alteração por rodada facilita relacionar a escolha ao resultado e confrontá-lo com a hipótese. Essa relação se restringe às regras do simulador: em territórios reais, outros fatores interferem nos resultados.

O percurso inclui entrada, leitura do mapa, pergunta e hipótese, intervenção, observação, explicação e revisão com salvamento. Salvar não substitui os registros exigidos para a próxima intervenção. Os indicadores precisam ser interpretados conforme a pergunta inicial e os limites do modelo.

A Figura 3 ilustra um mapa do jogo e pode apoiar a leitura coletiva do território e a escolha das parcelas, complementando a organização conceitual e o percurso investigativo.

Figura 3: Ilustração de um mapa do jogo Reserva Araras

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A mediação docente acompanha todo o percurso. Cabe ao professor explicar o vocabulário, explorar resultados que pareçam contraditórios, reunir as estratégias dos grupos e discutir os aspectos que a simulação não contempla. Para estudantes em processo de alfabetização, a atividade pode incluir leitura compartilhada e registro das respostas ditadas ao professor. Assim, as dificuldades de escrita não precisam impedir a participação na investigação.

Eixo 4 – Transparência, segurança e limites da avaliação

Custos, fórmulas e condições para novas ações estão documentados, permitindo ao professor examinar os pressupostos do jogo. O histórico associado ao usuário ajuda a retomar o percurso dos grupos.

As sessões duram 12 horas, e os salvamentos aceitam até 45.000 caracteres. Há controle de gravações simultâneas e prevenção de entradas interpretadas como fórmulas na planilha. Entretanto, as buscas percorrem faixas inteiras de dados, sem limpeza periódica de sessões e registros, exigindo avaliar capacidade e manutenção antes de ampliar o uso.

O relatório identificou limitações de segurança: a configuração permite acesso anônimo com as permissões de quem publicou o jogo, há rotinas administrativas sem autenticação e a página pode ser incorporada a outros sites. A lista de chamadas da interface não controla o acesso ao servidor. Esses pontos exigem revisão antes da abertura ao público.

As senhas são armazenadas sem proteção criptográfica, apesar do nome passwordHash. Além disso, o servidor verifica o formato dos dados recebidos, mas não compara mapa, orçamento e histórico com uma versão anterior sob seu controle. Validar uma ação, portanto, não garante a integridade do percurso inteiro.

Os testes verificam regras, dados, identificação, hipótese, bloqueio de novas intervenções, evidências e autoria dos salvamentos. Parte executa funções isoladas; outra procura padrões nos arquivos. Não cobrem o percurso completo no navegador, a integração com Sheets e Drive ou acessos simultâneos. As declarações em evidence.json também precisam de registros, procedimentos e resultados verificáveis.

O projeto permanece em testes internos. Antes do piloto, é necessário proteger senhas e rotinas administrativas, definir dados coletados e prazos de guarda, controlar versões do mapa, corrigir a navegação por teclado e testar a aplicação publicada. Essas medidas devem anteceder a participação dos estudantes.

Os resultados sustentam a análise da coerência da proposta, mas não demonstram melhoria da aprendizagem nem precisão ambiental. Essa distinção orienta a pesquisa e o planejamento escolar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Reserva Araras organiza decisões agroambientais em um percurso investigativo: as parcelas situam as intervenções, a proteção hídrica estabelece limites, o orçamento exige prioridades e os indicadores permitem comparar resultados. O caderno reúne hipóteses, observações e explicações.

A análise mostrou coerência entre essa proposta pedagógica e as regras presentes no código. A realização de uma intervenção por rodada facilita a comparação entre a previsão e o resultado da simulação. O acesso às fórmulas também permite discutir como o próprio modelo influencia as respostas. São possibilidades de trabalho pedagógico que ainda precisam ser examinadas em atividades com a turma.

Com mediação docente e adaptação à turma, o jogo pode aproximar produção e

conservação de situações que exigem escolher, justificar e rever decisões. A futura avaliação deve observar explicações, participação nas discussões e revisão de hipóteses.

Antes disso, são necessárias correções de segurança, proteção dos dados e verificação da aplicação publicada. A avaliação da aprendizagem e a revisão das relações ambientais deverão orientar o desenvolvimento posterior, sem confundir funcionamento técnico com eficácia pedagógica.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1-3, p. 19-31, 1999. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00028-6.

BARAB, Sasha A.; DEDE, Chris. Games and immersive participatory simulations for science education: an emerging type of curricula. **Journal of Science Education and Technology**, New York, v. 16, n. 1, p. 1-3, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, DF: MEC, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The 10 elements of agroecology**: guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. Rome: FAO, 2018.

JOSE, Shibu. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009. DOI: 10.1007/s10457-009-9229-7.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

OSTROM, Elinor. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, Washington, DC, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009. DOI: 10.1126/science.1172133.

PEDASTE, Margus et al. Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, Amsterdam, v. 14, p. 47-61, 2015. DOI: 10.1016/j.edurev.2015.02.003.

WANG, Feng; HANNAFIN, Michael J. Design-based research and technology-enhanced learning environments. **Educational Technology Research and Development**, New York, v. 53, n. 4, p. 5-23, 2005.

ÁREA TEMÁTICA: AGROECOLOGIA

CAPÍTULO 10

HIMENÓPTEROS PARASITOIDES DE *Dalbulus maidis* COMO AGENTES DE CONTROLE BIOLÓGICO: CENÁRIO ATUAL, AVANÇOS TAXONÔMICOS E PERSPECTIVAS

Lucas de Souza Dias[1];
[1]Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS.
http://lattes.cnpq.br/3843522753361026
Adenomar Neves de Carvalho[2].
[2]Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS.
http://lattes.cnpq.br/8345890722955339

RESUMO: A cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), constitui importante praga do milho nas Américas, destacando-se pela transmissão de patógenos associados ao complexo de enfezamentos. Nesse contexto, himenópteros parasitoides apresentam potencial como agentes de controle biológico, explorando diferentes estágios de desenvolvimento da praga. Este estudo revisou a literatura sobre prospecção, diversidade, taxonomia, biologia e potencial de controle de parasitoides associados a *D. maidis*, com ênfase nos avanços recentes e nas perspectivas de utilização desses inimigos naturais. Foi realizada uma revisão qualitativa de publicações entre 1980 e 2026. A literatura evidencia parasitoides das famílias Mymaridae, Trichogrammatidae e Dryinidae, com destaque para *Anagrus* e *Paracentrobia*, associados a ovos, e *Gonatopus*, associado a ninfas e adultos. Entre os principais avanços destaca-se a aplicação da taxonomia integrativa na delimitação de espécies, como *Anagrus virlai*. Apesar do potencial desses inimigos naturais, persistem lacunas relacionadas à distribuição, taxonomia, criação massiva e avaliação em condições de campo. Conclui-se que a integração entre prospecção, taxonomia e conservação é fundamental para ampliar o potencial dos parasitoides no manejo sustentável de *D. maidis*.
PALAVRAS-CHAVE: Cigarrinha-do-milho. Controle biológico. Taxonomia integrativa. Inimigos naturais.

HYMENOPTERAN PARASITOIDS OF *Dalbulus maidis* AS BIOLOGICAL CONTROL AGENTS: CURRENT SCENARIO, TAXONOMIC ADVANCES AND PERSPECTIVES

ABSTRACT: The maize leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), is an important maize pest in the Americas, particularly due to its ability to transmit pathogens associated with the corn stunt disease complex. Hymenopteran parasitoids have potential as biological control agents, exploiting different developmental stages of the pest. This study reviewed the literature on the prospection, diversity, taxonomy, biology, and biological control potential of parasitoids associated with *D. maidis*, with

emphasis on recent advances and prospects for their use. A qualitative literature review was conducted covering publications from 1980 to 2026. The literature reports parasitoids from Mymaridae, Trichogrammatidae, and Dryinidae, particularly *Anagrus* and *Paracentrobia*, which parasitize eggs, and *Gonatopus*, which attacks nymphs and adults. Among the main advances is the application of integrative taxonomy for species delimitation, as demonstrated for *Anagrus virlai*. Despite their potential, gaps remain regarding distribution, taxonomy, mass rearing, and field evaluation. Integrating prospection, taxonomy, and conservation is essential to expand the potential of parasitoids for sustainable management of *D. maidis*.
KEYWORDS: Maize leafhopper. Biological control. Integrative taxonomy. Natural enemies.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) constitui importante componente da produção agrícola na região Neotropical, mas sua produtividade é afetada por patógenos e insetos-praga, entre os quais se destaca a cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae). Especializada em milho, a espécie causa danos pela sucção de seiva e oviposição, mas sua principal importância está na transmissão de patógenos associados ao complexo de enfezamentos: o espiroplasma do enfezamento-pálido (*Spiroplasma kunkelii* Whitcomb), o fitoplasma do enfezamento-vermelho (*'Candidatus Phytoplasma asteris'*) e o vírus da risca do milho (*Maize rayado fino virus*) (Nault, 1980).

A importância de *D. maidis* tem ampliado a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis, sobretudo diante das limitações do controle químico e da ocorrência de resistência a inseticidas (Moya-Raygoza, 2026). Entre as alternativas, o controle biológico por himenópteros parasitoides apresenta potencial, com representantes de Mymaridae, Trichogrammatidae e Dryinidae explorando diferentes estágios de desenvolvimento do hospedeiro.

A conservação desses inimigos naturais também pode favorecer o controle natural da praga. A disponibilidade de habitats, plantas de abrigo e recursos alimentares influencia a permanência, sobrevivência e reprodução de parasitoides associados a *D. maidis* (Moya-Raygoza, 2024; Oliveira et al., 2024; Hill et al., 2020). Assim, o conhecimento sobre sua diversidade, biologia e taxonomia é fundamental para sua incorporação ao manejo integrado.

A correta identificação das espécies constitui etapa essencial nesse processo. A elevada similaridade morfológica entre micro-himenópteros pode dificultar a identificação e gerar interpretações equivocadas sobre distribuição e especificidade. Nesse contexto, a taxonomia integrativa, baseada na combinação de caracteres morfológicos, moleculares e biológicos, tem contribuído para a delimitação de espécies, como demonstrado para *Anagrus virlai* e *A. incarnatus* (Triapitsyn et al., 2019).

OBJETIVO

Revisar a literatura sobre os himenópteros parasitoides associados a *Dalbulus maidis*, sintetizando informações sobre diversidade, distribuição, taxonomia, biologia,

potencial de controle biológico, conservação e principais desafios para sua utilização no manejo integrado.

METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão de literatura de caráter qualitativo e exploratório, com abordagem descritiva e natureza básica. Foi realizado um levantamento da literatura científica sobre himenópteros parasitoides associados a *Dalbulus maidis*, abrangendo publicações entre 1980 e 2026. As buscas foram realizadas nas bases Google Acadêmico, SciELO, PubMed e Web of Science, utilizando combinações dos descritores "*Dalbulus maidis*", "egg parasitoids", "biological control", "Hymenoptera", "Mymaridae", "Trichogrammatidae", "Dryinidae", "integrative taxonomy" e "*Anagrus virlai*". Foram priorizados trabalhos relacionados à ocorrência, taxonomia, biologia, parasitismo, conservação e potencial de uso desses inimigos naturais. A literatura foi organizada em quatro eixos: prospecção e diversidade; avanços taxonômicos; potencial de controle biológico; e desafios e perspectivas para o manejo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Prospecção e diversidade de parasitoides associados a *Dalbulus maidis*

A prospecção de parasitoides associados a *D. maidis* apresentou avanços importantes nas últimas décadas, principalmente em países da América Latina. Os levantamentos registraram parasitoides de ovos e de estágios imaturos pertencentes principalmente às famílias Mymaridae, Trichogrammatidae e Dryinidae, cuja composição pode variar conforme localização geográfica, altitude e características do cultivo (Moya-Raygoza et al., 2012; Moya-Raygoza, 2026).

No Brasil, Santana, Waquil e Oliveira (1997) registraram *Anagrus breviphragma* Soyka (Mymaridae) parasitando ovos de *D. maidis* em Sete Lagoas, Minas Gerais. Posteriormente, Oliveira e Lopes (2000) identificaram *A. breviphragma* e *Oligosita* sp. em Piracicaba, São Paulo.

Levantamentos posteriores ampliaram o número de táxons conhecidos. Entre os Mymaridae destacam-se espécies de *Anagrus*, incluindo *A. virlai*, *A. flaveolus* e *A. nigriventris*, além de *Polynema* sp. Entre os Trichogrammatidae, destacam-se *Paracentrobia subflava* e *Pseudoligosita longifrangiata*. Os Dryinidae, por sua vez, incluem espécies de *Gonatopus* associadas principalmente a ninfas e adultos (Virla et al., 2013; Olmi & Virla, 2014).

Essa diversidade evidencia possibilidades complementares de controle. Mymaridae e Trichogrammatidae exploram predominantemente ovos, impedindo o desenvolvimento de novos indivíduos, enquanto Dryinidae atuam sobre ninfas e adultos. Essa complementaridade é particularmente relevante porque ninfas e adultos constituem os principais estágios envolvidos na aquisição e transmissão dos patógenos associados aos enfezamentos.

Avanços taxonômicos e identificação de espécies

A identificação dos parasitoides associados a *D. maidis* apresenta desafios decorrentes da semelhança morfológica entre espécies próximas e de erros históricos de identificação. Essas limitações podem afetar estimativas de distribuição, abundância e especificidade hospedeira.

Um dos principais exemplos é *Anagrus virlai*. Espécimes do Novo Mundo associados a *D. maidis* foram historicamente identificados como *A. incarnatus* ou *A. breviphragma*. A integração de caracteres morfológicos, moleculares e biológicos demonstrou que esses espécimes pertenciam a uma espécie distinta, posteriormente reconhecida como *A. virlai* (Triapitsyn et al., 2019).

Esse caso demonstra que a taxonomia possui implicações diretas para o controle biológico. Espécies próximas podem apresentar diferenças de distribuição, especificidade hospedeira, comportamento e adaptação ambiental. Portanto, erros de identificação podem comprometer estudos ecológicos e programas de criação ou liberação.

Outro exemplo envolve *Paracentrobia subflava* e *P. tapajosae*. A integração de dados taxonômicos, morfométricos e moleculares demonstrou a necessidade de reavaliar a identidade desses táxons, contribuindo para o reconhecimento de *P. tapajosae* como sinônimo-júnior de *P. subflava* (Torres-Moreno et al., 2022). No Brasil, ferramentas de taxonomia integrativa também vêm sendo empregadas na identificação de parasitoides associados a *D. maidis* (Aquino et al., 2024).

Assim, a combinação de morfologia, dados moleculares e características biológicas deve continuar sendo priorizada, principalmente para espécies consideradas candidatas ao controle biológico.

Potencial dos parasitoides de *D. maidis* no controle biológico

Entre os parasitoides associados a *D. maidis*, *A. virlai* e *P. subflava* apresentam atualmente as evidências mais consistentes de potencial para controle biológico, incluindo elevada capacidade de localização e parasitismo de ovos em condições de campo (Moya-Raygoza, 2026).

A coexistência dessas espécies também apresenta interesse aplicado. Em estudo realizado durante dois anos em condições de campo, Moya-Raygoza e Muñoz-Urias (2025) observaram elevada eficiência de localização de ovos, com maior atividade nas bordas das lavouras. Embora ambas apresentassem desempenho semelhante após cinco dias, *P. subflava* foi capaz de localizar e parasitar ovos em 24 horas, enquanto *A. virlai* apresentou menor eficiência nesse intervalo. Diferenças temporais na utilização do hospedeiro podem, portanto, favorecer a coexistência das espécies.

Esses resultados indicam potencial para exploração complementar dos ovos disponíveis no cultivo. Entretanto, elevada proporção de folhas parasitadas não significa necessariamente redução equivalente da densidade de *D. maidis* ou da incidência dos enfezamentos. Ainda são necessários estudos que relacionem diretamente a atividade dos

parasitoides à supressão populacional da praga e à transmissão dos patógenos.

A biologia dos parasitoides também influencia seu potencial. *A. virlai* apresenta características reprodutivas favoráveis e sua sobrevivência e reprodução podem ser influenciadas pela disponibilidade de alimento (Hill et al., 2020). Para *P. subflava*, fontes açucaradas também afetam características da biologia adulta e da progênie, embora os efeitos não necessariamente resultem em aumento direto do parasitismo (Torres-Moreno & Moya-Raygoza, 2024, 2025).

Os Dryinidae representam uma possibilidade complementar por atuarem sobre ninfas e adultos. *Gonatopus bartletti*, além de parasitar e predar *D. maidis*, foi associado à redução da presença de *Spiroplasma kunkelii* no vetor (Moya-Raygoza et al., 2006). Esse resultado amplia o interesse sobre a espécie, mas deve ser interpretado com cautela: a associação observada não demonstra, isoladamente, que o parasitoide interfira diretamente na interação entre o vetor e o patógeno. São necessários estudos que esclareçam os mecanismos envolvidos e confirmem a relevância desse efeito para a epidemiologia dos enfezamentos.

Dessa forma, os diferentes grupos de parasitoides apresentam mecanismos e indicadores de eficiência distintos. Enquanto *A. virlai* e *P. subflava* atuam principalmente reduzindo o recrutamento de novos indivíduos da praga por meio do parasitismo de ovos, *G. bartletti* apresenta atuação sobre estágios capazes de transmitir patógenos e uma possível associação adicional com a presença de *S. kunkelii*.

A atuação dos parasitoides associados a *D. maidis* pode ser compreendida de forma complementar conforme o estágio do hospedeiro explorado. Mymaridae e Trichogrammatidae atuam predominantemente sobre ovos, impedindo a emergência de novos indivíduos, enquanto Dryinidae parasitam principalmente ninfas e adultos. Essa diferença é relevante para o manejo da praga, pois permite explorar diferentes etapas do ciclo de vida de *D. maidis* e, no caso dos Dryinidae, atuar diretamente sobre estágios envolvidos na aquisição e transmissão dos patógenos dos enfezamentos. Assim, a combinação de agentes com diferentes estratégias de exploração do hospedeiro constitui uma perspectiva mais promissora do que a dependência de uma única espécie de parasitoide.

Tabela 1. Principais grupos de himenópteros parasitoides associados a *Dalbulus maidis* e suas características como agentes de controle biológico.

Família	Principais táxons associados a Dalbulus maidis	Estágio do hospedeiro	Característica de interesse
Mymaridae	*Anagrus virlai*, *A. flaveolus*, *A. nigriventris*, e *Polynema sp.*	Ovos	Impedem a emergência de ninfas; *A. virlai* apresenta evidências consistentes de parasitismo em laboratório e campo.
Trichogrammatidae	*Paracentrobia subflava*, *Pseudoligosita longifrangiata*, *Pseudoligosita sp.* e *Aphelinoidea sp.*	Ovos	Complementam a atuação dos Mymaridae; *P. subflava* apresenta elevada capacidade de localização e parasitismo.

Dryinidae	*Gonatopus bartletti*, *G. flavipes*, *G. caraibicus*, *G. contortus*, *G. moyaraygozai* e *Anteon pilicorne*	Ninfas e adultos	Atuam sobre estágios que participam diretamente da aquisição e transmissão dos patógenos; *G. bartletti* apresenta possível efeito inibidor sobre *Spiroplasma kunkelii* (Moya-Raygoza 2006).

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Guglielmino e Olmi (1997), Rios-Reyes e Moya-Raygoza (2004), Virla et al. (2013), Olmi e Virla (2014), Torres-Moreno et al. (2022) e Moya-Raygoza (2026).

Conservação, desafios e perspectivas para o manejo sustentável

A eficiência dos parasitoides em condições naturais depende não apenas da capacidade de parasitismo, mas também da disponibilidade de hospedeiros, recursos alimentares e habitats adequados. A continuidade desses recursos pode favorecer a permanência dos inimigos naturais nos agroecossistemas.

Gramíneas presentes nas bordas das lavouras e áreas de milho irrigado podem fornecer recursos durante períodos de menor disponibilidade de milho, contribuindo para a manutenção das populações de parasitoides (Moya-Raygoza, 2024). Plantas de abrigo também podem atuar como reservatórios de parasitoides de ovos (Oliveira et al., 2024). Além disso, a maior eficiência de localização dos ovos observada nas bordas das lavouras reforça a importância dessas áreas na dinâmica espacial dos parasitoides (Moya-Raygoza & Muñoz-Urias, 2025).

Nesse contexto, a integração entre controle biológico conservativo e aumentativo representa uma perspectiva promissora. O manejo das bordas pode favorecer a manutenção dos parasitoides, enquanto liberações de agentes produzidos para esse fim podem ampliar sua presença no interior dos cultivos (Moya-Raygoza, 2026).

Apesar dos avanços, persistem limitações relacionadas à criação massiva de *A. virlai* e *P. subflava*, à manutenção das características biológicas desejáveis e à transferência dos resultados laboratoriais para condições de campo. A taxonomia também permanece um desafio, especialmente diante da existência de espécies morfologicamente semelhantes e identificações históricas equivocadas.

Outro ponto importante é a compatibilidade entre parasitoides e inseticidas. A integração do controle biológico ao manejo da praga requer estudos sobre efeitos letais e subletais dos produtos, incluindo impactos sobre longevidade, fecundidade, comportamento de busca e parasitismo.

Finalmente, ainda são escassas as evidências que relacionam diretamente o controle biológico de *D. maidis* à redução da transmissão dos patógenos dos enfezamentos. O parasitismo de ovos pode, em princípio, reduzir o número de indivíduos que atingem os estágios capazes de adquirir e transmitir esses patógenos, mas essa hipótese deve ser testada experimentalmente em condições de campo antes que efeitos sobre a incidência das doenças sejam atribuídos aos parasitoides.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura demonstra que *Dalbulus maidis* está associado a uma comunidade

diversificada de himenópteros parasitoides, principalmente Mymaridae, Trichogrammatidae e Dryinidae, que exploram diferentes estágios do hospedeiro e apresentam possibilidades complementares de atuação.

Entre os parasitoides de ovos, *Anagrus virlai* e *Paracentrobia subflava* apresentam as evidências mais consistentes de potencial para controle biológico, incluindo elevada capacidade de localização e parasitismo em condições de campo. Diferenças temporais na utilização dos ovos podem favorecer a coexistência dessas espécies e ampliar a exploração do hospedeiro.

Os avanços em taxonomia integrativa também modificaram significativamente o conhecimento sobre esses agentes. O reconhecimento de *A. virlai* como espécie distinta de *A. incarnatus* demonstra a importância da integração de dados morfológicos, moleculares e biológicos para a correta identificação e seleção de agentes de biocontrole.

A conservação de habitats, recursos alimentares e áreas de abrigo, associada ao manejo das bordas das lavouras, apresenta potencial para favorecer a permanência dos parasitoides. A integração dessas estratégias com liberações de agentes de controle representa uma perspectiva promissora para o manejo de *D. maidis*.

Entretanto, permanecem lacunas relacionadas à criação massiva, compatibilidade com inseticidas, distribuição geográfica, interações entre parasitoides e efeitos sobre a transmissão dos patógenos. Estudos futuros devem priorizar avaliações de campo que relacionem o parasitismo à redução das populações de *D. maidis* e, principalmente, à incidência dos enfezamentos.

Dessa forma, o desenvolvimento de programas sustentáveis de manejo dependerá da integração entre taxonomia, ecologia, conservação de inimigos naturais e controle biológico aumentativo, inseridos em estratégias de manejo integrado da praga.

REFERÊNCIAS

AQUINO, M. F. S. de; BRITO, M. L. de; OLIVEIRA, S. A. de; MACÊDO, G. R. dos S.; JESUS, E. A. G. de; OLIVEIRA, C. M. de; MENDONÇA, R. S. de; QUERINO, R. B. Taxonomia integrativa na identificação de parasitoides de ovos de *Dalbulus maidis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ENTOMOLOGIA, 13., 2024, Uberlândia. *Sustentabilidade e Biodiversidade de Insetos: anais*. Uberlândia: Sociedade Entomológica do Brasil, 2024.

GUGLIELMINO, A.; OLMI, M. A host-parasite catalog of world Dryinidae (Hymenoptera: Chrysidoidea). *Contributions on Entomology, International*, v. 2, n. 2, p. 165–298, 1997.

HILL, J. G.; AGUIRRE, M. B.; LUFT ALBARRACIN, E.; VIRLA, E. G. Influence of adult diet on fitness and reproductive traits of the egg parasitoid *Anagrus virlai* (Hymenoptera: Mymaridae), a potential biocontrol agent against the corn leafhopper. *Journal of Applied Entomology*, v. 144, n. 8, p. 703–711, 2020.

LUFT ALBARRACIN, E.; TRIAPITSYN, S. V.; VIRLA, E. G. Egg parasitoid complex of the corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong) (Hemiptera: Cicadellidae), in Argentina. *Neotropical*

Entomology, v. 46, n. 6, p. 666–677, 2017. DOI: 10.1007/s13744-017-0535-x.
LUFT ALBARRACIN, E.; VIRLA, E. G.; TRIAPITSYN, S. V. A new host record for the egg parasitoid *Anagrus nigriventris* (Hymenoptera: Mymaridae) of the corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). *Florida Entomologist*, v. 89, n. 2, p. 284–285, 2006. DOI: 10.1653/0015-4040(2006)89[284:ANHRFT]2.0.CO;2.
MENESES, A. R.; QUERINO, R. B.; OLMI, M.; OLIVEIRA, C. M. de; SILVA, P. R. R.; BEZERRA, V. S. Descoberta de *Gonatopus flavipes* (Olmi) como um novo parasitóide de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott). In: SIMPÓSIO DE CONTROLE BIOLÓGICO, 13., 2013, Bonito, MS. *Anais*... Brasília, DF: Embrapa, 2013.
MOYA-RAYGOZA, G.; LUFT ALBARRACIN, E.; VIRLA, E. G. Diversity of egg parasitoids attacking *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) populations at low and high elevation sites in Mexico and Argentina. *Florida Entomologist*, v. 95, n. 1, p. 105–112, 2012. DOI: 10.1653/024.095.0117.
MOYA-RAYGOZA, G. Temporal resource continuity for egg parasitoids of *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) during winter on irrigated maize crops and edge grasses. *Journal of Insect Science*, v. 24, n. 4, 2024. DOI: 10.1093/jisesa/ieae079.
MOYA-RAYGOZA, G.; PALOMERA-AVALOS, V.; CHACÓN-TORRES, N. M.; BECERRA-CHIRON, I. M. The parasitoid *Gonatopus bartletti* reduces presence of plant-pathogenic *Spiroplasma kunkelii* within the leafhopper vector *Dalbulus maidis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 119, n. 3, p. 189–196, 2006. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2006.00409.x.
MOYA-RAYGOZA, G.; MUÑOZ-URIAS, A. Co-occurrence between 2 egg parasitoids of *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) under field conditions: host-finding efficiency and observed parasitism. *Environmental Entomology*, v. 54, n. 6, p. 1155–1162, 2025. DOI: 10.1093/ee/nvaf109.
MOYA-RAYGOZA, G. Biological control and management of *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) with egg parasitoids: a review. *Journal of Insect Science*, v. 26, n. 2, e ieag036, 2026. DOI: 10.1093/jisesa/ieag036.
NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. *Phytopathology*, v. 70, n. 7, p. 659–662, 1980.
OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S. Parasitóides de ovos da cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott), em Piracicaba. *Revista de Agricultura*, v. 75, n. 2, p. 263–270, 2000.
OLIVEIRA, S. A. de; JESUS, E. A. G. de; MACÊDO, G. R. dos S.; BRITO, M. L. de; AQUINO, M. F. S. de; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, C. M. de; QUERINO, R. B. Plantas abrigo como reservatório de parasitoides de ovos de *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ENTOMOLOGIA, 13., 2024, Uberlândia. *Sustentabilidade e Biodiversidade de Insetos: anais*. Uberlândia: Sociedade Entomológica do Brasil, 2024.
OLMI, M.; VIRLA, E. G. Dryinidae of the Neotropical region (Hymenoptera: Chrysidoidea). *Zootaxa*, v. 3792, n. 2, p. 1–534, 2014. DOI: 10.11646/zootaxa.3792.2.1.

RIOS-REYES, A. V.; MOYA-RAYGOZA, G. Ciclo biológico, parasitismo y depredación de *Gonatopus bartletti* Olmi, 1984 (Hymenoptera: Dryinidae), un enemigo natural de la chicharrita *Dalbulus maidis* (DeLong y Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae). *Folia Entomológica Mexicana*, v. 43, n. 3, p. 249–255, 2004.

SANTANA, D. L. Q.; WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de *Anagrus breviphragma*, Soyka (Hymenoptera: Mymaridae) parasitando ovos de *Dalbulus maidis* no Brasil. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 26, n. 3, p. 567–569, 1997.

TORRES-MORENO, R.; MOYA-RAYGOZA, G.; GALLOU, A. Implications of combined taxonomic, morphometric, and molecular characteristics for the species status of *Paracentrobia tapajosae* and *Paracentrobia subflava* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), egg parasitoids of different leafhopper hosts in the Americas. *Zootaxa*, v. 5150, n. 3, p. 381–396, 2022. DOI: 10.11646/zootaxa.5150.3.4.

TORRES-MORENO, R.; MOYA-RAYGOZA, G. Effects of food resources on the longevity, survival, and fecundity of *Paracentrobia subflava* adults, an egg parasitoid of the corn leafhopper pest *Dalbulus maidis*. *Annals of Applied Biology*, v. 185, n. 2, p. 231–240, 2024. DOI: 10.1111/aab.12906.

TORRES-MORENO, R.; MOYA-RAYGOZA, G. Influence of adult diet on body size of offspring and parasitization capacity of the wasp *Paracentrobia subflava*, an egg parasitoid of *Dalbulus maidis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 173, p. 992–999, 2025. DOI: 10.1111/eea.13599.

TRIAPITSYN, S. V.; VIRLA, E. G. A new *Anagrus* (Hymenoptera: Mymaridae) from Argentina, an egg parasitoid of *Delphacodes sitarea* (Hemiptera: Archaeorrhyncha: Delphacidae). *Florida Entomologist*, v. 87, n. 3, p. 383–385, 2004.

TRIAPITSYN, S. V.; RUGMAN-JONES, P. F.; TRETIAKOV, P. S.; LUFT ALBARRACIN, E.; MOYA-RAYGOZA, G.; QUERINO, R. B. Molecular, morphological, and biological differentiation between *Anagrus virlai* sp. n., an egg parasitoid of the corn leafhopper *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) in the New World, and *Anagrus incarnatus* from the Palaearctic region (Hymenoptera: Mymaridae). *Neotropical Entomology*, v. 48, n. 1, p. 87–97, 2019. DOI: 10.1007/s13744-018-0606-7.

VIRLA, E. G.; MOYA-RAYGOZA, G.; LUFT ALBARRACIN, E. Egg parasitoids of the corn leafhopper, *Dalbulus maidis*, in the southernmost area of its distribution range. *Journal of Insect Science*, v. 13, n. 10, p. 1–10, 2013.

VIRLA, E. G.; OLMI, M. Dryinidae (Hymenoptera: Chrysidoidea) parasitoids of the corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), in Argentina, with description of the male of *Gonatopus moyaraygozai* Olmi. *Interciencia*, v. 32, n. 12, p. 847–849, 2007.

CAPÍTULO 11

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÃO SOCIAL: PROPOSTA DE PROJETO AGROECOLÓGICO PARA UMA UNIDADE PRISIONAL DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Angelika Franklin de Lima[1].
[1]Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/686407581772301

RESUMO: Este capítulo apresenta uma proposta de implementação de Sistema Agroflorestal (SAF) como instrumento pedagógico, socioambiental e formativo em uma unidade prisional da região Oeste do Estado de São Paulo. A discussão parte da compreensão de que a educação ambiental, articulada à agroecologia e à formação para o trabalho, pode contribuir para a ressocialização, para a cidadania e para a reconstrução de vínculos entre sujeitos privados de liberdade, território e natureza. Trata-se de estudo de abordagem qualitativa, natureza aplicada e caráter exploratório-descritivo, fundamentado em revisão bibliográfica, análise documental e leitura geoespacial de uma unidade piloto. Os resultados indicam que os SAFs podem funcionar como espaços educativos vivos, integrando cultivo, recuperação ambiental, manejo sustentável, aprendizagem prática e formação humana. A proposta também evidencia potencial de replicabilidade em outras unidades prisionais, desde que acompanhada de planejamento institucional, formação técnica e ações pedagógicas contínuas.
PALAVRAS-CHAVE: Ressocialização. Agroecologia. Sustentabilidade.

ENVIRONMENTAL EDUCATION IN A PRISON UNIT: AGROFORESTRY SYSTEM AS A PEDAGOGICAL PROPOSAL

ABSTRACT: This chapter presents a proposal for implementing an Agroforestry System (AFS) as a pedagogical, socio-environmental and training instrument in a prison unit located in the western region of the state of São Paulo, Brazil. The discussion is based on the understanding that environmental education, when articulated with agroecology and professional training, can contribute to resocialization, citizenship and the reconstruction of bonds between people deprived of liberty, territory and nature. This is a qualitative, applied, exploratory and descriptive study, based on bibliographic review, documentary analysis and geospatial reading of a pilot unit. The results indicate that agroforestry systems can function as living educational spaces, integrating cultivation, environmental recovery, sustainable management, practical learning and human development. The proposal also shows potential for replication in other prison units, provided that it is accompanied by institutional planning, technical training and continuous pedagogical actions.
KEYWORDS: Resocialization. Agroecology. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A crise socioambiental contemporânea impõe à educação o desafio de formar sujeitos capazes de compreender as relações entre sociedade, natureza, trabalho e cidadania. No contexto prisional, esse desafio assume maior complexidade, pois envolve pessoas privadas de liberdade que, embora afastadas temporariamente do convívio social amplo, permanecem titulares de direitos e devem ter acesso a processos formativos que ampliem suas possibilidades de reintegração social.

A educação ambiental, quando desenvolvida de forma crítica e prática, pode ultrapassar a transmissão de conceitos ecológicos e se converter em estratégia de reconstrução de valores, responsabilidades e vínculos sociais. Ao articular conhecimento, cuidado com a vida, manejo do solo e produção sustentável, ela contribui para ressignificar espaços historicamente marcados pela punição, pela exclusão e pela invisibilidade social.

No sistema prisional, as práticas educativas podem atuar como instrumentos de transformação social, especialmente quando associadas ao trabalho, à formação profissional e à sustentabilidade. Nesse sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) apresentam-se como alternativa relevante, pois integram espécies agrícolas e florestais em arranjos produtivos capazes de recuperar áreas degradadas, diversificar a produção, favorecer a segurança alimentar e proporcionar aprendizagem prática.

A proposta discutida neste capítulo deriva de uma pesquisa de mestrado profissional em Geografia, voltada à elaboração de um projeto agroecológico para uma unidade prisional da região Oeste do Estado de São Paulo. A investigação parte da experiência da autora no contexto educacional prisional e da identificação de lacunas relacionadas à ausência de iniciativas sistemáticas de educação ambiental, sustentabilidade e agroecologia nas unidades prisionais analisadas.

Ao considerar a unidade prisional como espaço também educativo, a proposta busca integrar princípios da agroecologia, da educação ambiental, da sustentabilidade e da ressocialização. A implantação de um SAF, nesse cenário, não se limita à criação de uma área produtiva: trata-se de organizar um ambiente pedagógico capaz de promover aprendizagem, cooperação, responsabilidade coletiva e reflexão sobre a relação entre ser humano, território e meio ambiente.

Dessa forma, o presente capítulo apresenta uma síntese adaptada da proposta de implantação de Sistema Agroflorestal em unidade prisional, destacando seus fundamentos, procedimentos metodológicos, possibilidades pedagógicas e contribuições socioambientais. A discussão está inserida na área temática da Agroecologia, por compreender os SAFs como instrumentos de transformação produtiva, ambiental e social.

OBJETIVO

O objetivo deste capítulo é apresentar uma proposta de Sistema Agroflorestal (SAF) como estratégia de educação ambiental, formação cidadã e ressocialização em uma unidade prisional da região Oeste do Estado de São Paulo.

Busca-se, de modo específico, discutir a relação entre agroecologia, sustentabilidade e educação prisional; indicar as potencialidades pedagógicas dos SAFs; analisar a importância do planejamento territorial e geoespacial para a implantação da proposta; e evidenciar de que forma práticas agroecológicas podem contribuir para a formação humana e para a reintegração social de pessoas privadas de liberdade.

METODOLOGIA

O estudo possui abordagem qualitativa, natureza aplicada e caráter exploratório-descritivo. A opção por essa abordagem justifica-se pela necessidade de compreender o contexto prisional, suas limitações institucionais e suas possibilidades pedagógicas, articulando análise teórica, observação territorial e proposição prática.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa foi estruturada a partir de revisão bibliográfica, análise documental e estudo de caso aplicado a uma unidade prisional piloto localizada em Presidente Prudente-SP, na região Oeste do Estado de São Paulo. A revisão bibliográfica contemplou temas como educação ambiental, agroecologia, Sistemas Agroflorestais, sustentabilidade, ressocialização, educação de jovens e adultos e formação cidadã no sistema prisional.

A análise documental considerou legislações e documentos orientadores relacionados à educação, ao sistema prisional, à educação ambiental e à organização curricular, com destaque para a Política Nacional de Educação Ambiental, a Lei de Execução Penal, a Base Nacional Comum Curricular e o Currículo Paulista. Esses documentos foram mobilizados para relacionar a proposta agroecológica às competências e habilidades que podem ser trabalhadas em atividades pedagógicas práticas.

No desenvolvimento da proposta técnica, foram analisadas imagens geoespaciais, dados cartográficos e características ambientais da unidade piloto. Essa etapa permitiu observar áreas com potencial para implantação do SAF, bem como reconhecer limitações físicas, condições de uso do solo, possibilidades de zoneamento e necessidade de adequações estruturais.

A construção metodológica considerou ainda a elaboração de uma proposta formativa, a indicação de espécies agrícolas e florestais e a organização de material didático voltado à orientação ambiental. O desenho da proposta buscou atender a critérios de replicabilidade, de modo que o modelo possa ser adaptado a outras unidades prisionais, respeitando as especificidades de cada território, os recursos disponíveis e as normas de segurança institucional.

Por se tratar de uma proposta aplicada ao contexto prisional, a metodologia foi orientada por princípios de cuidado ético, respeito à dignidade humana e adequação às condições institucionais. Assim, a implantação de atividades educativas agroecológicas deve ser acompanhada por planejamento intersetorial, participação da equipe escolar e penitenciária, autorização dos órgãos responsáveis e formação prévia dos envolvidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta de implantação de um Sistema Agroflorestal em unidade prisional revela-se relevante por integrar dimensões ambientais, pedagógicas, sociais e produtivas. Em termos ambientais, os SAFs contribuem para a recuperação do solo, para a diversificação de espécies, para a melhoria da qualidade ecológica do espaço e para o uso mais consciente dos recursos naturais. Em termos pedagógicos, funcionam como ambientes vivos de aprendizagem, nos quais o estudante pode observar ciclos naturais, relações ecológicas, manejo de espécies e processos de produção sustentável.

No contexto prisional, essa integração assume significado especial. O espaço de privação de liberdade, muitas vezes associado à disciplina, ao controle e à punição, pode incorporar experiências formativas capazes de estimular autonomia, responsabilidade, cooperação e pertencimento. O cultivo agroecológico permite que o aprendizado seja construído por meio da prática, aproximando conteúdos escolares de situações concretas e oferecendo aos internos a possibilidade de desenvolver competências técnicas e socioemocionais.

A análise da unidade piloto permitiu identificar a importância do planejamento territorial para a implantação de um SAF. A escolha das áreas de cultivo deve considerar insolação, disponibilidade hídrica, circulação interna, segurança, características do solo, proximidade de espaços educativos e possibilidades de manejo contínuo. O uso de imagens de satélite e dados geoespaciais favorece a leitura integrada do território, permitindo a definição de zonas de uso, áreas de experimentação, espaços de produção e locais destinados à formação ambiental.

O zoneamento proposto na dissertação evidencia que a implantação do SAF deve ser pensada de maneira sistêmica, articulando área agrícola, área florestal, espaços de circulação, áreas de apoio, uso pedagógico e conservação ambiental. Essa organização contribui para que o projeto não seja apenas uma horta isolada, mas uma proposta agroecológica estruturada, com objetivos educacionais, produtivos e socioambientais definidos.

Outro resultado relevante refere-se à possibilidade de articulação entre a proposta agroflorestal e os documentos curriculares. A educação ambiental pode ser trabalhada de forma interdisciplinar, envolvendo conteúdos de Geografia, Ciências da Natureza, Biologia, História, Sociologia, Matemática e formação para o trabalho. Ao observar o solo, medir áreas, planejar canteiros, estudar espécies, compreender o clima e discutir sustentabilidade, os participantes podem desenvolver aprendizagens vinculadas à realidade local.

No âmbito da ressocialização, a proposta demonstra potencial para fortalecer valores éticos e sociais. O ato de plantar, cuidar, acompanhar o crescimento das espécies e compreender os ciclos da natureza pode favorecer a reconstrução de vínculos subjetivos e coletivos. A agrofloresta torna-se, assim, uma metáfora prática de cuidado, permanência e transformação: ao cultivar a terra, o participante também é convidado a refletir sobre o cuidado consigo, com o outro e com a comunidade.

A formação profissional também se destaca como resultado possível. O domínio de práticas agroecológicas, manejo sustentável, compostagem, produção de mudas, organização de canteiros e manutenção de sistemas produtivos pode ampliar perspectivas de atuação após o cumprimento da pena. Embora a proposta não garanta, por si só, inserção imediata no mercado de trabalho, ela oferece conhecimentos que podem ser mobilizados em agricultura familiar, projetos comunitários, jardinagem, produção sustentável, viveiros e iniciativas de geração de renda.

A indicação de espécies deve considerar critérios ecológicos, produtivos e pedagógicos. Espécies agrícolas de ciclo curto podem favorecer resultados mais rápidos e estimular o envolvimento dos participantes, enquanto espécies frutíferas e florestais contribuem para a formação de longo prazo do sistema. A combinação entre diferentes estratos vegetais possibilita a criação de um ambiente diversificado, mais próximo dos princípios agroecológicos e menos dependente de insumos externos.

A proposta também ressalta a importância da gestão interinstitucional. A implantação de um SAF em unidade prisional exige diálogo entre escola vinculada ao sistema prisional, administração penitenciária, universidades, órgãos públicos, técnicos agrícolas e demais parceiros. Sem essa articulação, a continuidade do projeto pode ser prejudicada por falta de manutenção, ausência de insumos, mudanças de equipe ou limitações institucionais.

Do ponto de vista da Segurança e da organização prisional, o projeto precisa respeitar normas internas, controle de ferramentas, rotinas de circulação e autorização para uso de materiais. Entretanto, essas exigências não inviabilizam a proposta; ao contrário, indicam a necessidade de planejamento cuidadoso, protocolos claros e acompanhamento permanente. A educação ambiental no cárcere deve ser pensada como ação pedagógica responsável e institucionalmente pactuada.

Entre os produtos associados à pesquisa, destaca-se a elaboração de cartilha ilustrativa e didática, voltada à orientação sobre implantação de Sistemas Agroflorestais em ambientes prisionais. Esse material amplia o potencial de replicabilidade da proposta, pois organiza informações técnicas e pedagógicas em linguagem acessível, favorecendo a utilização por educadores, gestores e equipes envolvidas em projetos socioambientais.

Assim, os resultados indicam que a proposta agroecológica tem potencial para transformar áreas ociosas em espaços educativos, produtivos e ambientalmente qualificados. Mais do que gerar alimentos, o SAF pode gerar aprendizagem, convivência, responsabilidade, senso de pertencimento e consciência socioambiental. A iniciativa evidencia que sustentabilidade e dignidade humana não devem ser tratadas como dimensões separadas, especialmente em instituições marcadas por vulnerabilidades sociais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de Sistema Agroflorestal aplicada ao contexto prisional demonstra que a educação ambiental pode assumir papel estratégico na formação cidadã e na ressocialização de pessoas privadas de liberdade. Ao articular agroecologia, sustentabilidade, trabalho e

aprendizagem, o SAF apresenta-se como alternativa pedagógica capaz de ressignificar espaços institucionais e promover experiências formativas concretas.

O capítulo evidenciou que a implantação de práticas agroecológicas em unidade prisional não deve ser compreendida apenas como ação produtiva, mas como processo educativo e social. A agrofloresta constitui um laboratório vivo, no qual o cuidado com o solo, com as plantas e com os ciclos naturais favorece o desenvolvimento de valores como cooperação, responsabilidade, paciência, respeito e pertencimento coletivo.

Conclui-se que a proposta possui potencial de replicabilidade, desde que sejam observadas as condições físicas, pedagógicas, institucionais e de segurança de cada unidade prisional. A continuidade do projeto depende de planejamento, acompanhamento técnico, formação de educadores e articulação entre diferentes instituições públicas e acadêmicas.

Por fim, reafirma-se que a sustentabilidade ambiental e a dignidade humana são dimensões indissociáveis de políticas educacionais voltadas à reintegração social. Em ambientes marcados pela privação de liberdade, plantar, cuidar e aprender podem tornar-se práticas de reconstrução de trajetórias, produção de conhecimento e fortalecimento de uma cultura socioambiental transformadora.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo; Rio de Janeiro: Expressão Popular; AS-PTA, 2012.

AQUINO, Adriana Maria de; ASSIS, Renato Linhares de. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

BRASIL. Lei nº 7.210, de 11 de julho de 1984. Institui a Lei de Execução Penal. Brasília, DF: Presidência da República, 1984.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 abr. 1999.

CAPORAL, Francisco Roberto; COSTABEBER, José Antônio. Agroecologia: alguns conceitos e princípios. Brasília, DF: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004.

LIMA, Angelika Franklin de. Educação ambiental e transformação social: proposta de projeto agroecológico para uma unidade prisional da região Oeste do Estado de São Paulo. 2026. 118 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2026.

NAIR, P. K. R. An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.

PENEIREIRO, Fabiana Mongeli. Educação agroflorestal: construindo junto o conhecimento. In: SIMPÓSIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE SERGIPE, 2., 2004, Aracaju. Anais [...]. Aracaju: Embrapa, 2004.

SACHS, Ignacy. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond,

2002.
SANTOS, J. G.; CESAR, C. Educação ambiental no sistema prisional: possibilidades de ações para a sustentabilidade. Revista de Educação Continuada em Ciências Agrárias e Ambientais, v. 2, n. 2, p. 47-60, 2015.
SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. Currículo Paulista: Ensino Médio. São Paulo: SEE-SP, 2022.
THIOLLENT, Michel. Pesquisa-ação nas organizações. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ÁREA TEMÁTICA: AGROINDUSTRIA

CAPÍTULO 12

EFEITO DA TEMPERATURA NA COLORAÇÃO DE FILMES DE PVA INCORPORADOS COM EXTRATO DE BETERRABA

Mário Roberto Júnior[1];
[1]Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, Bahia.
http://lattes.cnpq.br/2400544738457236
Cristiane Patrícia de Oliveira[2].
[2]Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, Bahia.
http://lattes.cnpq.br/9900219484514383

RESUMO: Este estudo teve como objetivo elaborar filmes de poli(álcool vinílico) (PVA) incorporados com extrato aquoso de beterraba e avaliar as alterações de coloração após exposição a diferentes temperaturas. Os filmes foram produzidos pelo método *casting* e submetidos a 100, 120, 140 e 160 °C durante 10 minutos, utilizando filmes não aquecidos como padrão. A coloração foi avaliada pelos parâmetros L*, a* e b* do sistema CIELAB e pela diferença total de cor (ΔE*ab). Os resultados mostraram efeito significativo da temperatura sobre os parâmetros colorimétricos (p < 0,05). Com o aumento da temperatura, observou-se redução do parâmetro a* e aumento de b*, indicando diminuição da tonalidade vermelha e aumento da tonalidade amarela. Os maiores valores de ΔE*ab foram encontrados a 140 e 160 °C, evidenciando alterações mais intensas nessas temperaturas. Os resultados indicam que os filmes de PVA com extrato de beterraba apresentam potencial como indicadores colorimétricos de exposição térmica.
PALAVRAS-CHAVE: Betalaínas. Indicador colorimétrico. Embalagem inteligente.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE COLORATION OF PVA FILMS INCORPORATED WITH BEETROOT EXTRACT

ABSTRACT: This study aimed to develop poly(vinyl alcohol) (PVA) films incorporated with aqueous beetroot extract and evaluate color changes after exposure to different temperatures. The films were produced using the casting method and exposed to 100, 120, 140, and 160 °C for 10 minutes, with unheated films used as the standard. Color was assessed using the L*, a*, and b* parameters of the CIELAB system and the total color difference (ΔEab). The results showed a significant effect of temperature on the colorimetric parameters ($p < 0.05$). As temperature increased, a decrease in the a* parameter and an increase in b* were observed, indicating a reduction in red tones and an increase in yellow tones. The highest ΔE*ab values were found at 140 and 160 °C, showing more intense changes at these temperatures. The results suggest that PVA films with beetroot extract have potential as colorimetric indicators of thermal exposure.
KEYWORDS: Betalains. Colorimetric indicator. Smart packaging.

INTRODUÇÃO

A utilização de materiais plásticos de origem petroquímica em embalagens de alimentos contribui para a geração de resíduos de difícil degradação no meio ambiente. Apesar das vantagens relacionadas ao baixo custo, resistência e facilidade de processamento, o descarte inadequado desses materiais pode causar impactos ambientais devido ao seu acúmulo no solo e nos ambientes aquáticos. Por esse motivo, materiais alternativos vêm sendo estudados para a produção de embalagens de alimentos, buscando reduzir os impactos causados pelo uso de polímeros convencionais (Teixeira et al., 2025).

O poli(álcool vinílico) (PVA) apresenta boa capacidade de formação de filmes, transparência e resistência mecânica, além de permitir a incorporação de diferentes compostos. Por essas características, esse polímero vem sendo estudado na produção de filmes para embalagens de alimentos (Fan et al., 2025).

As embalagens inteligentes podem fornecer informações sobre alterações ocorridas durante o armazenamento ou processamento dos alimentos. Uma das alternativas é a utilização de pigmentos naturais, que podem apresentar mudanças de coloração em resposta a fatores como pH, temperatura e composição química. Essas alterações permitem o uso desses pigmentos como indicadores colorimétricos, embora sua estabilidade possa ser afetada pelas condições de processamento e armazenamento (Wang et al., 2025). Entre os pigmentos naturais utilizados para essa finalidade estão as betalaínas, compostos nitrogenados e solúveis em água encontrados principalmente em plantas da ordem Caryophyllales. Esses pigmentos são divididos em dois grupos principais: as betacianinas, responsáveis pelas colorações vermelho-púrpura, e as betaxantinas, associadas às tonalidades amarelo-alaranjadas. A beterraba (*Beta vulgaris* L.) representa uma importante fonte desses pigmentos.

Segundo (Surendhiran et al. 2023), as betalaínas são pigmentos solúveis em água, que contêm nitrogênio e são originados a partir do aminoácido tirosina. Esses pigmentos são divididos em dois tipos estruturais: betacianinas e betaxantinas, que apresentam colorações vermelho-púrpura e amarelo-alaranjado, respectivamente. Sua estabilidade é influenciada por fatores como temperatura, pH, oxigênio e luz. Embora variações no pH possam alterar suas cargas, as betalaínas permanecem relativamente estáveis em uma faixa de pH de 3 a 7.

A sensibilidade das betalaínas também tem favorecido sua incorporação em materiais com resposta colorimétrica. A temperatura é um dos principais fatores que afetam a estabilidade desses pigmentos durante o processamento e armazenamento, com os efeitos das altas temperaturas sendo intensificados pela exposição à luz (Lombardelli et al., 2021). Tshamisane et al. (2025) desenvolveram filmes contendo extrato de beterraba rico em betalaínas e observaram alterações visíveis de coloração em resposta às condições avaliadas, demonstrando o potencial desses pigmentos na produção de materiais para embalagens inteligentes com função indicadora.

A incorporação desses pigmentos em uma matriz de PVA pode permitir a obtenção

de filmes capazes de apresentar resposta visual quando submetidos ao aquecimento.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo elaborar filmes de PVA incorporados com extrato aquoso de beterraba e avaliar as alterações de coloração após a exposição a diferentes temperaturas, visando verificar o potencial do material como indicador colorimétrico de exposição térmica.

METODOLOGIA

As beterrabas (*Beta vulgaris L.*) utilizadas foram adquiridas em feira livre no município de Itapetinga, Bahia, Brasil. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais (LAPRON), e no de Identidade e Fraude de Alimentos, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus de Itapetinga, Bahia, Brasil.

Extração de betalaínas em meio aquoso

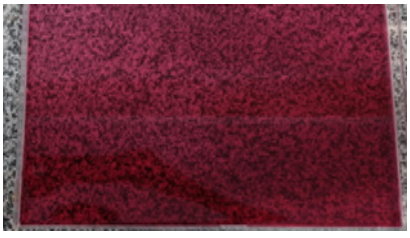
A extração das betalaínas foi realizada em meio aquoso utilizando 100 g de beterraba previamente descascada e cortada. A amostra foi transferida para um liquidificador, adicionando-se 200 mL de água destilada, e homogeneizada durante 2 minutos. Em seguida, o extrato obtido foi filtrado em peneira para remoção do material sólido, sendo a fração líquida utilizada posteriormente na elaboração dos filmes.

Elaboração do filme com adição do extrato de beterraba

Os filmes foram elaborados pelo método *casting*, com adaptações da metodologia descrita por Duan et al. (2021). A solução filmogênica foi preparada a partir de uma dispersão aquosa de PVA a 10% (m/v), utilizando-se 195 mL da dispersão de PVA, 65 mL do extrato aquoso de beterraba, correspondendo a aproximadamente 25% (v/v) da mistura, e 2 mL de glicerina como plastificante. Após a adição dos componentes, a solução filmogênica foi homogeneizada sob agitação magnética a 25 rpm durante 30 minutos.

Em seguida, a solução foi distribuída em placa de vidro retangular, com bordas, de dimensões 35 × 30 cm. Posteriormente, a placa foi mantida em estufa com circulação forçada de ar a 45 ± 0,5 °C durante 8 horas para a secagem do filme.

Figura 1. Filme de PVA incorporado com extrato de beterraba após a secagem.



Fonte: Autor (2026)

Análise de cor do filme após aquecimento em estufa

A análise da coloração foi realizada por meio de imagens digitais, com adaptações de Franco et al. (2021). Foram utilizados três filmes produzidos de forma independente, sendo retiradas três amostras de cada filme, com dimensões de 6 × 2 cm. As amostras foram submetidas às temperaturas de 100, 120, 140 e 160 °C durante 10 minutos em estufa Sterilifez. Os filmes não submetidos ao aquecimento foram utilizados como padrão.

Após o tratamento térmico, as imagens foram obtidas com smartphone Xiaomi Redmi Note 13 Pro 4G, utilizando fundo branco e iluminação com nove lâmpadas LED (Osram T8, 18 W, 6500 K). A distância entre a câmera e as amostras foi de aproximadamente 10 cm. Os parâmetros L*, a* e b* do sistema CIELAB foram obtidos diretamente das imagens utilizando o aplicativo Color Detector, versão 3.0, para Android. Os valores obtidos foram utilizados para avaliar as alterações de coloração dos filmes em função da temperatura de exposição.

Análise estatística

Os resultados de L*, a* e b* foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando as temperaturas como tratamentos e os três filmes produzidos independentemente como blocos. Para cada filme e temperatura foi utilizada a média das três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). A diferença total de cor (ΔE*ab) foi calculada em relação ao filme padrão, utilizando os parâmetros do sistema CIELAB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba apresentaram alteração significativa na coloração após a exposição ao aquecimento (Tabela 1). Os parâmetros L*, a* e b* foram influenciados pela temperatura ($p < 0,05$), sendo as principais alterações observadas nos parâmetros a* e b*. O valor de a* diminuiu de 28,66 no filme padrão para 8,60 a 160 °C, enquanto b* aumentou de 28,52 para 45,79. Estes resultados indicam redução da tonalidade vermelha e aumento das tonalidades amarela e amarronzada com o aumento da temperatura.

Para o parâmetro a*, o filme padrão não diferiu significativamente do tratamento a 100 °C. Entretanto, a partir de 120 °C foi observada redução significativa, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos a 140 e 160 °C. Comportamento contrário foi observado para b*, que apresentou aumento a partir de 120 °C. Essa alteração pode estar relacionada à sensibilidade térmica das betalaínas presentes no extrato de beterraba. Hu et al. (2023) observaram baixa estabilidade da betanina quando submetida ao aquecimento, com degradação e perda da coloração vermelha. Leal-Alcazar et al. (2025) também destacam a temperatura como um dos principais fatores que afetam a estabilidade das betalaínas.

A diferença total de cor (ΔE*ab) confirmou as alterações observadas nos parâmetros

colorimétricos. Os filmes submetidos a 100 e 120 °C apresentaram valores de 11,41 e 15,91, respectivamente, não diferindo entre si. Entretanto, os tratamentos a 140 e 160 °C apresentaram valores significativamente maiores, de 28,41 e 30,03, mostrando que as alterações de coloração foram mais intensas nas temperaturas mais elevadas.

Tabela 1: Parâmetros colorimétricos dos filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba submetidos a diferentes temperaturas durante 10 minutos.

Temperatura	L*	a*	b*	ΔE*ab
Padrão	31,12 ± 0,53^{b}	28,66 ± 0,90^{a}	28,52 ± 1,91^{c}	–
100 °C	41,44 ± 0,72^{a}	26,21 ± 3,76^{a}	26,52 ± 3,72^{c}	11,41 ± 0,86^{b}
120 °C	38,26 ± 3,65^{ab}	18,58 ± 0,62^{b}	37,92 ± 3,72^{b}	15,91 ± 4,41^{b}
140 °C	44,51 ± 2,53^{a}	9,80 ± 2,05^{c}	44,63 ± 1,70^{ab}	28,41 ± 2,49^{a}
160 °C	44,88 ± 6,03^{a}	8,60 ± 2,78^{c}	45,79 ± 3,58^{a}	30,03 ± 7,19^{a}

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Abedi-Firoozjah et al. (2023) destacam o potencial das betalaínas para o desenvolvimento de embalagens inteligentes devido às suas respostas colorimétricas. Ahmad et al. (2025) também observaram a aplicação desses pigmentos em filmes destinados ao monitoramento visual de alterações em alimentos. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os filmes produzidos apresentam potencial como indicadores colorimétricos de exposição térmica, podendo ser utilizado como embalagem inteligente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes de PVA incorporados com extrato de beterraba apresentaram alterações significativas de coloração com o aumento da temperatura. As principais mudanças foram a redução da tonalidade vermelha e o aumento das tonalidades amarela e amarronzada, sendo mais intensas a 140 e 160 °C. Os resultados indicam que esses filmes apresentam potencial para embalagens inteligente como indicadores colorimétricos de exposição térmica.

REFERÊNCIAS

ABEDI-FIROOZJAH, Reza et al. **Betalains as promising natural colorants in smart/ active food packaging.** Food Chemistry, v. 424, 136408, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136408.

AHMAD, Hafiz Nabeel et al. **Multifunctional layer-by-layer smart film with betalains and selenium nanoparticles for intelligent meat freshness monitoring and preservation**. Food Chemistry, v. 471, 142737, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142737.

DUAN, Nuo et al. **Preparation and characterization of k-carrageenan/konjac glucomannan/TiO2 nanocomposite film with efficient anti-fungal activity and its application in strawberry preservation**. Food Chemistry, v. 364, 130441, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130441.

FAN, Yiting et al. **Recent advances in polyvinyl alcohol-based biodegradable packaging: preparation, modification, and applications in food packaging.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 24, n. 6, e70334, 2025. DOI: 10.1111/1541-4337.70334.

FRANCO, Mathews de Oliveira Krambeck et al. **Microanalysis based on paper device functionalized with cuprizone to determine Cu2+ in sugar cane spirits using a smartphone**. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 253, 119580, 2021. DOI: 10.1016/j.saa.2021.119580.

HU, Ting et al. **Complex plant protein prepared from rice protein and pea protein: improve the thermal stability of betanin**. Food Research International, v. 164, 112341, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112341.

LEAL-ALCAZAR, Mariana C. et al. **Extraction, stabilization, and health application of betalains: an update**. Food Chemistry, v. 481, 144011, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144011.

LOMBARDELLI, Claudio et al. **Betalain extracts from beetroot as food colorants: effect of temperature and UV-light on storability**. Plant Foods for Human Nutrition, v. 76, n. 3, p. 347–353, 2021. DOI: 10.1007/s11130-021-00915-6.

SURENDHIRAN, Duraiarasan et al. **Smart packaging film prepared from subcritical water-modified oat starch and betalain of beetroot extract reinforced with cellulose nanofibrils**. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 36, 101349, 2023. DOI: 10.1016/j.scp.2023.101349.

TEIXEIRA, Samiris Côcco et al. **Sustainable and biodegradable polymer packaging: perspectives, challenges, and opportunities**. Food Chemistry, v. 470, 142652, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142652.

TSHAMISANE, Mkhari; ADEYEMI, Jerry O.; FAWOLE, Olaniyi A**. Fabrication of active and intelligent bio-based edible films using encapsulated beetroot powders for smart packaging**. Materials Advances, v. 6, n. 3, p. 1051–1066, 2025. DOI: 10.1039/D4MA00954A.

WANG, Yun et al. **Stability enhancement methods for natural pigments in intelligent packaging: a review**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 65, n. 29, p. 6233–6248, 2025. DOI: 10.1080/10408398.2024.2437570.

CAPÍTULO 13

AGROINDUSTRIALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL: UMA ANÁLISE DO DINAMISMO DOS ARRANJOS PRODUTIVOS DO MARANHÃO DE 2006 A 2022

Jamile Silva Santos[1];
[1]Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA.
https://lattes.cnpq.br/4438395530650731
Jadson Pessoa da Silva[2].
[2]Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, MA.
http://lattes.cnpq.br/9737093066557533

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo analisar o processo de agroindustrialização no estado do Maranhão e suas implicações no dinamismo dos Arranjos Produtivos Locais (APLs), no período de 2006 a 2022, com foco na capacidade desses arranjos em promover o desenvolvimento regional. Parte-se da hipótese de que os APLs agroindustriais no Maranhão apresentam desenvolvimento limitado em virtude da fragilidade da estrutura produtiva e da baixa integração das cadeias produtivas locais. A metodologia combina análise estatística descritiva com análise de conteúdo qualitativa, utilizando dados secundários do IBGE, literatura especializada, relatórios institucionais e documentos governamentais. Os resultados indicam que, embora os APLs tenham sido incorporados a políticas públicas federais e estaduais, sua efetividade no Maranhão é comprometida por descontinuidades institucionais, baixa articulação interinstitucional e reduzido valor agregado na produção agroindustrial, mesmo no setor alimentício, de maior participação local. Apesar da dispersão territorial das agroindústrias, observam-se polos de concentração em municípios com melhor infraestrutura logística. Conclui-se que o fortalecimento dos APLs depende de ações coordenadas entre Estado, iniciativa privada e sociedade civil, voltadas à qualificação da mão de obra, ao incentivo à inovação e à valorização da produção familiar.
PALAVRAS-CHAVE: Cadeias agroindustriais. Política industrial. Competitividade.

AGROINDUSTRIALIZATION AND REGIONAL DEVELOPMENT: AN ANALYSIS OF THE DYNAMISM OF PRODUCTIVE ARRANGEMENTS IN MARANHÃO, 2006-2022

ABSTRACT: This study aimed to analyze the agroindustrialization process in the state of Maranhão and its implications for the dynamism of Local Productive Arrangements (APLs) from 2006 to 2022, focusing on their capacity to promote regional development. The hypothesis is that agroindustrial APLs in Maranhão show limited development due to the fragility of their production structure and the low integration of local production chains. The methodology combines descriptive statistical analysis with qualitative content analysis, using secondary data from IBGE, specialized literature, institutional reports, and government documents. The results indicate that, although APLs have been incorporated

into federal and state public policies, their effectiveness in Maranhão is compromised by institutional discontinuities, weak interinstitutional coordination, and reduced value added in agroindustrial production, even in the food sector, which has greater local participation. Despite the territorial dispersion of agribusinesses, clusters are observed in municipalities with better logistics infrastructure. The study concludes that strengthening APLs depends on coordinated actions between the state, the private sector, and civil society, aimed at workforce training, innovation incentives, and the promotion of family farming.
KEYWORDS: Agro-industrial chains. Industrial policy. Competitiveness.

INTRODUÇÃO

O debate sobre estratégias de desenvolvimento regional ocupa lugar central na Economia, sobretudo diante da persistência de desigualdades territoriais e das limitações dos modelos tradicionais de industrialização. Nesse cenário, os Arranjos Produtivos Locais (APLs) emergem como conceito e instrumento de política industrial voltado à compreensão das aglomerações produtivas de pequenas empresas e dos sistemas de produção territorializados (BNDES, 2004). A agroindustrialização, por sua vez, apresenta-se como estratégia de agregação de valor à produção primária, ao criar demanda para produtos locais e estimular os agricultores a produzir mais e com melhor qualidade.

Do ponto de vista regional, os APLs visavam desenvolver regiões historicamente "atrasadas", mas dotadas de vantagens locacionais competitivas — como a redução de custos com matéria-prima, transporte e mão de obra (Mytelka; Farinelli, 2000). O APL não se resume, portanto, a uma simples aglomeração de empresas: trata-se de uma forma de interiorizar e espalhar a atividade econômica pelo território.

A agroindustrialização vem contribuindo de forma positiva, diversificada e descentralizada para o meio rural, sobretudo por diminuir a dependência de mercadorias exógenas e desacelerar a transferência monetária para outras regiões (Pelegrini; Gazolla, 2009). Contudo, as agroindústrias do Maranhão enfrentam dificuldades tanto internas quanto nas unidades de processamento quanto exógenas, que comprometem a emancipação econômica dos produtores.

A pesquisa se justifica pela necessidade de compreender como as cadeias agroindustriais têm sido desenvolvidas para fomentar o desenvolvimento regional sustentável no Maranhão, estado com vastos recursos naturais e potencial econômico, mas também com desigualdades sociais explícitas (Fahel; Teles; Caminhas, 2016). O estudo fundamenta-se na concepção de desenvolvimento regional de Celso Furtado (1987), para quem o desenvolvimento não se limita à melhoria das condições econômicas, mas envolve também a transformação das estruturas sociais e espaciais, e dialoga com a teoria dos polos industriais de François Perroux (1966a), que associa o desenvolvimento econômico à concentração de atividades em determinadas áreas, os chamados "polos de crescimento".

OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo geral analisar o processo de agroindustrialização implementado no Maranhão e seus efeitos sobre os Arranjos Produtivos Locais nos municípios do estado, entre os anos de 2006 e 2022. Como objetivos específicos, busca-se: a) apresentar o debate teórico em torno dos Arranjos Produtivos Locais e da agroindustrialização; b) investigar a dinâmica de produção industrial dos APLs maranhenses no período; e c) analisar a contribuição do processo de agroindustrialização para os municípios do estado. Parte-se da hipótese de que os APLs agroindustriais no Maranhão apresentam desenvolvimento limitado em razão da fragilidade da estrutura produtiva, da baixa integração das cadeias locais e de problemas institucionais e de gestão.

METODOLOGIA

A pesquisa combina levantamento bibliográfico e documental — livros, monografias, teses, artigos e relatórios institucionais sobre agroindustrialização e Arranjos Produtivos — com análise estatística descritiva de dados secundários do IBGE. Para a classificação das agroindústrias, adotou-se a tipologia de Austin (1992), que distingue quatro níveis de transformação da matéria-prima conforme a complexidade tecnológica exigida, combinada à Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0), resultando em 100 subclasses distribuídas em 10 divisões industriais. O período de análise (2006-2022) acompanha a adoção oficial da CNAE 2.0 pelo Sistema Estatístico Nacional. Complementarmente, utilizou-se a taxonomia de competitividade de clusters/APLs de Mytelka e Farinelli (2000), que classifica os arranjos entre informais, organizados e inovadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para Furtado (1987), a teoria do desenvolvimento deve ser interdisciplinar, considerando os “parâmetros não econômicos” — relações sociais, institucionais e políticas — que condicionam as estruturas produtivas; o desenvolvimento não equivale, portanto, a mero crescimento econômico. Já a ideia de polarização, introduzida por Perroux, parte da constatação de que o crescimento não ocorre uniformemente no espaço, mas se manifesta em polos de intensidade variável a partir de uma “unidade motriz” — empresa ou conjunto de atividades inovadoras (Perroux, 1964; 1966a). Estudos posteriores (Nunes; Évora, 1998) associam as diferenças regionais de desenvolvimento a fatores históricos, tecnológicos, de capital humano e de colonização: regiões como o Norte e o Nordeste, historicamente exploradas como fornecedoras de recursos naturais, tendem a apresentar estruturas fundiárias concentradas e infraestrutura deficiente, sem retorno proporcional em desenvolvimento. A esse respeito, Cepeda (1993) destaca que a superação do subdesenvolvimento depende tanto de fatores exógenos — o comportamento das regiões centrais — quanto endógenos, ligados à mobilização das populações locais para reivindicar direitos e oportunidades. O capital humano, aliás, tende a exercer efeito mais expressivo que o capital criativo sobre o desenvolvimento regional, sobretudo em microrregiões com

maior escolaridade e PIB per capita (Stein; Adamczyk; Fochezatto, 2020) — condição pouco presente na maior parte do interior maranhense.

No plano conceitual da agroindústria, Maluf (2004) entende como estratégia de agregação de valor à matéria-prima agrícola por meio de seu processamento, de forma individual ou associativa, constituindo instrumento de empoderamento rural. Lauschner (1975 apud Parré, 2000) diferencia um sentido amplo — toda unidade que transforma produto agropecuário para uso intermediário ou final — de um sentido restrito, que exige aquisição direta de ao menos 25% dos insumos junto ao produtor rural, na forma não manufaturada. No Maranhão, predominam as agroindústrias familiares e de pequena escala, o que reforça a relevância do sentido restrito para pensar políticas de incentivo local, e do sentido amplo para mapear a cadeia produtiva como um todo. Prezotto (2002) complementa que as agroindústrias de pequeno porte se organizam a partir da economia de pequena escala, da descentralização espacial e de uma noção ampla de qualidade, entendendo a agroindustrialização como o beneficiamento e a transformação de matérias-primas agropecuárias em novos produtos. Dessa dinâmica emergem as cadeias agroindustriais (CAI) ou sistemas agroindustriais (SAG), compreendidos como a integração vertical entre produção, processamento e comercialização, coordenando os capitais agrário, industrial, bancário e financeiro (Guimarães, 1979; Fajardo, 2008; Zylbersztajn, 1995; Batalha; Lago Da Silva, 2007).

A trajetória industrial do Maranhão está intimamente ligada à sua história agroexportadora. No final do século XVIII, o estado foi o principal produtor e exportador de algodão do Brasil, chegando a responder por até 82% das exportações estaduais e 24% das exportações nacionais de algodão (Carvalho, 1982). Contudo, a partir do século XX, a indústria têxtil maranhense entrou em declínio por obsolescência do parque fabril, mesmo com o apoio do BNDES a partir dos anos 1960. Tribuzi (1981) atribui esse insucesso à incapacidade dos investimentos públicos em infraestrutura de induzir um processo autônomo de industrialização e de alterar a estrutura econômico-social do meio rural — onde se concentrava a maior parte da mão de obra maranhense —, o que desestimulou a inovação tecnológica local. A partir da década de 1970, o estado passou a integrar grandes projetos industriais nacionais, como o Programa Grande Carajás, o Distrito Industrial de São Luís e a planta da Alumar, voltados majoritariamente à exportação de commodities minerais e agrícolas (Holanda, 2008; 2013), consolidando uma economia de alta vulnerabilidade externa e baixo adensamento das cadeias internas.

Nesse contexto, os Arranjos Produtivos Locais foram incorporados à política estadual em 2003, por meio do Programa de Promoção e Desenvolvimento de Arranjos Produtivos Locais do Maranhão (PAPL), com a meta de elevar o IDH estadual de 0,636 para 0,70 até 2006 (GEPLAN, 2003). Os critérios de seleção priorizavam arranjos em áreas de menor IDH, menor renda per capita e maior potencial de geração de emprego. A lista inicial de 19 arranjos oscilou ao longo do tempo — chegando a 21 em 2009 e reduzindo-se a 10 em 2010 —, refletindo também as descontinuidades institucionais decorrentes de instabilidades

políticas estaduais. Atualmente, a coordenação das políticas de produção e abastecimento está a cargo do Sistema Estadual de Produção e Abastecimento (SEPAB), criado em 2015, envolvendo cinco secretarias estaduais.

Os dados do Cadastro Central de Empresas (IBGE-CEMPRE) confirmam o predomínio da indústria de alimentos na estrutura agroindustrial maranhense: das 2.077 unidades locais identificadas entre as dez divisões da CNAE selecionadas, 1.215 (66,36%) pertencem à Fabricação de Produtos Alimentícios, seguida pela Fabricação de Móveis (292 unidades) e pela Confecção de Artigos do Vestuário e Acessórios (230 unidades). Entre 2006 e 2022, o setor alimentício foi o que mais cresceu, com 732 novas unidades, enquanto a confecção de vestuário perdeu 236 firmas no mesmo período — retração associada ao declínio da indústria têxtil, que historicamente fornecia insumos ao setor (FIEMA, 2022). A maior parte das agroindústrias alimentícias concentra-se nos níveis II e III de transformação de matéria-prima — moagem, corte, mistura, cozimento e conserva —, evidenciando baixo grau de industrialização mais complexa; das 19 atividades identificadas no segmento, apenas quatro atingem o nível IV, o de maior sofisticação tecnológica.

Quanto ao valor da produção agroindustrial rural, os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017) revelam maior concentração na região sudoeste do estado, distante da capital — com destaque para o município de Grajaú (R$ 31,2 milhões), seguido de Bom Jesus das Selvas e Bom Jardim. O carvão vegetal lidera a produção física (248,5 mil toneladas), seguido pela farinha de mandioca (62,7 mil toneladas) e pelo arroz em grão (14,7 mil toneladas) — produtos associados à agricultura familiar e a baixo nível de processamento.

Dos 14 polos e distritos industriais existentes no estado, apenas dois (Bacabal e Balsas) têm vocação voltada à agroindústria - conforme tabela 1, e municípios como São Luís e Imperatriz concentram o maior número de unidades agroindustriais, favorecidos pela centralidade logística de acesso a mercados. O caso da Suzano Papel e Celulose, instalada em Imperatriz, exemplifica esse padrão: a escolha do município se deveu à proximidade do Rio Tocantins, ao acesso à Estrada de Ferro Carajás e ao Porto do Itaqui, além de incentivos fiscais federais, estaduais e municipais (Pöyry, 2010).

Tabela 1 - Distritos Industriais e Parques Empresariais no Maranhão

Distrito/Parque Empresarial	Localização	Vocação	Status
Distrito Industrial de Aldeias Altas	Rod MA-349	Atividades Diversas	Implantado
Distrito Industrial de Bacabal	Margem Esquerda da BR-316-KM 364	Agroindústria	Implantado
Distrito Industrial de Bacabeira	-	Atividades Diversas	Em projeto
Distrito Industrial de Balsas	BR-230, KM 06	Agroindústria	Implantado
Distrito Industrial de Grajaú	Margem direita da BR- 226 - Sentido Grajaú Barra do Corda	Polo Gesseiro	Operando
Distrito Industrial de Imperatriz	BR-010	Atividades Diversas	Operando
Distrito Industrial de Porto Franco	Tv. Maranhao Sobrinho, Porto Franco - MA	Agronegócios	Implantado
Distrito Industrial de Rosário	Margem Esquerda da Rodovia MA-402, KM-07	Atividades Diversas	Paralisado
Distrito Industrial de São José de Ribamar	MA-201- São José dos Índios	Atividades Diversas	Em projeto
Distrito Industrial de São Luís	Pedrinhas/Itaqui Bacanga	Atividades Diversas	Operando
Distrito Industrial Estreito	Fazenda Unidas/Itaneiras	Atividades Diversas	Em projeto
Parque Empresarial de Pinheiro	Margem direita da Rod Estadual MA – 006	Atividades Diversas	Em implantação
Parque Empresarial de Timon	BR-316, KM-06 Timon - MA	Atividades Diversas	Implantado
Parque Empresarial Imperatriz	BR-010	Atividades Diversas	Implantado

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da SEINC – 2025

Um mapeamento recente das cadeias produtivas do estado (FIEMA, 2025) identificou desafios estruturais persistentes: alta dependência de insumos importados, escassez de mão de obra qualificada, baixa produtividade, dificuldades de acesso a maquinário e a licenças, além de elevados custos de produção e forte dependência de investimentos públicos. Tais entraves atingem de forma mais aguda as pequenas e médias agroindústrias, que possuem menor capacidade de relocalização e de diversificação geográfica, dependendo fortemente das relações estabelecidas em seu território de origem (Mytelka; Farinelli, 2000). Observam-se, assim, clusters de baixa competitividade, mão de obra deficiente e firmas frágeis quanto à confiança de mercado (Simonetti et al., 2013). Esse quadro reforça a hipótese de que o desenvolvimento dos APLs agroindustriais maranhenses permanece limitado, malgrado seu potencial produtivo — sobretudo no segmento alimentício —, sendo a agregação de valor ainda incipiente diante do potencial de diferenciação (descomoditização) que caracteriza

mercados alimentares alternativos e territorializados (Sonnino; Marsden, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou compreender como o processo de agroindustrialização influenciou o dinamismo dos Arranjos Produtivos Locais no Maranhão entre 2006 e 2022. Os resultados confirmam, em grande medida, a hipótese inicial: os APLs agroindustriais do estado apresentam desenvolvimento limitado, decorrente da fragilidade da estrutura produtiva, da baixa integração das cadeias locais e de descontinuidades institucionais na condução das políticas públicas voltadas ao setor.

Constatou-se que o processamento da matéria-prima constitui um dos pilares centrais da agroindustrialização, com impacto direto sobre a agregação de valor. No Maranhão, contudo, prevalece a agricultura familiar associada a indústrias de baixo nível de processamento, sobretudo no segmento alimentício — o mais numeroso, mas concentrado majoritariamente nos níveis II e III da tipologia de Austin (1992). A maior parte dos distritos industriais do estado permanece fora de operação plena, e a política de APLs, concebida em 2003, sofreu sucessivas descontinuidades associadas a instabilidades político-institucionais.

Persistem, ainda, profundas desigualdades territoriais: enquanto a capital São Luís e polos como Imperatriz concentram infraestrutura e serviços, vastas áreas do interior maranhense enfrentam carências básicas que comprometem a atração de investimentos e a consolidação de cadeias produtivas locais. Ainda assim, o estado revela potencial produtivo expressivo, sobretudo no segmento alimentício, cuja distribuição territorial ampla favorece o abastecimento local e regional.

Conclui-se que o fortalecimento das cadeias agroindustriais maranhenses depende de ações coordenadas entre Estado, iniciativa privada e sociedade civil, com foco na qualificação da mão de obra, no incentivo à inovação, na valorização da produção familiar e na continuidade institucional das políticas públicas. A agroindustrialização, alinhada a esses esforços, pode constituir alternativa viável para um modelo de desenvolvimento regional mais equitativo e sustentável, adequado às especificidades territoriais do Maranhão.

REFERÊNCIAS

AUSTIN, J.E. **Agroindustrial project analysis: critical design factors**. 2nd ed. Baltimore: Economic Development Institute of the World Bank, 1992.

BATALHA, M. O.; LAGO DA SILVA, A. **Gerenciamento de sistemas agroindustriais**: definições, especificidade e correntes metodológicas. In: BATALHA, M. O. (coord.). Gestão agroindustrial. São Paulo: Atlas, 2007.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Aglomerações, Arranjos Produtivos Locais e Vantagens Competitivas Locacionais**. Revista do BNDES. Rio de Janeiro, v. 11, n. 22, p. 151-179, dez. 2004.

CARVALHO, C.J. **Ascensão e Crise da Lavoura Algodoeira no Maranhão (1760-1910)**.

Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 1982.
CEPEDA, F. J. T. **Educação e Desenvolvimento no limiar dos anos 2000**. Economia e Sociologia, nº 59, 1993.
FAHEL, Murilo Cassio; TELES, Letícia Ribeiro; CAMINHAS, Davy Alves. **Para além da renda: uma análise da pobreza multidimensional no Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Sociais, v. 31, n. 92, e319205, 2016.
FAJARDO, Sérgio. **Complexo Agroindustrial, modernização da agricultura e participação das cooperativas agropecuárias no estado do Paraná**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 9, n. 27, set. 2008.
FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO MARANHÃO (FIEMA). **Estudo Setorial**: Indústria Têxtil e do Vestuário. São Luís: FIEMA, 2022.
FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO MARANHÃO (FIEMA). **FIEMA mapeia as principais cadeias produtivas do Maranhão**. São Luís, 2025. Disponível em: https://www.fiema.org.br/noticia/5356/fiema-mapeia-as-principais-cadeias-produtivas-do-maranhao. Acesso em: 09 jul. 2025.
FURTADO, C. **Formação Econômica do Brasil**. 22. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1987.
GEPLAN. **Plano de Desenvolvimento Econômico e Social Sustentado do Maranhão**. São Luís: GEPLAN, 2003.
GUIMARÃES, Alberto Passos. **A crise agrária**. 3. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.
HOLANDA, F. de. **Dinâmica da economia maranhense nos últimos 25 anos**. São Luís: IMESC, 2008.
HOLANDA, F. de. **Dinâmica da economia maranhense no período 2000 a 2012**. São Luís: IMESC, 2013.
LAUSCHNER, R. **Agroindustria y desarrollo economico**. Santiago: Universidad de Chile, 1975. (Tese MS).
MALUF, R. **Mercados agroalimentares e a agricultura familiar no Brasil: agregação de valor, cadeias integradas e circuitos regionais**. Ensaios FEE, Porto Alegre, v. 25, n. 1, p. 299-322, abr. 2004.
MYTELKA, Lynn; FARINELLI, Fulvia. **Local clusters, innovation and sustained competitiveness**. In: CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, Helena Maria Martins (Org.). 2000.
NUNES, Rui; ÉVORA, César. **Assimetrias internas e históricas sobrepõem-se a discursos de conjuntura**. Economia Pura, nº 6, Ano I, p. 30-33, 1998.
PARRÉ, J.L. **O agronegócio nas microrregiões brasileiras**: 1985 a 1995. 2000. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
PELEGRINI, Gelson; GAZOLLA, Márcio. **A agroindustrialização como estratégia de reprodução social da agricultura familiar.** Estudos Sociedade e Agricultura, v. 17, n. 2, 2009.
PERROUX, François. **A Unidade Motriz na região e a região Motriz**. In: Seminário Sobre

Pólos de Desenvolvimento, 1966a.
PERROUX, F. **A ideia de progresso perante a Ciência Económica do nosso tempo**. Análise Social I, Lisboa, 1964.
PREZOTTO, Leomar Luís. **Qualidade ampla: referência para a pequena agroindústria rural inserida numa proposta de desenvolvimento regional descentralizado**. In: LIMA, Dalmo Albuquerque; WILKINSON, John (Org.). Inovações nas tradições da agricultura familiar. Brasília: CNPQ/Paralelo 15, 2002.
PÖYRY. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) referente à implantação da unidade industrial da Suzano Papel e Celulose para Fabricação de Celulose Branqueada e Papel, no município de Imperatriz, no estado do Maranhão**, 2010.
SIMONETTI, E. R. de S.; CARNIELLO, M. F.; RODRIGUES, M. de S.; OLIVEIRA, E. A. de A. Q. **Diagnóstico do arranjo produtivo local das indústrias têxteis do município de Imperatriz-MA**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2013.
SONNINO, Renata; MARSDEN, Terry. **Além da linha divisória: repensando relações entre redes alimentares alternativas e convencionais na Europa**. In: GAZOLLA, M.; SCHNEIDER, S. (Org.). Cadeias curtas e redes agroalimentares alternativas: negócios e mercados da agricultura familiar. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.
STEIN, Natália; ADAMCZYK, Willian; FOCHEZATTO, Adelar. **Padrões espaciais do capital criativo e do capital humano no Brasil**: efeitos sobre o desenvolvimento econômico regional. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 30, n. 63, p. 1002, 2020.
TRIBUZI, J. P. G. **Formação econômica do Maranhão: uma proposta de desenvolvimento**. São Luís: FIPES, 1981.
ZYLBERSZTAJN, D. **Estruturas de governança e coordenação do agribusiness**: uma aplicação da nova economia das instituições (Tese de livre docência). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAPÍTULO 14

ALTERNATIVAS NATURAIS AO NITRITO/NITRATO EM PRODUTOS CÁRNEOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Gean Carlos Targino Paixão[1];
[1]Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar (PPGTA), Bananeiras, PB.
http://lattes.cnpq.br/8566369196258617
Nathan Reges Fontes dos Santos[2].
[2]Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar (PPGTA), Bananeiras, PB.
http://lattes.cnpq.br/2871917271608603

RESUMO: Este estudo aborda a crescente demanda por alimentos mais saudáveis, focando na substituição de nitritos e nitratos em produtos cárneos por alternativas naturais, impulsionada pelo potencial carcinogênico associado ao uso desses aditivos tradicionais. O objetivo central foi identificar as principais tendências de publicação, os países mais produtivos, as suas redes de colaboração e os documentos mais citados. A metodologia consistiu em uma análise bibliométrica de 142 documentos indexados na base Scopus. Os resultados revelam uma trajetória de crescimento nas pesquisas a partir de 2010, com um pico significativo em 2025. Identificou-se que a Espanha lidera a produção científica e as redes de colaboração internacional, seguida pelo Brasil e outros países. As investigações concentram-se no uso de extratos vegetais, antioxidantes e fibras em produtos como linguiças e bacon, demonstrando eficácia na conservação e manutenção da qualidade sensorial dos alimentos, além de reforçar o apelo pela redução de conservantes sintéticos. Nas considerações finais, a pesquisa válida a relevância e a viabilidade técnica de substitutos naturais, confirmando que, embora existam desafios regulatórios e de formulação, a ciência caminha para soluções que conciliam segurança alimentar e saúde pública, destacando a importância da colaboração contínua entre pesquisadores para a inovação no setor agroindustrial.
PALAVRAS-CHAVE: Sais de Cura. Saúde. Substituição.

NATURAL ALTERNATIVES TO NITRITE/NITRATE IN MEAT PRODUCTS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT: This study addresses the growing demand for healthier foods, focusing on the replacement of nitrites and nitrates in meat products with natural alternatives, driven by the carcinogenic potential associated with traditional additives. The main objective was to identify key publication trends, the most productive countries, their collaboration networks, and the most cited documents. The methodology consisted of a bibliometric analysis of 142 documents indexed in the Scopus database. The results reveal a growth trajectory in research starting in 2010, with a significant peak in 2025. Spain was identified as the

leader in scientific production and international collaborations, followed by Brazil and other countries. Investigations concentrated on the use of plant extracts, antioxidants, and fibers in products such as sausages and bacon, demonstrating effectiveness in preservation and maintaining sensory quality, while reinforcing the appeal of reducing synthetic preservatives. In the final considerations, the research validates the relevance and technical feasibility of natural substitutes, confirming that, although regulatory and formulation challenges remain, science is advancing toward solutions that reconcile food safety and public health, highlighting the importance of continuous collaboration among researchers for innovation in the agro-industrial sector.
KEYWORDS: Curing Salts. Health. Substitution.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação dos consumidores com a saúde tem impulsionado a indústria alimentícia a desenvolver produtos que atendam à busca por uma alimentação mais saudável (Duarte; Teixeira; Silva, 2021). Além disso, o maior consumo de alimentos ultraprocessados foi associado a um risco aumentado de multimorbidade envolvendo câncer e doenças cardiometabólicas (Cordova *et al.*, 2023). Na qual, são associados ao uso de aditivos alimentares, especialmente conservantes. Em um estudo a maior ingestão de nitrito de sódio esteve associada a uma maior incidência de câncer de próstata, enquanto o maior consumo de nitrato de potássio apresentou associação com a incidência de câncer em geral e de câncer de mama (Hasenböhler *et al.*, 2026).

Nitritos e nitratos são utilizados como agentes de cura em produtos cárneos processados, contribuindo para a conservação, estabilidade da cor, características sensoriais e controle do crescimento microbiano. Esses compostos podem participar de reações de nitrosação e contribuir para a formação de N-nitrosaminas, algumas das quais apresentam potencial genotóxico e carcinogênico (Deveci; Tek, 2024). As nitrosaminas podem estar presentes em diferentes categorias de alimentos, incluindo carnes curadas, peixes processados e bebidas, sendo que a carne e os produtos cárneos constituem a principal fonte de exposição alimentar a esses compostos (Schrenk *et al.*, 2023).

Diante disso, atualmente diversos estudos têm focado na substituição do nitrito e nitrato (Israelian *et al.*, 2026; Gao *et al.* 2026; Bernardo *et al.*, 2026; Alessi *et al.*, 2026). No entanto, por ser um tema atual, existem poucos estudos mundialmente nessa temática, na qual uma pesquisa bibliométrica se faz necessária, na qual a bibliometria constitui uma importante ferramenta para avaliar a produção científica em diferentes áreas do conhecimento, possibilitando a identificação e análise de tendências de pesquisa, bem como o acompanhamento e organização da produção bibliográfica (Corrêa *et al.*, 2024).

Diante disso, o objetivo desse estudo é analisar a produção científica global sobre alternativas naturais ao nitrito/nitrato em produtos cárneos.

OBJETIVO

O estudo teve como objetivo mapear a produção científica mundial sobre alternativas naturais ao uso de nitrito e nitrato em produtos cárneos, identificando tendências de publicação, países mais produtivos, redes de colaboração e os documentos mais citados para compreensão do panorama atual da pesquisa nessa área.

METODOLOGIA

A bibliometria foi realizada durante o mês de agosto de 2026 na base de dados Scopus, utilizando os seguintes termos: *nitrite* OR *nitrate* AND "*meat product**" OR *sausage** OR *salami* OR *ham* AND "*natural extract**" OR "*natural antioxidant**" OR "*plant extract**" no campo de busca de título, resumo e palavras-chave. Devido ao tema ainda ser pouco explorado, não foi aplicado filtro temporal afim de abarcar todos os documentos da plataforma até a presente data. A maior parte das publicações correspondeu a artigos científicos (118), seguida por documentos de conferência (17), capítulos de livro (3), editoriais (2) e erratas (2), totalizando 142 documentos analisados.

Os dados foram exportados da base de dados no formato CSV e posteriormente analisados pelo software VOSviewer (versão Java 1.8.0_261) para análise de redes colaborativas entre países. Os dados sobre anos de publicações, países mais produtivos e documentos mais citados foram coletados na própria base de dados em "Analisar resultados". Quando necessário, foi criado um arquivo "*thesaurus*" a fim de juntar termos sinônimos para a precisa leitura do software.

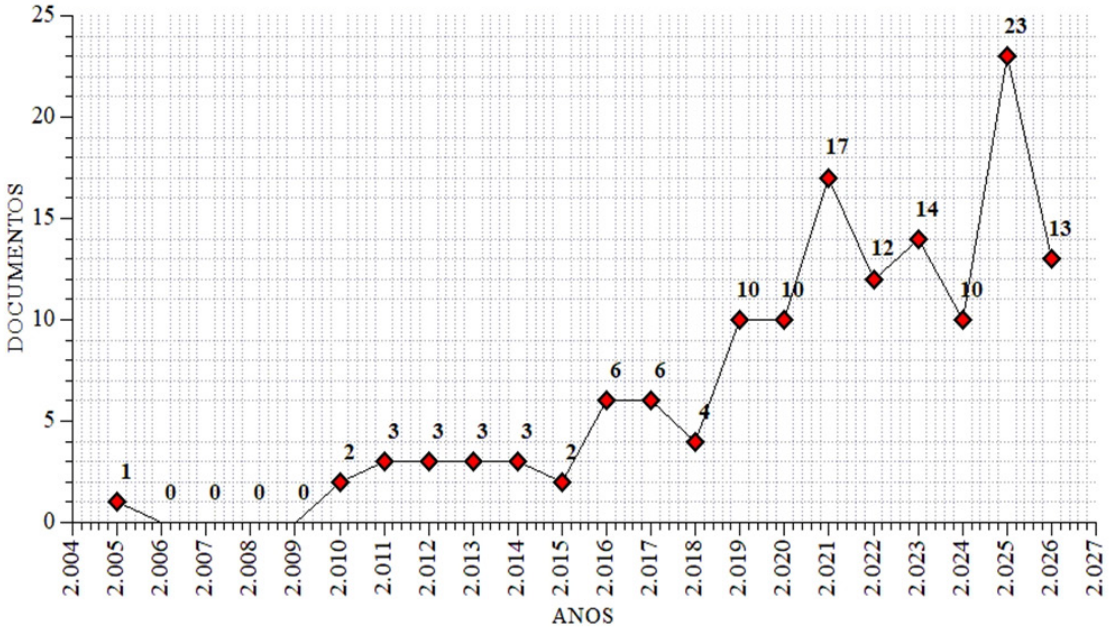
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de publicações ao longo dos anos

Na Figura 1 apresenta-se os dados da distribuição dos documentos publicados em cada ano. Observa-se que o documento pioneiro publicado nesta temática nessa base de dados foi no ano de 2005 intitulada: Licopeno de produtos de tomate adicionado carne moída: Efeito na qualidade do armazenamento e na cor (Østerlie; Lerfall, 2005), na qual destaca o potencial do licopeno natural, proveniente de produtos de tomate, como alternativa ao nitrito em produtos cárneos devido ao seu impacto na saúde, na qual proporcionou menor rancidez, melhor coloração e redução do pH, além de ajudar na conservação da carne. Nos anos posteriores até 2010, nada havia sido publicado, aumentando progressivamente desse ano em diante com leves oscilações. O ano de 2022, 2023 e 2024 apresentou uma redução do número de documentos, saindo de 17 para 12, 14 e 10 respectivamente nos anos seguintes, mas apresentando um salto de documentos no ano de 2025 com 23 documentos, sendo o pico em toda a trajetória de pesquisas nesse tema.

A queda do ano atual (2026), pode ser justificado por estarmos no início do segundo semestre do ano, possibilitando publicações de novos documentos até o fim do mesmo. No entanto, o crescimento continua quando observado ao decorrer dos anos.

Figura 1- Gráfico da distribuição de documentos ao longo dos anos



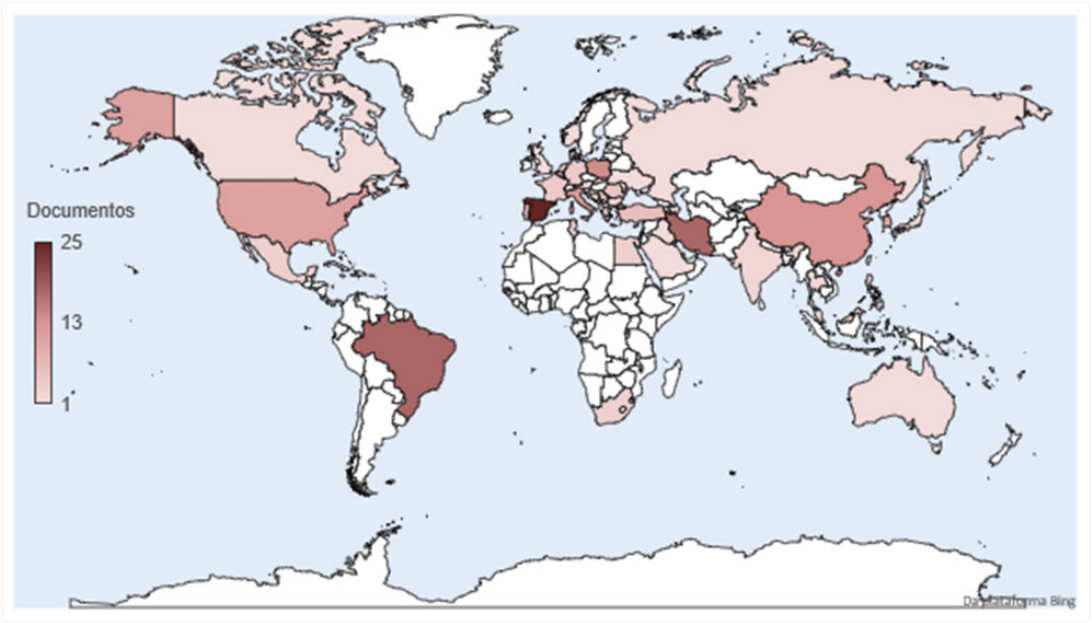
Fonte: Próprios autores com dados da Scopus (2026)

Observou-se que nos estudos de 2026 os embutidos, especialmente a linguiça, é o principal produto de estudo para a substituição ou redução do nitrito/nitrato em sua formulação. Linguiça tradicional da China (Gao *et al.* 2026) com três antioxidantes naturais (teaflavinas (TF), polifenóis do chá (TP) e vitamina C (VC)), respectivamente, combinados com nitrito de sódio ($NaNO_2$). Linguiça de frango com extrato de aipo, rico em nitritos naturais e compostos bioativos (Alessi *et al.*, 2026). Antocianinas como alternativa ao nitrito em linguiça cantonesa (Zhu *et al.*, 2026). O hidroxitirosol (HXT), um antioxidante natural, como substituto parcial dos agentes de cura (nitrito/nitrato) em linguiças orgânicas fermentadas e curadas a seco (Argemí-Armengol *et al.*, 2026). Outros estudos analisaram co-produtos do limão em mortadela (Magalhães *et al.*, 2026), em bacon, analisando a redução de nitritos com uso de ervas aromáticas com *Staphylococcus equorum* como estratégias de substituição (Bernardo *et al.*, 2026). Na qual, todos apresentaram dados promissores como alternativas ou substituto ao nitrito de sódio.

Países mais produtivos e colaborações

Um total de 43 países ao redor do mundo já publicaram nesta temática. A Espanha é o país líder com 25 documentos, seguido de Brasil e Irã empatados com 18 documentos, Polônia (14), China (13), Itália (12), EUA (11), Coreia do Sul (10), Portugal (7), Turquia (6), Bélgica, Romênia e Sérvia com 5 cada, França e Alemanha com 4 cada, Egito, México, Grécia, Eslováquia, África do Sul e Tunísia com 3 cada. Os demais países em coloração na Figura 2 mostraram quantidade entre 2 e 1 documento.

Figura 2 - Distribuição da densidade de documentos publicados mundialmente sobre alternativas naturais ao nitrito e nitrato.

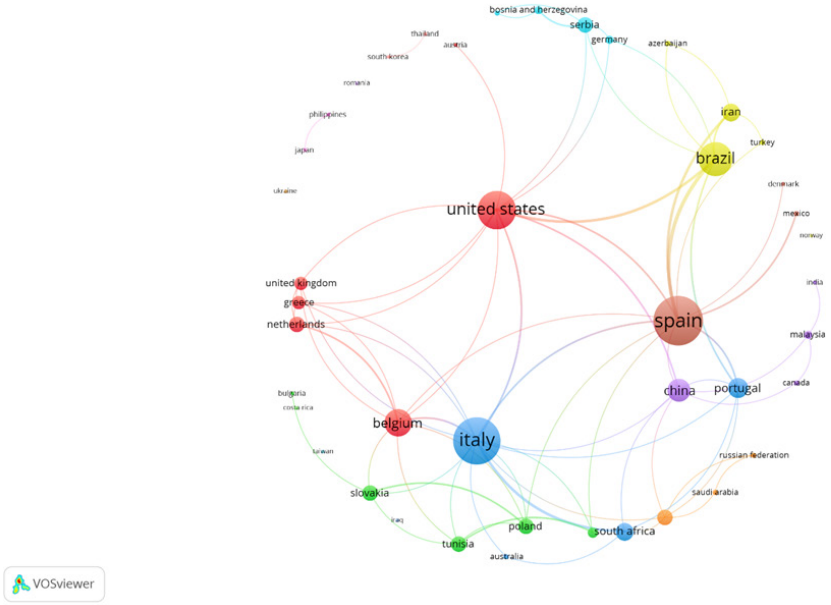


Fonte: Próprios autores com dados da Scopus (2026)

Embora o conjunto analisado seja composto por 142 documentos, a contagem por país é realizada com base na afiliação institucional dos autores. Dessa forma, em decorrência das colaborações nacionais e, sobretudo, internacionais, um mesmo documento pode apresentar autores vinculados a instituições de diferentes países, sendo, portanto, contabilizado em mais de um país. Assim, a soma das ocorrências atribuídas aos países totaliza 203, valor superior ao número absoluto de documentos analisados, em razão da participação de múltiplos países em um mesmo documento. Observou-se que a Europa apresentou a maior participação, com 98 documentos (48,28%), seguida pela Ásia, com 61 (30,05%), e pelas Américas, com 34 (16,75%). A África apresentou 9 (4,43%) e Oceania 1 (0,49%).

As redes de colaboração entre os países estão apresentadas na Figura 3, na qual os nós representam a quantidade de documentos resultantes da colaboração entre os países, enquanto as linhas ou links representam as relações de colaboração. A espessura dessas linhas indica a intensidade da colaboração entre os países, sendo que linhas mais espessas correspondem a uma maior densidade de documentos colaborados entre os respectivos países.

Figura 3 - Redes colaborativas entre os 43 países que publicam em conjunto sobre alternativas naturais ao nitrito de sódio em produtos cárneos.



Fonte: Próprios autores com dados da Scopus (2026)

Os dados apresentados reforçam a liderança da Espanha em termos de produtividade e consequentemente de colaborações, com 11 países, sendo 18 documentos colaborados entre os mesmos, com destaque para a força de parceria com o Brasil (4), Irã (3) e México (2). A Espanha representa um ponto central em termos de colaborações sobre alternativas naturais ao nitrito de sódio em produtos cárneos com os países de diferentes continentes. Em segundo lugar, aparece a Itália, com 14 países colaborados e 16 colaborações em documentos, com ampla relação com países europeus e africanos. Em seguida aparecem os EUA com 11 países e 14 colaborações com destaque para a parceria com o Brasil (3) e China (2). O Brasil aparece colaborando com apenas 7 países com 14 documentos colaborados, na qual destaca-se com a parceria com a Espanha (4) e os EUA (3). Em seguida, aparece a Bélgica com 6 links colaborativos entre os países, com 7 colaborações em documentos, na qual nota-se um destaque colaborativo com a Itália com 2 documentos publicados em conjunto. Os demais países aparecem com poucas colaborações internacionais, com destaque para a Romênia, Ucrânia, Tiwan, Costa Rica, Noruega e Iraque que não aparecem com colaborações.

Documentos mais citados

Na Tabela 1 estão apresentados os 5 documentos mais citados, na qual, observa-se que a predominância das citações está centralizada em revisões sobre a temática, onde entre os 5 documentos mais citados 4 são revisões.

Tabela 1- Top 5 dos documentos mais citados sobre alternativas naturais ao nitrito/nitrato em produtos cárneos

Ordem	Título	Autores	Ano de publicação	Citações
1	Antioxidantes naturais como aditivos para alimentos e rações para promover benefícios à saúde e qualidade dos produtos de carne: Uma revisão	(Jiang; Xiong)	2016	501
2	Extratos vegetais ricos em polifenóis: agentes antibacterianos e conservantes naturais para carne e produtos de carne	(Efenberger-Szmechtyk; Nowak; Czyzowska)	2021	418
3	Considerações químicas, de segurança e regulatórias no uso de nitrito e nitrato de origem natural em produtos cárnicos	(Flores; Toldrá)	2021	217
4	Efeito da adição de fibras cítricas e óleos essenciais de especiarias nas características de qualidade e na vida útil da mortadela	(Viuda-Martos *et al.*).	2010	178
5	Inovações para carnes processadas mais saudáveis	(Toldrá; Reig)	2011	167

Fonte: Scopus (2026).

O artigo mais citado nessa temática é a revisão que aborda estratégias antioxidantes para aumentar os antioxidantes no tecido muscular e melhorar a qualidade nutricional e os benefícios à saúde dos produtos cárneos. O segundo aborda os fatores que influenciam os polifenóis em plantas e extratos vegetais, suas atividades antimicrobianas e mecanismos de ação, além dos efeitos na vida útil de carnes e produtos cárneos. O terceiro, revisa e discute aspectos químicos, de segurança e regulatórios relacionados ao uso de nitritos e nitratos naturais na conservação de produtos cárneos. O 2º e 3º colocado sendo os mais recentes no top 5, evidenciando a sua relevância para o tema. O quarto é um artigo que estudou o efeito da adição de fibra alimentar de laranja (1%), óleo essencial de alecrim (0,02%) ou óleo essencial de tomilho (0,02%), bem como das condições de armazenamento, sobre as características de qualidade e a vida útil da mortadela, um tipo de embutido semelhante à mortadela tipo Bolonha. O quinto artigo apresenta inovações recentes no campo da carne com o objetivo de obter carnes processadas mais saudáveis.

Observou-se que todos os estudos enfatizam os malefícios à saúde do nitrito e nitrato em produtos cárneos apontando alternativas naturais aos mesmos como substitutos ou parcialmente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção científica sobre alternativas naturais ao uso de nitrito e nitrato em produtos cárneos vem crescendo de forma consistente desde 2005, com destaque para o aumento significativo em 2025. Os embutidos, especialmente as linguiças, têm sido os principais produtos investigados, mostrando resultados promissores com o uso de extratos vegetais e antioxidantes naturais como substitutos parciais ou totais. A Espanha lidera em número de publicações e colaborações, seguida por Brasil e Irã, com forte participação europeia no cenário global. Os artigos mais citados são majoritariamente revisões, reforçando a importância de consolidar o conhecimento e orientar novas pesquisas. Em todos os trabalhos, há consenso sobre os riscos à saúde associados ao uso de nitrito e nitrato, e a necessidade de alternativas naturais que garantam qualidade, segurança e benefícios nutricionais. Assim, conclui-se que a substituição desses aditivos por alternativas naturais representa uma tendência científica e tecnológica relevante para a indústria de alimentos, apontando para um futuro de produtos cárneos mais saudáveis e seguros.

REFERÊNCIAS

ALESSI, A. C. S. B.; BRITO, N. L. H.; DROVAL ARCAIN, A. A.; REITZ CARDOSO, F. A. Evaluation of celery extract as a natural alternative to sodium nitrite in fresh chicken sausages during refrigerated storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 106, no. 4, pp. 2251–2258, 15 Mar. 2026. DOI: 10.1002/JSFA.70329;ISSUE:ISSUE:DOI. Available at: /doi/pdf/10.1002/jsfa.70329. Accessed: 15 Aug. 2026.

ARGEMÍ-ARMENGOL, I.; RIPOLL, G.; VILLALBA, D.; ÁLVAREZ-RODRIGUEZ, J. Reduced Nitrates/Nitrites and Natural Additives in Organic Fermented Dry-Cured Sausages: Effects on Microbiological Safety, Quality, and Consumer Acceptance. **Journal of Food Science**, vol. 91, no. 3, p. e70985, 1 Mar. 2026. DOI: 10.1111/1750-3841.70985;REQUESTED-JOURNAL:JOURNAL:17503841;ISSUE:ISSUE:DOI. Available at: /doi/pdf/10.1111/1750-3841.70985. Accessed: 20 Aug. 2026.

BERNARDO, P.; FERNANDES, M. J.; FERNANDES, M. H.; TEIXEIRA, M. P.; ÖZKAN, B.; ALFAIA, C. M.; PATARATA, L.; FRAQUEZA, M. J. Nitrite reduction and the use of aromatic herbs with Staphylococcus equorum as replacement strategies in bacon. **Meat Science**, vol. 234, p. 110041, 1 Apr. 2026. DOI: 10.1016/J.MEATSCI.2026.110041. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0309174026000112?via%3Dihub. Accessed: 15 Aug. 2026.

CORDOVA, R.; VIALLON, V.; FONTVIEILLE, E.; PERUCHET-NORAY, L.; JANSANA, A.; WAGNER, K. H.; KYRØ, C.; TJØNNELAND, A.; KATZKE, V.; BAJRACHARYA, R.; SCHULZE, M. B.; MASALA, G.; SIERI, S.; PANICO, S.; RICCERI, F.; TUMINO, R.; BOER, J. M. A.; VERSCHUREN, W. M. M.; VAN DER SCHOUW, Y. T.; JAKSZYN, P.; REDONDO-SÁNCHEZ, D.; AMIANO, P.; HUERTA, J. M.; GUEVARA, M.; BORNÉ, Y.; SONESTEDT, E.; TSILIDIS, K. K.; MILLETT, C.; HEATH, A. K.; AGLAGO, E. K.; AUNE, D.; GUNTER, M. J.; FERRARI, P.; HUYBRECHTS, I.; FREISLING, H. Consumption of ultra-processed foods and risk of mul-

timorbidity of cancer and cardiometabolic diseases: a multinational cohort study. **The Lancet Regional Health - Europe**, vol. 35, 1 Dec. 2023. DOI: 10.1016/j.lanepe.2023.100771. Available at: https://www.thelancet.com/action/showFullText?pii=S2666776223001904. Accessed: 19 Aug. 2026.

CORRÊA, N. F.; FILHO, A. C. P.; DE OLIVEIRA RIBEIRO, V.; DIODATO, J. O. CIENCIOMETRIA E BIBLIOMETRIA DO ESTUDO DE GEOTECNOLOGIAS E SANEAMENTO NA REGIÃO DE PORTO MURTINHO-MS. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, vol. 18, no. 2, p. e04937, 26 Feb. 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n2-066. Available at: https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4937. Accessed: 6 Aug. 2024.

DEVECI, G.; TEK, N. A. N-Nitrosamines: a potential hazard in processed meat products. **Journal of the science of food and agriculture**, vol. 104, no. 5, pp. 2551–2560, 30 Mar. 2024. DOI: 10.1002/JSFA.13102. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37984839/. Accessed: 19 Aug. 2026.

DUARTE, P.; TEIXEIRA, M.; SILVA, S. C. E. Healthy eating as a trend: consumers' perceptions towards products with nutrition and health claims. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, vol. 23, no. 3, pp. 405–421, 22 Sep. 2021. DOI: 10.7819/RBGN.V23I3.4113. Available at: https://www.scielo.br/j/rbgn/a/zTdb8vCPdYyjFM5cZznjd8M/?format=html&lang=en. Accessed: 19 Aug. 2026.

EFENBERGER-SZMECHTYK, M.; NOWAK, A.; CZYZOWSKA, A. Plant extracts rich in polyphenols: antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, vol. 61, no. 1, pp. 149–178, 2021. DOI: 10.1080/10408398.2020.1722060;SUBPAGE:STRING:ACCESS. Available at: https://www-tandfonline-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1080/10408398.2020.1722060. Accessed: 21 Aug. 2026.

FLORES, M.; TOLDRÁ, F. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products - Invited review. **Meat Science**, vol. 171, p. 108272, 1 Jan. 2021. DOI: 10.1016/J.MEATSCI.2020.108272. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S030917402030704X-?via%3Dihub. Accessed: 21 Aug. 2026.

GAO, X.; XIA, L.; XIONG, G.; ZOU, J. Influences of three natural antioxidants on the quality of Chinese-style traditional sausage during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 106, no. 5, pp. 2897–2904, 30 Mar. 2026. DOI: 10.1002/JSFA.70398;WEBSITE:WEBSITE:SCIJOURNALS;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER. Available at: /doi/pdf/10.1002/jsfa.70398. Accessed: 15 Aug. 2026.

HASENBÖHLER, A.; JAVAUX, G.; DE LA GARANDERIE, M. P.; DE EDELENYI, F. S.; YVROUD-HOYOS, P.; AGAËSSE, C.; DE SA, A.; HUYBRECHTS, I.; PIERRE, F.; AUDEBERT, M.; COUMOUL, X.; JULIA, C.; KESSE-GUYOT, E.; ALLÈS, B.; DESCHAMPS, V.; HERCBERG, S.; CHASSAING, B.; SROUR, B.; DESCHASAUX-TANGUY, M.; TOUVIER, M. Intake of food additive preservatives and incidence of cancer: results from the NutriNet-Santé prospective cohort. **BMJ (Clinical research ed.)**, vol. 392, 7 Jan. 2026. DOI: 10.1136/BMJ-

2025-084917. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41500678/. Accessed: 19 Aug. 2026.

ISRAELIAN, V. M.; HOLEMBOVSKA, N. V; SYDORENKO, O. V; OMELIAN, A. M.; NAUMENKO, T. V; SHYNKARUK, V. D.; LIALYK, A. T.; STETSYUK, I. M.; RUDYK, Y. M.; GRUNTKOVSKYI, M. S.; ІСРАЕЛЯН, В. М.; ГОЛЕМБОВСЬКА, Н. В.; СИДОРЕНКО, О. В.; ОМЕЛЬЯН, А. М.; НАУМЕНКО, Т. В.; ШИНКАРУК, В. Д.; ЛЯЛІК, А. Т.; СТЕЦЮК, І. М.; РУДИК, Я. М.; ГРУНТКОВСЬКИЙ, М. С. TECHNOLOGIES FOR REDUCING NITRATE CONTENT IN MEAT PRODUCTS DURING PROCESSING. **Journal of Chemistry and Technologies**, vol. 34, no. 2, pp. 512–528, 19 Jun. 2026. DOI: 10.15421/JCHEMTECH.V34I2.351619. Available at: https://chemistry.dnu.dp.ua/article/view/351619. Accessed: 19 Aug. 2026.

JIANG, J.; XIONG, Y. L. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. **Meat Science**, vol. 120, pp. 107–117, 1 Oct. 2016. DOI: 10.1016/J.MEATSCI.2016.04.005. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0309174016300973?via%3Dihub. Accessed: 21 Aug. 2026.

MAGALHÃES, D.; BAS, C. M.; VIUDA-MARTOS, M.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; TEIXEIRA, P.; PINTADO, M. Lemon co-products as functional ingredients for mortadella reformulation: Impact on shelf life, nutritional quality and sensory properties. **Meat Science**, vol. 233, p. 110008, 1 Mar. 2026. DOI: 10.1016/J.MEATSCI.2025.110008. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0309174025002694?via%3Dihub. Accessed: 15 Aug. 2026.

ØSTERLIE, M.; LERFALL, J. Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. **Food Research International**, vol. 38, nos. 8–9, pp. 925–929, 1 Oct. 2005. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2004.12.003. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0963996905000979?via%3Dihub. Accessed: 15 Aug. 2026.

SCHRENK, D.; BIGNAMI, M.; BODIN, L.; CHIPMAN, J. K.; DEL MAZO, J.; HOGSTRAND, C.; HOOGENBOOM, L.; LEBLANC, J. C.; NEBBIA, C. S.; NIELSEN, E.; NTZANI, E.; PETERSEN, A.; SAND, S.; SCHWERDTLE, T.; VLEMINCKX, C.; WALLACE, H.; ROMUALDO, B.; CRISTINA, F.; STEPHEN, H.; IAMMARINO, M.; MOSBACH-SCHULZ, O.; RIOLO, F.; CHRISTODOULIDOU, A.; GRASL-KRAUPP, B. Risk assessment of N-nitrosamines in food. **EFSA Journal**, vol. 21, no. 3, 1 Mar. 2023. DOI: 10.2903/J.EFSA.2023.7884. Available at: https://www.efsa.europa.eu/en/news/nitrosamines-food-raise-health-concern. Accessed: 19 Aug. 2026.

TOLDRÁ, F.; REIG, M. Innovations for healthier processed meats. **Trends in Food Science & Technology**, vol. 22, no. 9, pp. 517–522, 1 Sep. 2011. DOI: 10.1016/J.TIFS.2011.08.007. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0924224411001580?via%3Dihub. Accessed: 21 Aug. 2026.

VIUDA-MARTOS, M.; RUIZ-NAVAJAS, Y.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.

A. Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. **Meat Science**, vol. 85, no. 3, pp. 568–576, 1 Jul. 2010. DOI: 10.1016/J.MEATSCI.2010.03.007. Available at: https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0309174010000793?via%3Dihub. Accessed: 21 Aug. 2026.

ZHU, J.; LUO, Z.; SUN, J.; BAI, W. Investigation of the use of anthocyanins in Cantonese sausage as a nitrite alternative. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 106, no. 4, pp. 2082–2090, 15 Mar. 2026. DOI: 10.1002/JSFA.70314;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:10970010;ISSUE:ISSUE:DOI. Available at: /doi/pdf/10.1002/jsfa.70314. Accessed: 15 Aug. 2026.

CAPÍTULO 15

EVOLUÇÃO E TENDÊNCIAS DA PESQUISA SOBRE SANGUE DE ABATEDOUROS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Gean Carlos Targino Paixão[1];
[1]Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar (PPGTA), Bananeiras, PB.
http://lattes.cnpq.br/8566369196258617
Ana Clara Silva da Cruz[2];
[2]Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar (PPGTA), Bananeiras, PB.
http://lattes.cnpq.br/7051020155468763
Nathan Reges Fontes dos Santos[3].
[3]Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar (PPGTA), Bananeiras, PB.
http://lattes.cnpq.br/2871917271608603

RESUMO: A produção de carne gera grandes quantidades de resíduos, entre os quais o sangue de abatedouros se destaca pelo volume, potencial poluidor e possibilidade de aproveitamento. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo mapear e analisar a produção científica sobre sangue de abatedouros, contribuindo para a tomada de decisões e o gerenciamento da comunidade científica. Foi realizada uma análise bibliométrica na base Scopus, em agosto de 2026, utilizando termos relacionados ao sangue proveniente de abatedouros. Foram identificados 241 documentos, publicados entre 1973 e 2026. Os resultados demonstraram crescimento da produção científica, especialmente a partir da última década, com destaque para Estados Unidos, Canadá e Brasil. A análise das palavras-chave evidenciou uma mudança no enfoque das pesquisas, passando do tratamento do sangue como resíduo para sua valorização e aplicação biotecnológica, com destaque para economia circular, hidrólise enzimática, peptídeos antimicrobianos e atividade antioxidante. Os documentos mais citados reforçaram o potencial do sangue como fonte de compostos bioativos. Dessa forma, observa-se uma tendência de expansão das pesquisas voltadas ao aproveitamento e à valorização desse subproduto da indústria cárnea.
PALAVRAS-CHAVE: Valorização de resíduos. Impacto ambiental. Resíduos de abate.

EVOLUTION AND TRENDS IN RESEARCH ON SLAUGHTERHOUSE BLOOD: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT: Meat production generates large amounts of waste, among which slaughterhouse blood stands out due to its volume, polluting potential, and potential for utilization. In this context, the present study aimed to map and analyze scientific production on slaughterhouse blood, contributing to decision-making and the management of the scientific community. A bibliometric analysis was conducted using the Scopus database in August 2026, employing terms related to blood from slaughterhouses. A total of 241 documents

published between 1973 and 2026 were identified. The results demonstrated an increase in scientific production, particularly over the last decade, with the United States, Canada, and Brazil standing out. Keyword analysis revealed a shift in research focus from treating blood as waste toward its valorization and biotechnological applications, with emphasis on the circular economy, enzymatic hydrolysis, antimicrobial peptides, and antioxidant activity. The most cited documents reinforced the potential of blood as a source of bioactive compounds. Thus, there is a growing trend toward research focused on the utilization and valorization of this by-product of the meat industry.
KEYWORDS: Waste valorization. Environmental impact. Slaughterhouse waste.

INTRODUÇÃO

Os matadouros geram resíduos como sangue, fezes e restos de carne. Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos podem causar poluição da água, do ar e do solo, prejudicando a saúde humana e o meio ambiente (SURYONO; RAMA, 2025). Entre os resíduos gerados nos abatedouros, o sangue destaca-se tanto pelo volume quanto pelo seu elevado potencial poluidor. Estima-se que, em 2022, aproximadamente 15,6 milhões de toneladas de sangue tenham sido geradas mundialmente (JIA; WANG; WANG, 2025).

O sangue representa aproximadamente 3–5% do peso vivo do animal abatido e contém cerca de 13–15% de proteínas, o que faz dele não apenas um problema ambiental, mas também um subproduto com potencial de aproveitamento (ÁLVAREZ-CASTILLO et al., 2023). Apesar da potencialidade desse resíduo para o seu reaproveitamento, ainda é limitado os estudos dentro dessa temática.

Li et al. (2021) afirmam que o sangue oriundo do abate de certos animais é rico em compostos de alto valor biológico, como proteínas, aminoácidos (AAs), minerais, vitaminas, enzimas e oligoelementos, o que o torna uma excelente opção como fonte para a produção de peptídeos bifuncionais.

Nesse sentido, uma bibliometria, se faz necessária, pois é uma importante ferramenta para avaliar e compreender a produção científica e tecnológica, permitindo analisar o desenvolvimento de determinada área do conhecimento. Por meio dela, é possível identificar tendências, comparar a produção entre países e instituições e avaliar a contribuição de pesquisadores, proporcionando uma visão mais ampla sobre o avanço da ciência em diferentes campos (OKUBO, 1997). Assim, o objetivo desse trabalho foi mapear e analisar a produção científica sobre o tema contribuindo para a tomada de decisões e o gerenciamento da comunidade científica.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi mapear e analisar a produção científica sobre sangue de abatedouros, identificando tendências de publicação, países mais produtivos, documentos mais citados e principais temas abordados.

METODOLOGIA

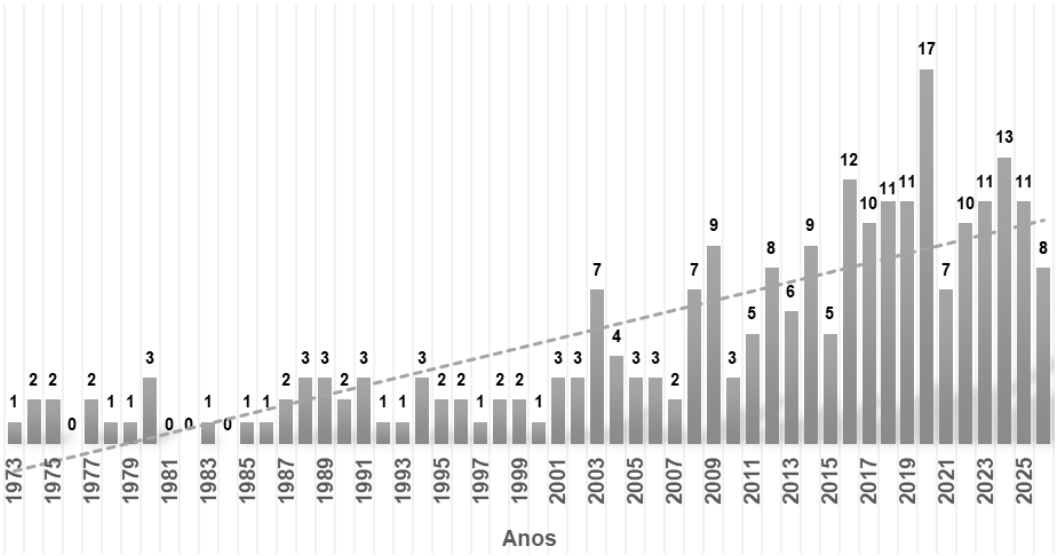
A pesquisa bibliométrica ocorreu durante o mês de agosto de 2026, na base de dados Scopus. Foram utilizados os termos: "*slaughterhouse blood*" OR "*abattoir blood*" OR "*slaughter blood*" OR "*blood from slaughterhouse**" buscando entre título, resumo e palavras-chave. Para garantir maior precisão de busca, todos os documentos foram contabilizados sem filtro temporal ou por tipo de documento. Um total de 241 documentos foram retornados, na qual 229 eram artigos, 3 revisões, 7 artigos de conferência, 1 capítulo de livro e 1 nota. Os dados desses documentos foram exportados em formato CSV para posterior análise no software VOSviewer (versão Java 1.8.0_261). Para a análise dos países mais produtivos, documentos mais citados, e os anos de publicações, os dados foram coletados pela ferramenta "Analisar resultados", disponibilizado pela própria plataforma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Anos de publicações

Na Figura 1 apresentam-se o número de documentos publicados no decorrer dos anos sobre a temática. Observa-se que o estudo pioneiro dentro desse tema foi publicado em 1973 intitulado de "Valor nutritivo das frações de globina e proteínas plasmáticas do sangue bovino", destacando que a proteína plasmática apresentou boa qualidade nutricional**,** enquanto a globina apresentou baixa qualidade.

Figura 1- Distribuição anual de publicações sobre sangues oriundos de abatedouros.



Fonte: Criado pelos autores com dados da Scopus (2026).

O principal problema nutricional da globina foi a deficiência de isoleucina. A suplementação com esse aminoácido foi testada para verificar se poderia melhorar o crescimento dos animais (C.R. *et al.*, 1973).

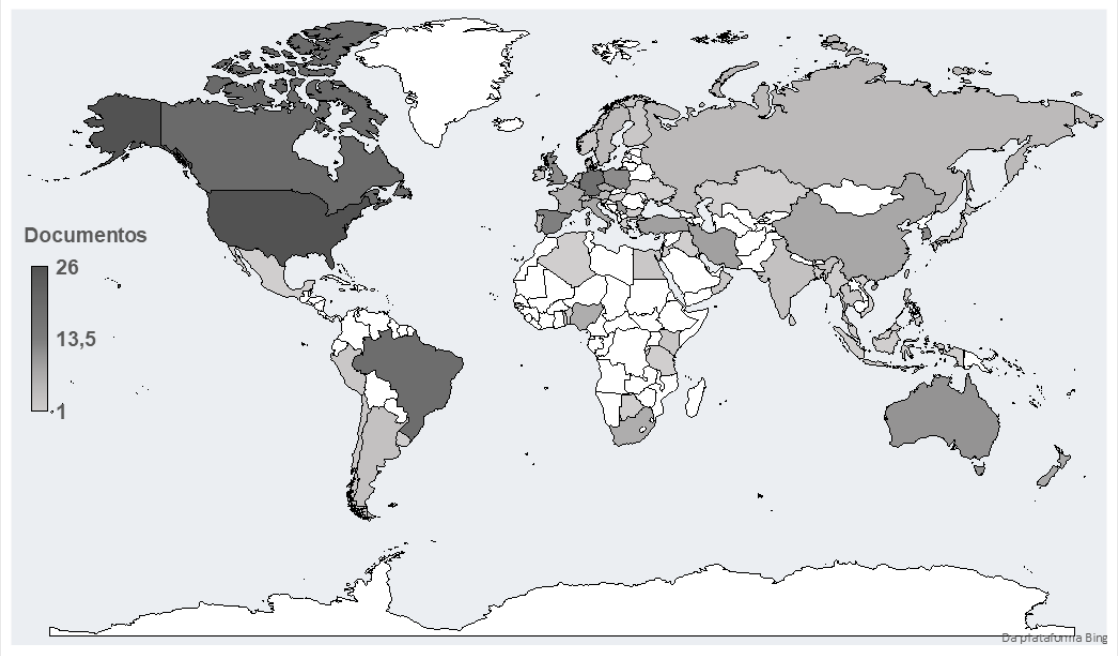
Nota-se que até entre o ano de 1073 até 2002 oscilava-se a quantidade de documentos ou publicações entre 0 até 3 por ano. Desse ano em diante, ouve aumentos sem uma certa estabilidade entre os números entre os anos. Após o ano de 2011 essa quantidade

permeou constantemente acima de 5 documentos ao ano, com picos entre 12 (2016), 17 (2020) e 13 em 2024. Esses dados evidenciam que apesar da Covid-19 ter obrigatoriamente interrompido algumas atividades nos centros de pesquisas ou institutos, não teve impacto em pesquisas no ano posteriores. Apesar das oscilações entre os anos a linha de tendência inclina-se de maneira algorítmica, demonstrando o interesse da comunidade científica em reverter o impacto ambiental causado por esse resíduo da indústria cárnea. Vale ressaltar ainda, que estamos no quarto trimestre do ano, na qual até sua finalização, podem ser publicados mais documentos nessa temática até o fim do ano presente.

Países mais produtivos e colaborações

Um total de 66 países já publicaram sobre essa temática. Na qual se apresentam na Figura 2, aqueles mais produtivos.

Figura 2- Mapa global da densidade de documentos publicados sobre sangues oriundos de abatedouro



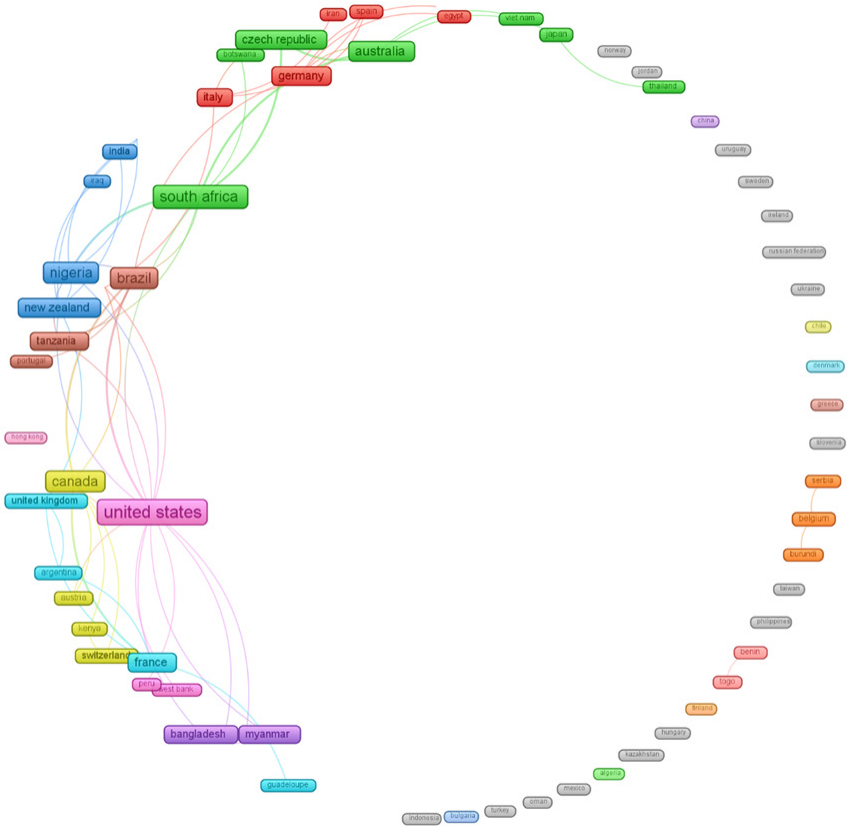
Fonte: Criado pelos autores com dados da Scopus (2026).

Os EUA aparecem liderando em termos de publicações sobre sangue oriundo de abatedouros com 6 documentos, seguido do Canadá (19), Brasil (18), Alemanha (17), Espanha (13), Polônia, Coreia do Sul e Reino Unido aparecem empatados com 11 documentos cada. Australia vem em seguida com 10, Sérvia (9), Irã, Turquia com 8 cada. China, Itália e Nova Zelândia com 7 cada. República Tcheca, França, Nigéria e África do Sul com 6 cada. Os demais países aparecem com números inferiores conforme demonstrado na ilustração seguinte.

Na Figura 3, tem-se a representação das colaborações entre os países, na qual, a quantidade de colaborações em documentos está refletida no tamanho de se quadro. Observa-se que os EUA, África do Sul, Canadá e Brasil destacam-se por terem as maiores colaborações com 15, 10, 9 e 9 respectivamente. Os demais países aparecem com

colaborações inferiores. Os países que não demonstraram ter colaborações foram a China, Bulgária, Turquia, Omã, México, Argélia, Uruguai, Ucrânia, Taiwan, Suécia, Eslovênia, Rússia, Filipinas, Noruega, Cazaquistão, Jordânia, Irlanda, Indonésia, Hong Kong, Grécia, Finlândia, Dinamarca e Chile.

Figura 3 - Rede Global de colaborações entre Países sobre publicações de sangues oriundos de abatedouros



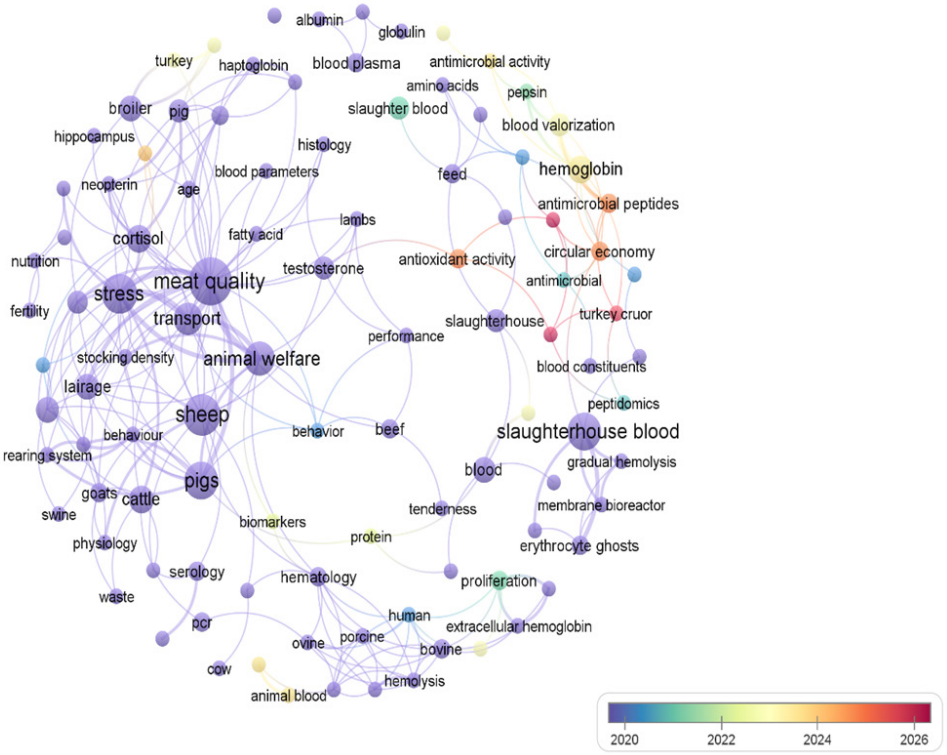
Fonte: Criado pelos autores com dados da Scopus no VOSviewer (2026).

Análise de palavras-chave nos últimos anos (2020-2026)

Um total de 735 termos foram encontrados, na qual, estão apresentados na Figura 4 aqueles com no mínimo 2 ocorrências encontrada e a rede de interligação entre as mesmas em mapa colorimétrico temporal. Observou-se que as palavras-chave mais recentes são: *"Waste valorization"* (2026)*; "enzymatic hydrolysis"* (2026)*; "turkey cruor"* (2025)*; "circular economy"* (2024)*; "antimicrobial peptides"* (2024)*; "antioxidant activity"* (2024).

A pesquisa sobre sangue de abatedouros vem se deslocando do enfoque de resíduo e descarte para o de valorização, bioprocessamento e obtenção de compostos bioativos, alinhando-se aos princípios da economia circular. A emergência de *waste valorization* e *enzymatic hydrolysis* nos anos mais recentes sugere que essa é uma frente de pesquisa em expansão, enquanto *antimicrobial peptides* e *antioxidant activity* evidenciam o interesse crescente pelo potencial funcional e biotecnológico das frações sanguíneas.

Figura 4- Rede temporal de ocorrência das palavras-chave sobre publicações de sangues oriundos de abatedouros



Fonte: Criado pelos autores com dados da Scopus no VOSviewer (2026).

Documentos mais citados

Na Tabela 1 está apresentado o top 5 dos artigos mais citados dentro dessa temática. Observa-se que o artigo mais citado com 259 citações é uma revisão, que analisa peptídeos bioativos obtidos do sangue de animais de matadouro, com destaque para atividades anti-hipertensiva, antioxidante e antimicrobiana. Também discute como enzimas, grau de hidrólise, sequência e tamanho dos peptídeos influenciam sua eficácia. Em segunda posição, um artigo que examinou a composição bioquímica do líquido folicular extraído de folículos de diferentes tamanhos e sua relação com o soro sanguíneo em gado leiteiro com 205 citações. Em terceira posição com 195 citações, que avaliou o efeito da alimentação por erva ou concentrado e da suplementação de taninos na dieta no metabolismo e composição dos ácidos graxos no fluido ruminal de ovelhas, plasma e gordura intramuscular.

Tabela 1- Top 5 dos documentos mais citados sobre sangues oriundos de abatedouros.

Posição	Artigo	Autores/Ano	Citações
1	Sangue de matadouro: Uma fonte emergente de compostos bioativos	(BAH *et al.*, 2013)	259
2	Metabólito e composição iônica do líquido folicular de folículos de diferentes tamanhos e sua relação com as concentrações séricas em vacas leiteiras	(LEROY *et al.*, 2004)	205
3	Destino metabólico dos ácidos graxos envolvidos na biohidrogenação ruminal em ovelhas alimentadas com concentrado ou erva, com ou sem taninos	(VASTA *et al.*, 2009)	195
4	Alterações endócrinas, metabolitas do sangue e qualidade da carne em cabras, influenciadas pelo estresse de curto prazo antes do abate	(KANNAN *et al.*, 2003)	124
5	A avaliação dos tratamentos pré-abate e abate de animais por meio da medição de constituintes plasmáticos — Uma revisão de trabalhos recentes	(SHAW; TUME, 1992)	113

Fonte: Scopus no (2026).

O quarto documento mais citado com 124 citações, avaliou alterações endócrinas, metabolitas do sangue e qualidade da carne em cabras, influenciadas pelo estresse de curto prazo antes do abate**.** O quinto colocado com 113 citações, que revisou o uso da análise de constituintes do plasma (ou soro) sanguíneo como indicadores do estresse de animais durante as etapas de transporte, manejo e abate, considerando também os efeitos desses procedimentos sobre a qualidade da carne.

Observou-se o grande impacto das revisões em termos de citações. Na presente pesquisa, destaca-se a presença de uma revisão mais antiga, publicada em 1992, e outra mais recente, de 2013, entre os cinco documentos mais citados, evidenciando a relevância das revisões tanto para a consolidação do conhecimento já estabelecido quanto para a atualização e disseminação de novas evidências científicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica evidenciou um crescimento do interesse científico pelo sangue proveniente de abatedouros, especialmente a partir da última década. Os resultados demonstraram a participação de diferentes países e a existência de colaborações internacionais, destacando-se países como Estados Unidos, Canadá e Brasil.

A análise das palavras-chave também mostrou uma mudança no foco das pesquisas, que passou do tratamento do sangue como resíduo para sua valorização, aproveitamento e aplicação biotecnológica, com destaque para a economia circular, hidrólise enzimática, peptídeos antimicrobianos e atividade antioxidante.

Os documentos mais citados reforçam a importância do sangue de abatedouros como

fonte potencial de compostos bioativos e produtos de interesse para as áreas alimentícia, farmacêutica e biotecnológica.

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ-CASTILLO, E.; GUERRERO, P.; DE LA CABA, K.; BENGOECHEA, C.; GUERRERO, A. Biorefinery concept in the meat industry: From slaughterhouse biowastes to superaborbent materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 471, p. 144564, 1 set. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894723032953?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 26 ago. 2026.

BAH, C. S. F.; BEKHIT, A. E. D. A.; CARNE, A.; MCCONNELL, M. A. Slaughterhouse blood: An emerging source of bioactive compounds. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 3, p. 314–331, 1 maio 2013. Disponível em: </doi/pdf/10.1111/1541-4337.12013>. Acesso em: 25 ago. 2026.

C.R., Y.; R.W., L.; W.A., L.; C.W., D. Nutritive value of globin and plasma protein fractions from bovine blood. **Nutrition Reports International**, 1973. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/0015808084?origin=resultslist>. Acesso em: 24 ago. 2026.

JIA, C.; WANG, S.; WANG, L. Upcycling livestock processing waste to bioplastics for sustainable meat production systems: material quantification and environmental impact. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 220, p. 108356, 30 jun. 2025. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0921344925002356?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2026.

KANNAN, G.; KOUAKOU, B.; TERRILL, T. H.; GELAYE, S. Endocrine, blood metabolite, and meat quality changes in goats as influenced by short-term, preslaughter stress. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 6, p. 1499–1507, 1 jun. 2003. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2527/2003.8161499x>. Acesso em: 25 ago. 2026.

LEROY, J. L. M. R.; VANHOLDER, T.; DELANGHE, J. R.; OPSOMER, G.; VAN SOOM, A.; BOLS, P. E. J.; DE KRUIF, A. Metabolite and ionic composition of follicular fluid from different-sized follicles and their relationship to serum concentrations in dairy cows. **Animal Reproduction Science**, v. 80, n. 3–4, p. 201–211, 1 fev. 2004. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378432003001738?via%3Dihub>. Acesso em: 25 ago. 2026.

LI, G.; ZHAN, J.; HU, L.; YUAN, C.; TAKAKI, K.; YING, X.; HU, Y. Identificação de um novo peptídeo antioxidante do plasma suíno por digestão *in vitro* e seu efeito citoprotetor em um modelo HepG2 induzido por H_2O_2. *Journal of Functional Foods*, v. 86, 2021, Artigo 104679. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104679.

OKUBO, Y. **Bibliometric Indicators and Analysis of Research Systems**: OECD Science, Technology and Industry Working Papers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/208277770603>. Acesso em: 6 ago. 2024.

SHAW, F. D.; TUME, R. K. The assessment of pre-slaughter and slaughter treatments of

livestock by measurement of plasma constituents—A review of recent work. **Meat Science**, v. 32, n. 3, p. 311–329, 1 jan. 1992. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/030917409290095L?via%3Dihub>. Acesso em: 25 ago. 2026.

SURYONO, S.; RAMA, B. Environmental Impact of Slaughterhouse Waste and Technology-Based Processing Solutions: Dampak Lingkungan Limbah Rumah Potong dan Solusi Pengolahan Berbasis Teknologi. **Buletin Peternakan Tropis**, v. 6, n. 1, p. 42–50, 31 maio 2025. Disponível em: <https://ejournal.unib.ac.id/buletin_pt/article/view/39945>. Acesso em: 26 ago. 2026.

VASTA, V.; MELE, M.; SERRA, A.; SCERRA, M.; LUCIANO, G.; LANZA, M.; PRIOLO, A. Metabolic fate of fatty acids involved in ruminal biohydrogenation in sheep fed concentrate or herbage with or without tannins. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 8, p. 2674–2684, 1 ago. 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2527/jas.2008-1761>. Acesso em: 25 ago. 2026.

ÁREA TEMÁTICA: AGRONOMIA

CAPÍTULO 16

ESTRATÉGIAS DE MANEJO HÍDRICO PARA OTIMIZAR A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA CULTURA DA ALFACE

Maria Gabriela de Queiroz[1].

[3]Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/2053330973064133

RESUMO: A irrigação é um dos principais fatores para o sucesso da produção de hortaliças, porém o uso racional da água tornou-se essencial diante da crescente limitação dos recursos hídricos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar estratégias de manejo hídrico visando otimizar a eficiência do uso da água na cultura da alface submetida a diferentes níveis de reposição da evapotranspiração de referência (ETo). O experimento foi conduzido em campo, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com três repetições, utilizando cobertura plástica do solo e quatro níveis de reposição da ETo (50, 75, 100 e 125%). Além das variáveis agronômicas, foram determinados a produtividade da água e o percentual de economia de água de irrigação. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 56,8 mm, enquanto as lâminas de irrigação variaram de 53,8 a 129,7 mm. A reposição de 75% da ETo apresentou a maior produtividade de massa fresca (24,33 t ha^{-1}), utilizando 23,1% menos água de irrigação em comparação à reposição de 100% da ETo. Por sua vez, a reposição de 50% da ETo proporcionou a maior produtividade da água (19,22 kg m^{-3}), associada à economia de 50,4% da água de irrigação. Os resultados demonstram que estratégias de irrigação com reposições inferiores a 100% da ETo podem aumentar a eficiência do uso da água sem comprometer significativamente o desempenho produtivo da cultura, constituindo alternativa promissora para sistemas de produção mais sustentáveis.
PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L.. Produtividade da água. Manejo da irrigação.

WATER MANAGEMENT STRATEGIES TO OPTIMIZE WATER USE EFFICIENCY IN LETTUCE CULTIVATION

ABSTRACT: Irrigation is one of the main factors determining the success of vegetable production, and improving water use efficiency has become essential under increasing pressure on water resources. This study aimed to evaluate water management strategies to optimize water use efficiency in lettuce cultivation under different levels of reference evapotranspiration (ETo) replacement. The experiment was conducted under field conditions using a randomized complete block design in a 2 × 4 factorial arrangement with three replications, combining plastic mulch with four ETo replacement levels (50, 75, 100, and 125%). In addition to agronomic traits, water productivity and irrigation water savings were determined. Total rainfall during the crop cycle was 56.8 mm, while irrigation depths ranged from 53.8 to 129.7 mm. The 75% ETo replacement treatment achieved the highest fresh

yield (24.33 t ha^{-1}) while using 23.1% less irrigation water than the 100% ETo treatment. In contrast, the 50% ETo replacement resulted in the highest water productivity (19.22 kg m^{-3}), with irrigation water savings of 50.4%. These findings demonstrate that irrigation strategies based on ETo replacements below 100% can improve water use efficiency without substantially reducing lettuce productivity, representing a promising alternative for more sustainable irrigated production systems.
KEYWORDS: *Lactuca sativa* L.. Water productivity. Irrigation management.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água para a agricultura constitui um dos principais desafios para a segurança alimentar mundial diante das mudanças climáticas, do crescimento populacional e da crescente competição entre os diferentes setores usuários dos recursos hídricos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2023), indicam que, embora a irrigação represente uma das estratégias mais eficientes para garantir a estabilidade da produção agrícola, especialmente em regiões sujeitas à irregularidade das precipitações, sua utilização demanda planejamento e manejo adequados para assegurar o uso racional da água e minimizar impactos ambientais.

Na olericultura, a irrigação exerce papel fundamental devido às características fisiológicas das hortaliças, que apresentam sistema radicular superficial, elevada taxa de transpiração e grande sensibilidade às oscilações da disponibilidade hídrica no solo. A alface (*Lactuca sativa* L.), principal hortaliça folhosa consumida no Brasil, destaca-se entre as espécies mais dependentes de um adequado suprimento de água durante todo o ciclo produtivo. Déficits hídricos podem comprometer o crescimento vegetativo, reduzir a expansão foliar e diminuir a produtividade comercial, enquanto o excesso de irrigação favorece perdas de nutrientes, aumento dos custos de produção e desperdício de água (Al-Karaki; Othman, 2023).

Tradicionalmente, o sucesso do manejo da irrigação tem sido avaliado pelo incremento da produtividade das culturas. Entretanto, diante do cenário atual de maior pressão sobre os recursos hídricos, essa abordagem isolada torna-se insuficiente. Nos últimos anos, a eficiência do uso da água (EUA) passou a ser considerada um dos principais indicadores de sustentabilidade dos sistemas irrigados, por relacionar a produção obtida ao volume de água utilizado durante o ciclo da cultura. Essa abordagem permite identificar estratégias capazes de manter níveis satisfatórios de produtividade com menor consumo hídrico, favorecendo sistemas agrícolas mais resilientes e economicamente viáveis (Fereres; Soriano, 2007; Pereira, Cordery e Iacovides, 2012).

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo discutir estratégias de manejo hídrico voltadas à otimização da eficiência do uso da água na cultura da alface, utilizando como base experimental diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, buscando identificar alternativas capazes de reduzir o consumo de água sem comprometer significativamente o desempenho produtivo da cultura.

OBJETIVO

Avaliar a eficiência do uso da água na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, buscando identificar estratégias de manejo hídrico que promovam o uso racional dos recursos hídricos sem comprometer significativamente a produtividade da cultura.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Unidade Passos, localizada no município de Passos, Minas Gerais, durante o período de maio a agosto de 2024. O clima da região é classificado como Cwa, segundo Köppen, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 20,3 °C e precipitação média de aproximadamente 1.620 mm.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela presença e ausência de cobertura plástica do solo (*mulching*) e por quatro níveis de reposição da evapotranspiração de referência (50, 75, 100 e 125% da ETo). As parcelas experimentais foram compostas por canteiros com plantas de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), conduzidas conforme as recomendações técnicas para a cultura. A irrigação foi realizada por sistema de gotejamento, sendo as lâminas determinadas a partir da evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), utilizando dados meteorológicos de uma estação automática, obtidos durante todo o período experimental.

Durante o ciclo da cultura foram avaliadas variáveis agronômicas relacionadas à produtividade. Para este capítulo, foi realizada uma abordagem analítica, direcionada à avaliação da Eficiência do Uso da Água. Para tanto, os resultados de produtividade obtidos nos diferentes tratamentos foram relacionados ao volume total de água aplicado durante o ciclo da cultura, considerando as lâminas de irrigação e a precipitação efetiva registrada no período experimental.

A produtividade da água foi determinada pela relação entre a produtividade comercial da cultura (kg ha^{-1}) e o volume total de água utilizado (m^3 ha^{-1}), sendo expressa em kg m^{-3}. Além da produtividade da água, foi determinado o percentual de economia de água proporcionado por cada estratégia de manejo hídrico, considerando como referência a lâmina correspondente à reposição de 100% da ETo, adotada como manejo convencional. Esse indicador permitiu quantificar a redução no volume de água de irrigação aplicado em cada tratamento (Equação 1).

$$EA(\%) = \left(\frac{L_{100} - L_i}{L_{100}}\right) \times 100$$

em que:

EA = economia de água (%);

L_{100} = lâmina de irrigação na reposição de 100% da evapotranspiração de referência (mm);

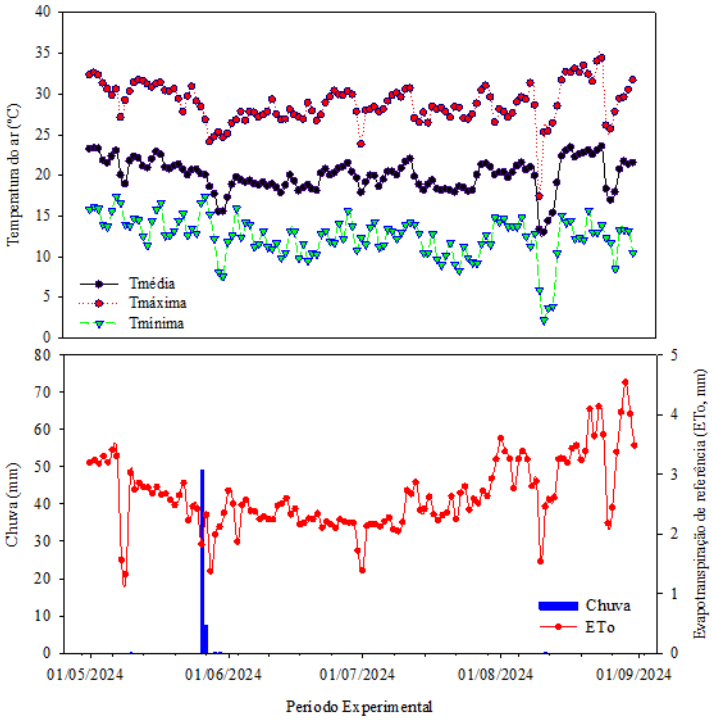
L_i = lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento (mm).

Com base nesses indicadores, foi realizada análise comparativa entre os diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e, quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, conforme procedimento adotado no estudo original.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura, as lâminas de irrigação foram aplicadas diariamente com base na evapotranspiração de referência (ETo), sendo ajustadas em função da ocorrência de precipitações. As condições meteorológicas observadas ao longo do período experimental estão apresentadas na Figura 1. A temperatura do ar variou de 2,2 a 34,4 °C, enquanto a ETo diária oscilou entre 1,32 e 4,50 mm dia^{-1}, indicando demanda evaporativa predominantemente baixa a moderada. O maior evento pluviométrico ocorreu em 26/05/2024, quando foram registrados 49,2 mm de precipitação, seguido por 7,6 mm no outro. No total, a precipitação acumulada foi de 56,8 mm, contribuindo para o suprimento hídrico da cultura e reduzindo a necessidade de irrigação nesse período.

Figura 1: Variação diária dos elementos: temperatura do ar (ºC), Evapotranspiração de referência (mm.dia-1) e Chuva (mm), no período de maio a agosto de 2024, nas condições climáticas de Passos, Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de Queiroz et al., 2025.

As lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos correspondentes a 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência foram de 53,8, 83,4, 108,5 e 129,7 mm, respectivamente. Ao considerar conjuntamente a precipitação e a irrigação, a oferta total de água variou de 110,6 mm, no tratamento com 50% da ETo, a 186,5 mm, na reposição de 125% da ETo (Tabela 1).

Neste trabalho, quanto ao efeito dos tratamentos, não houve interação entre os diferentes ambientes e as lâminas de irrigação. Tomando-se a reposição de 100% da ETo como referência, os tratamentos com 50 e 75% proporcionaram economias de 50,4 e 23,1% na água de irrigação, respectivamente. Em contrapartida, a reposição de 125% da ETo obteve acréscimo de 19,5% no volume irrigado (valores negativos indicam aumento do volume irrigado em relação à reposição de 100% da ETo). Esses resultados monstram que a redução das lâminas possibilitou economia expressiva de água, sobretudo no tratamento correspondente a 50% da ETo (Tabela 1).

Tabela 1: Manejo hídrico, produtividade e eficiência do uso da água na cultura da alface

Reposição da ETo (%)	Irrigação (mm)	Água total (mm)	Economia de água (%)	Peso fresco (t ha^{-1})	Produtividade da água (kg m^{-3})
50	53,8	110,6	50,4	21,26	19,22
75	83,4	140,2	23,1	24,33	17,35
100	108,5	165,3	0,0	21,68	13,12
125	129,7	186,5	−19,5	23,77	12,75

Fonte: elaborada pelos autores, 2026.

A produtividade de massa fresca variou entre 21,26 e 24,33 t ha^{-1}. O maior valor numérico foi observado com a reposição de 75% da ETo, que resultou em produtividade de 24,33 t ha^{-1}. Esse tratamento apresentou produtividade 12,2% superior à obtida com 100% da ETo, apesar de utilizar 23,1% menos água de irrigação. Esse resultado indica que, nas condições avaliadas, a reposição integral da evapotranspiração não foi necessária para alcançar o maior desempenho produtivo da cultura (Tabela 1).

A reposição de 50% da ETo resultou em produtividade de 21,26 t ha^{-1}, valor apenas 1,9% inferior ao observado no tratamento 100% da ETo. Entretanto, esse manejo reduziu em 50,4% o volume de água de irrigação aplicado. Dessa forma, a pequena diferença de produtividade foi acompanhada por uma economia hídrica expressiva, demonstrando o potencial da irrigação deficitária como estratégia de manejo em condições de disponibilidade limitada de água.

A análise da produtividade da água evidenciou comportamento inverso ao aumento da oferta hídrica. O tratamento com 50% da ETo apresentou a maior produtividade da água, de 19,22 kg m^{-3}, seguido pelas reposições de 75, 100 e 125%, com 17,35, 13,12 e 12,75 kg m^{-3}, respectivamente (Tabela 1). Assim, embora a reposição de 50% não tenha proporcionado a maior produção por área, foi a estratégia que apresentou maior conversão da água disponibilizada em massa fresca de alface.

Em comparação com a reposição de 100% da ETo, o tratamento com 50% aumentou a produtividade da água em aproximadamente 46,6%. Já a reposição de 75% proporcionou incremento de 32,3% nesse indicador, além de apresentar a maior produtividade entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). Esses resultados demonstram que a maximização da produção por unidade de área não está necessariamente associada à aplicação das maiores lâminas de irrigação. Esse resultado sugere que, nas condições edafoclimáticas do presente estudo, a reposição integral da demanda evaporativa não foi necessária para maximizar o crescimento vegetativo da alface. Trabalhos recentes têm demonstrado que reduções moderadas na lâmina de irrigação podem manter a produtividade de hortaliças quando o déficit hídrico é controlado e aplicado em períodos de menor sensibilidade fisiológica, aumentando a eficiência do sistema sem comprometer significativamente o rendimento (Al-Karaki; Othman, 2023).

O excesso de água pode manter o solo próximo à saturação por períodos prolongados, reduzir a aeração da zona radicular e favorecer perdas por percolação profunda. Além disso, a aplicação de volumes superiores à necessidade da cultura aumenta o tempo de funcionamento do sistema de irrigação, o consumo energético e os custos operacionais, sem garantia de retorno produtivo equivalente. Entre os manejos avaliados, a reposição de 75% da ETo apresentou o melhor equilíbrio entre produtividade e economia de água. Esse tratamento associou a maior produção de massa fresca, de 24,33 t ha^{-1}, à redução de 23,1% da água de irrigação em relação à reposição de 100% da ETo. Dessa forma, pode ser considerada uma estratégia tecnicamente promissora para condições em que se busca preservar o potencial produtivo da cultura e, simultaneamente, racionalizar o consumo hídrico.

Por outro lado, a reposição de 50% da ETo mostrou-se relevante em cenários de maior restrição hídrica. Embora tenha apresentado produtividade inferior à do tratamento com 75%, proporcionou a maior economia de água e a maior produtividade da água. Assim, a escolha entre as reposições de 50 e 75% deve considerar os objetivos do sistema produtivo, a disponibilidade de recursos hídricos e a prioridade atribuída à produtividade por área ou à eficiência no uso da água à cultura, constituindo um indicador mais abrangente que a análise isolada da produtividade. Pereira, Cordery e Iacovides, (2012) ressaltam que a eficiência do uso da água tornou-se um dos principais indicadores de sustentabilidade da agricultura irrigada, sobretudo em regiões sujeitas à escassez hídrica. Segundo os autores, sistemas que produzem maior quantidade de biomassa por unidade de água apresentam maior resiliência e menor custo operacional.

FAO (2023) destaca que estratégias voltadas ao aumento da produtividade da água são uma das principais ferramentas para garantir a segurança alimentar diante das mudanças climáticas e da crescente competição pelo uso dos recursos hídricos. Os resultados obtidos evidenciam que a definição da lâmina de irrigação deve considerar não apenas o potencial produtivo da cultura, mas também a eficiência do uso da água. Em propriedades familiares, onde a disponibilidade hídrica e os custos frequentemente representam fatores limitantes,

estratégias de irrigação deficitária podem aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental da produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de estratégias de manejo hídrico com reposições inferiores a 100% da ETo pode aumentar a eficiência do uso da água na cultura da alface, sem reduzir expressivamente a produtividade nas condições avaliadas. A reposição de 75% da ETo apresentou o melhor equilíbrio entre produtividade e economia de água, enquanto a reposição de 50% da ETo proporcionou a maior produtividade da água, evidenciando o potencial da irrigação deficitária como estratégia promissora para otimizar o uso dos recursos hídricos. Dessa forma, a utilização de indicadores de eficiência do uso da água mostrou-se uma ferramenta importante para subsidiar o manejo da irrigação, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis e resilientes.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio financeiro do Processo APQ-01937-21, Edital Nº 001/2021 - Demanda Universal.

REFERÊNCIAS

AL-KARAKI, G. N.; OTHMAN, Y. Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 154, p. 225–231, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.034. Acesso em: 30 jul. 2026.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2023: revealing the true cost of food to transform agrifood systems**. Rome: FAO, 2023.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace**. Paris: UNESCO, 2024.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 147–159, 2007.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275–1284, 2009.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable agricultural water management**. Boca Raton: CRC Press, 2012.

QUEIROZ, M. G. de; REIS, J. C. dos; PERCILIANO, Y. A.; ARAUJO, T. H. de; HONÓRIO, I. C. G.; BRITO, R.; FRANCO, A. A. N.; ORMOND, A. T. S.; APPROBATO, A. U. Uso de plasticultura na cultura da alface submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 22, n. 6, e15884, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.54033/cadpedv22n6-277. Acesso em: 25 jul. 2026.

CAPÍTULO 17

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE MORANGUEIROS COM SELÊNIO

Lubia da Silva Teixeira[1].
[1]Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/1610936721869054

RESUMO: A biofortificação agronômica com Se tem se destacado como uma estratégia promissora para aumentar o valor nutricional de alimentos e contribuir para a saúde humana. Neste capítulo, são abordados os principais aspectos fisiológicos da biofortificação de morangueiros com Se, com ênfase nos mecanismos de absorção, transporte e assimilação desse elemento pelas plantas. Discute-se o papel do Se na modulação de processos fisiológicos, como atividade antioxidante, fotossíntese e metabolismo vegetal, destacando seus efeitos benéficos em concentrações adequadas. Além disso, são apresentados os impactos da aplicação de Se sobre o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos de morango. O capítulo também contextualiza a importância do morango como alimento funcional e o potencial da biofortificação para suprir deficiências de micronutrientes na dieta humana. Por fim, são discutidas perspectivas futuras e desafios relacionados ao uso eficiente e seguro do Se na agricultura. Dessa forma, o trabalho contribui para a compreensão integrada dos efeitos do Se em morangueiros e reforça sua relevância como ferramenta para a promoção da segurança alimentar e nutricional.
PALAVRAS-CHAVE: Segurança alimentar. Micronutrientes. Qualidade pós-colheita.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF SELENIUM AGRONOMIC BIOFORTIFICATION IN STRAWBERRIES

ABSTRACT: Agronomic Se-biofortification has emerged as a promising strategy to enhance the nutritional value of food crops and promote human health. This chapter addresses the main physiological aspects of Se biofortification in strawberry plants, emphasizing the mechanisms involved in the uptake, transport, and assimilation of this element by plants. The role of Se in modulating physiological processes, such as antioxidant activity, photosynthesis, and plant metabolism, is discussed, highlighting its beneficial effects at optimal concentrations. Furthermore, the impacts of Se application on the growth, yield, and quality of strawberry fruits are presented. The chapter also contextualizes the importance of strawberries as a functional food and the potential of biofortification to alleviate micronutrient deficiencies in the human diet. Finally, future perspectives and challenges regarding the efficient and safe use of Se in agriculture are discussed. Thus, this work contributes to an integrated understanding of the effects of Se on strawberry plants and reinforces its relevance as a tool to promote food and nutritional security.

KEYWORDS: Food security. Micronutrients. Postharvest quality.

INTRODUÇÃO

A biofortificação agronômica tem se consolidado como uma estratégia promissora e economicamente viável para elevar o teor de micronutrientes em culturas alimentares por meio de intervenções no manejo nutricional das plantas (Bashir et al., 2026). Essa abordagem ganha destaque no contexto atual, em que deficiências de micronutrientes ainda representam um desafio global para a segurança alimentar e nutricional, especialmente em populações cuja dieta é predominantemente baseada em alimentos de origem vegetal (Buturi et al., 2021).

Historicamente, os avanços em biofortificação concentraram-se, sobretudo, em culturas básicas, como cereais e leguminosas, devido ao seu papel central na alimentação mundial e pouca atenção foi dada a outras classes de alimentos, como as frutas. Esse cenário evidencia uma lacuna importante, considerando que frutas apresentam elevada aceitação pelo consumidor e são fontes naturais de vitaminas e compostos antioxidantes que desempenham papel relevante na promoção da saúde humana. Além disso, a matriz alimentar das frutas pode favorecer a biodisponibilidade de micronutrientes, potencializando os benefícios da biofortificação (Bashir et al., 2026).

Nesse contexto, o morangueiro (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) destaca-se como uma cultura de interesse estratégico. Trata-se de uma espécie amplamente cultivada e consumida, com elevado valor agregado e reconhecida qualidade nutricional, sendo rica em compostos fenólicos, vitamina C e outros antioxidantes. Essas características tornam o morango um candidato promissor para programas de biofortificação, especialmente voltados ao enriquecimento com micronutrientes essenciais (Huang et al., 2023).

Dentre esses micronutrientes, o selênio (Se) tem recebido atenção crescente devido à sua importância para a saúde humana e ao seu potencial de incorporação em sistemas agrícolas. A aplicação de Se em culturas agrícolas, quando adequadamente manejada, pode contribuir não apenas para o aumento do teor desse elemento nos alimentos, mas também para melhorias no desempenho fisiológico das plantas (Huang et al., 2023; Mimmo et al., 2017). No caso do morangueiro, sistemas de cultivo intensivo, como hidroponia e cultivo protegido, oferecem condições favoráveis para o controle preciso da nutrição mineral, ampliando as possibilidades de sucesso da biofortificação agronômica (Pourebrahimi et al., 2026).

Dessa forma, a exploração da biofortificação com Se em frutíferas, especialmente no morangueiro, representa uma fronteira relevante de pesquisa. Além de contribuir para a diversificação das estratégias de enriquecimento nutricional de alimentos, essa abordagem pode integrar ganhos agronômicos e nutricionais, reforçando seu potencial para promover sistemas de produção mais eficientes, sustentáveis e alinhados às demandas por alimentos funcionais (Huang et al., 2023; Pourebrahimi et al., 2026).

Este capítulo aborda a biofortificação agronômica do morangueiro Se, destacando

sua relevância para a nutrição humana e para a qualidade dos frutos. Serão apresentados também os fundamentos do Se na dieta, os princípios da biofortificação e as principais estratégias de aplicação desse micronutriente na cultura. Além disso, serão discutidos os efeitos fisiológicos do Se nas plantas e seus impactos na produtividade e qualidade dos frutos.

OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os fundamentos e aplicações da biofortificação agronômica com Se na cultura do morangueiro, abordando sua importância para a nutrição humana e para o desempenho fisiológico das plantas. Busca-se integrar conhecimentos sobre a dinâmica do Se no sistema solo-planta, bem como evidenciar os efeitos do Se na produtividade, na qualidade dos frutos e no enriquecimento nutricional, destacando seu potencial como ferramenta para a produção de alimentos mais saudáveis e sustentáveis.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa básica de abordagem qualitativa, com objetivos exploratórios e descritivos, conduzida por meio de procedimentos de pesquisa bibliográfica. A escolha dessa abordagem justifica-se pela necessidade de reunir, analisar e interpretar criticamente o conhecimento científico já disponível acerca dos aspectos fisiológicos da biofortificação agronômica em morangueiros.

A coleta de dados foi realizada a partir do levantamento de artigos científicos, livros e notas técnicas publicados em bases de dados nacionais e internacionais, tais como Web of Science, Scopus, ScienceDirect, PubMed e Google Scholar. Foram utilizados descritores em português e inglês, incluindo combinações como “biofortificação agronômica”, “morangueiro”, “fisiologia vegetal”, “micronutrientes” e “biofortification in strawberry”. Como critérios de inclusão, priorizaram-se estudos publicados em periódicos indexados, com relevância científica, preferencialmente nos últimos 10 anos, sem excluir trabalhos clássicos pertinentes ao tema.

A análise dos dados foi conduzida por meio de leitura crítica e interpretativa do material selecionado, com posterior organização temática das informações, permitindo a síntese dos principais aspectos fisiológicos envolvidos na biofortificação agronômica, bem como a identificação de lacunas de conhecimento e perspectivas futuras de pesquisa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Importância da cultura do morango

O morango destaca-se como uma cultura de elevado valor agregado no mercado agrícola, além de ser rico em nutrientes minerais (Huang et al., 2023). No Brasil, a cultura apresenta significativa relevância no cenário produtivo, ocupando a 14ª posição global em área cultivada, estimada entre 6,0 e 7,0 mil hectares (Antunes et al., 2025). Ademais,

caracteriza-se por expressivo valor econômico e ampla distribuição produtiva, com valor de produção de 672.290 mil reais e volume de 139.508 toneladas, distribuídos em 12.955 estabelecimentos agropecuários, com destaque para o estado de Minas Gerais como principal produtor nacional (IBGE, 2017). A cultura do morango também possui relevante papel social, sendo frequentemente conduzida em pequenas propriedades e associada à agricultura familiar, contribuindo para geração de renda e emprego no meio rural (Castro et al., 2026).

Do ponto de vista nutricional, o morango é amplamente valorizado devido ao seu elevado teor de macro e micronutrientes, incluindo magnésio, fósforo, potássio, manganês, iodo, cobre e ferro, além de apresentar uma das maiores atividades antioxidantes entre as frutas (Mimmo et al., 2017). Essa composição confere ao fruto propriedades nutracêuticas relevantes, associadas à promoção da saúde e à prevenção de doenças.

O elevado valor nutricional, aliado à crescente conscientização dos consumidores sobre seus benefícios à saúde, tem impulsionado o aumento do consumo per capita de morangos em escala global (Pourebrahimi et al., 2026). Além disso, os morangos podem acumular elementos como o Se, evidenciando seu potencial em estratégias de biofortificação (Pourebrahimi et al., 2026). Essa característica reforça o potencial do morango como cultura estratégica em programas de biofortificação com Se.

Selênio na dieta humana

O Se é um elemento-traço essencial para a nutrição humana e animal, desempenhando funções fundamentais na manutenção da homeostase metabólica e no funcionamento adequado dos organismos vivos. Esse micronutriente participa da composição das selenoproteínas, envolvidas principalmente na defesa antioxidante, no metabolismo da tireoide e na regulação de processos fisiológicos essenciais. Apesar de sua importância biológica, a deficiência de Se constitui um problema nutricional global, afetando aproximadamente 1 bilhão de pessoas em diferentes regiões do mundo (Antoniou et al., 2021).

A baixa ingestão de Se está associada ao comprometimento de diversas funções fisiológicas, uma vez que esse elemento atua diretamente na proteção celular contra danos oxidativos e na modulação da resposta imunológica. Dietas deficientes em Se podem favorecer o desenvolvimento de distúrbios relacionados ao estresse oxidativo, incluindo anemia, alterações na função imunológica, doenças cardiovasculares e aumento do risco de desenvolvimento de determinados tipos de câncer (Pourebrahimi et al., 2026). Além disso, a deficiência desse micronutriente tem sido relacionada a desordens específicas, como epilepsia, doença de Keshan e artropatias, evidenciando sua relevância para a saúde humana (Huang et al., 2023).

Embora o Se seja reconhecido como um nutriente essencial para humanos e animais, sua essencialidade para plantas superiores ainda não foi comprovada, sendo considerado um elemento benéfico para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Mimmo et al., 2017).

Entretanto, a capacidade das plantas de absorver, acumular e disponibilizar Se em seus tecidos torna os alimentos de origem vegetal uma importante fonte desse elemento na dieta humana. Dessa forma, estratégias que aumentem a concentração de Se em culturas agrícolas têm despertado interesse como alternativa para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos e reduzir problemas relacionados à deficiência desse micronutriente (Mimmo et al., 2017; Antoniou et al., 2021).

Apesar dos benefícios associados ao Se, sua faixa entre a concentração adequada e os níveis potencialmente tóxicos é relativamente estreita. Por esse motivo, a ingestão desse elemento deve ser cuidadosamente equilibrada. A Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) recomendam uma ingestão diária de aproximadamente 55 a 200 µg de Se para adultos saudáveis, destacando a importância de uma oferta adequada desse micronutriente na alimentação (Mimmo et al., 2017).

Nesse contexto, os alimentos vegetais representam uma das principais fontes de Se para os seres humanos, especialmente por meio do consumo de frutas, hortaliças e cereais capazes de acumular esse elemento. Entre essas culturas, destaca-se o morangueiro, uma fruta amplamente consumida e com potencial para a biofortificação com Se. Estudos demonstram que os frutos de morango podem acumular concentrações de Se variando de 0 a 12 µg kg^{-1} de massa fresca, evidenciando sua capacidade de contribuir para o aumento da ingestão desse micronutriente pela população (Pourebrahimi et al., 2026).

Biofortificação Agronômica

A biofortificação agronômica consiste no aumento da concentração de elementos minerais de interesse na parte comestível das plantas, como os frutos, por meio da sua incorporação nas práticas de adubação, com o objetivo de promover benefícios à saúde humana (Galić et al., 2021). Trata-se de uma estratégia agrícola eficiente e economicamente viável, capaz de elevar a ingestão de nutrientes essenciais pela população, sendo, portanto, considerada uma área de pesquisa de grande relevância na atualidade (Huang et al., 2023).

No caso do Se, sua adição direta aos alimentos não é uma prática comum, o que torna essencial o aumento do seu teor nos produtos agrícolas por meio de técnicas de biofortificação. Entre os principais métodos utilizados destacam-se o tratamento de sementes (priming), a adubação via solo, a aplicação foliar e a fertirrigação (Loureiro et al., 2018; Pourebrahimi et al., 2026). Cada uma dessas estratégias apresenta particularidades que influenciam sua eficiência, devendo ser selecionadas de acordo com as condições de cultivo, a espécie vegetal e o objetivo da biofortificação.

A adubação via solo, por exemplo, pode apresentar limitações relacionadas à baixa eficiência de aproveitamento dos micronutrientes. Isso ocorre devido à dinâmica desses elementos no solo, que inclui processos como adsorção às partículas minerais e imobilização, reduzindo sua disponibilidade para absorção pelas plantas (Schiavon et al., 2020). Em contrapartida, a aplicação foliar possibilita uma distribuição mais uniforme do

nutriente na superfície das folhas, aumentando o contato com os tecidos e favorecendo sua absorção. Como resultado, essa técnica pode proporcionar respostas mais rápidas e maior eficiência no fornecimento de micronutrientes, especialmente em situações de deficiência nutricional (Niu et al., 2021). Por outro lado, em sistemas hidropônicos, como frequentemente observado no cultivo de morangueiro, a fertirrigação se destaca por permitir um controle rigoroso da composição da solução nutritiva, assegurando a disponibilização contínua do elemento às plantas (Pourebrahimi et al., 2026).

Apesar dos avanços nas estratégias de biofortificação com Se, a produção de alimentos enriquecidos com esse elemento, em níveis adequados e seguros para consumo humano e animal, ainda representa um desafio. Isso se deve, em parte, à estreita faixa entre deficiência e toxicidade desse micronutriente. No entanto, uma vantagem importante da biofortificação agronômica com Se reside no fato de que o selênio inorgânico absorvido pelas plantas pode ser convertido em formas orgânicas, que apresentam maior biodisponibilidade. Dessa forma, essa abordagem tende a ser mais eficiente e segura quando comparada à suplementação direta na dieta (Antoniou et al., 2021).

Benefícios da biofortificação com selênio para a cultura do morangueiro

A nutrição mineral desempenha papel fundamental no crescimento, desenvolvimento e produtividade do morangueiro, influenciando diretamente o rendimento, o tamanho e a qualidade dos frutos. O manejo adequado da adubação é especialmente relevante em sistemas de cultivo mais intensivos, como vasos e hidroponia, nos quais o equilíbrio nutricional é mais sensível e determinante para o desempenho das plantas. Nesse contexto, a biofortificação com Se tem se destacado como uma estratégia promissora, não apenas para o enriquecimento nutricional dos frutos, mas também para a melhoria do desempenho fisiológico das plantas (Pourebrahimi et al., 2026).

No solo, o Se ocorre predominantemente nas formas de selenato (SeO_4^{2-}) e selenito (SeO_3^{2-}), sendo sua disponibilidade influenciada por fatores como pH, potencial redox e teor de matéria orgânica. Em condições oxidantes, o selenato é a forma mais estável e móvel, enquanto o selenito predomina em ambientes mais redutores, apresentando maior adsorção às partículas do solo e, consequentemente, menor disponibilidade para as plantas (Kabata-Pendias, 2011). O Se é absorvido pelas plantas na forma de Se^{2+}, por vias associadas a outros nutrientes. O selenato é absorvido via transportadores de sulfato, enquanto o selenito pode ser absorvido por transportadores de fosfato ou por difusão passiva, dependendo das condições do meio (Lima et al., 2018). Uma vez absorvido, o Se pode ser translocado via xilema e redistribuído na planta, sendo posteriormente assimilado em compostos orgânicos como os aminoácidos selenometionina (SeMet) e selenometilcisteína (MeSeCys), que são transportados via simplasto e acumulados em diferentes tecidos, incluindo os frutos (Pourebrahimi et al., 2026). Estes selenoaminoácidos são essenciais à saúde humana (Rayman, 2012).

Do ponto de vista fisiológico, o Se pode interferir nos processos de transporte iônico,

uma vez que o Se é capaz de alterar a permeabilidade das membranas celulares a cátions, como o Ca^{2+}, influenciando a dinâmica de absorção e redistribuição de nutrientes na planta (Pourebrahimi et al., 2026). Estudos demonstram que a aplicação de Se pode reduzir o acúmulo de Na^{+} nas folhas do morangueiro cultivado em condições de estresse salino, além de estimular a atividade de enzimas antioxidantes, contribuindo para a mitigação de danos oxidativos. Adicionalmente, o Se está associado ao aumento da eficiência fotossintética e do crescimento vegetal, bem como a maiores teores de clorofila e carotenoides, indicando melhoria no aparato fotossintético do morangueiro (Pourebrahimi et al., 2026). A aplicação de Se também promove o aumento da concentração de Se em diferentes órgãos da planta, incluindo folhas, raízes e frutos, evidenciando a eficiência da biofortificação agronômica (Pourebrahimi et al., 2026). Além disso, o Se pode influenciar a absorção e o acúmulo de outros nutrientes minerais, afetando positivamente a composição nutricional e o desenvolvimento das plantas (Huang et al., 2023). Em condições sem estresse, foi observado incremento nos teores de cálcio foliar, elemento essencial para a qualidade e a vida útil pós-colheita dos frutos, bem como elevação no conteúdo de cobre (Pourebrahimi et al., 2026; Huang et al., 2023).

Em termos agronômicos, evidências indicam que o morangueiro possui elevada capacidade de absorver e acumular Se em seus órgãos sem apresentar sintomas de toxicidade ou prejuízos aos parâmetros vegetativos e reprodutivos, mesmo em concentrações consideráveis nos frutos (Pourebrahimi et al., 2026). Além disso, a biofortificação com Se pode promover melhorias na qualidade sensorial dos frutos, com aumento no teor de sólidos solúveis e no índice de doçura, sugerindo efeitos positivos sobre o sabor (Mimmo et al., 2017).

Dessa forma, a biofortificação com Se no morangueiro apresenta benefícios que vão além do enriquecimento nutricional, abrangendo melhorias fisiológicas, aumento da tolerância a estresses abióticos e aprimoramento da qualidade dos frutos, consolidando-se como uma estratégia promissora para sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação agronômica com selênio no morangueiro demonstra elevado potencial como estratégia integrada para melhorar simultaneamente a qualidade nutricional dos frutos e o desempenho fisiológico das plantas. Os resultados discutidos ao longo do capítulo evidenciam que o Se, quando aplicado de forma adequada, é eficientemente absorvido e distribuído nos tecidos vegetais, sendo convertido em formas orgânicas de maior relevância nutricional para o consumo humano. Além disso, sua atuação na modulação de processos fisiológicos, como o transporte de nutrientes, a atividade antioxidante e a eficiência fotossintética, contribui para o crescimento vegetal e para a qualidade pós-colheita dos frutos.

Do ponto de vista agronômico, destaca-se a viabilidade da aplicação de Se em sistemas intensivos de cultivo, como a hidroponia, que permitem maior controle nutricional e

favorecem a eficiência da biofortificação. No entanto, ainda persistem desafios relacionados ao manejo adequado das doses e às estreitas margens entre deficiência e toxicidade desse micronutriente. Dessa forma, conclui-se que a biofortificação com Se no morangueiro representa uma abordagem promissora e estratégica, capaz de contribuir para a produção de alimentos funcionais e para a mitigação de deficiências nutricionais na população, desde que conduzida com base em critérios técnicos e científicos bem estabelecidos.

REFERÊNCIAS

Antoniou, O.; Chrysargyris, A.; Xylia, P.; Tzortzakis, N. Effects of selenium and/or arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on strawberry grown in hydroponic trial. *Agronomy*, v. 11, n. 4, p. 721, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11040721.

Antunes, L. E. C.; Bonow, S.; Schwengber, J. E. Morango: produção em constantes mudanças. Anuário HF 2025. *Campo & Negócios*, p. 88, 2025. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1178882/1/Anuario-HF-MORANGO-2025.pdf. Acesso em: 05 de agosto de 2026.

Bashir, T.; Rashid, R.; Malik, A. R.; Sundouri, A. S.; Bhat, K. M.; Mir, M. A.; Rehman, M. U.; Masood, M.; Tehleelah. Reframing fruit biofortification for sustainable micronutrient security: from crop innovation to nutritional impact. *Frontiers in Plant Science*, v. 17, p. 1853898, 2026. DOI: 10.3389/fpls.2026.1853898.

Buturi, C. V.; Mauro, R. P.; Fogliano, V.; Leonardi, C.; Giuffrida, F. Mineral biofortification of vegetables as a tool to improve human diet. *Foods*, v. 10, n. 2, p. 223, 2021. DOI: 10.3390/foods10020223.

De Castro, B.; Schüller, M.; Ferreira, B. P.; Soares, A. A. B. Caracterização socioeconômica e produtiva do cultivo de morangos por agricultores familiares em Santana do Livramento, RS. Navus - *Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 18, p. 1-18, 2026. DOI: 10.22279/navus.v18.2212.

Galić, L.; Vinković, T.; Ravnjak, B.; Lončarić, Z. Agronomic Biofortification of Significant Cereal Crops with Selenium - A Review. *Agronomy*, v. 11, p. 1015, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11051015.

Huang, S.; Gao, L.; Fu, G.; Du, S.; Wang, Q.; Li, H.; Wan, Y. Interactive effects between zinc and selenium on mineral element accumulation and fruit quality of strawberry. *Agronomy*, v. 13, n. 10, p. 2453, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13102453.

IBGE. *Produção de Morango no Brasil*, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/morango/br. Acesso em: 05 ago. 2026.

Kabata-Pendias, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4. ed. New York: CRC Press, 2011. 520 p.

Lima, L. W.; Pilon-Smits, E. A. H.; Schiavon, M. Mechanisms of selenium hyperaccumulation in plants: A survey of molecular, biochemical and ecological cues. *BBA - General Subjects*, v. 1862, p. 2343-2353, 2018.

Loureiro, M. P.; Cunha, L. R.; Nastaro, B. T.; Pereira, K. Y. S.; Nepomuceno, M. L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 25, p. 66-84, 2018. DOI: 10.20396/san.v25i2.8652300.

Mimmo, T.; Tiziani, R.; Valentinuzzi, F.; Lucini, L.; Nicoletto, C.; Sambo, P.; Scampicchio, M.; Pii, Y.; Cesco, S. Selenium biofortification in *Fragaria* × *ananassa*: Implications on strawberry fruits quality, content of bioactive health beneficial compounds and metabolomic profile. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1887, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.01887.

Niu, J.; Liu, C.; Huang, M.; Liu, K.; Yan, D. Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* v. 21, p. 104-118, 2021. DOI: 10.1007/s42729-020-00346-3.

Pourebrahimi, M.; Eshghi, S.; Shirdel, M.; Gruda, N. S. Interactive effects of selenium and fertigation regimes on strawberry performance and biofortification under salinity stress. *Scientific Reports*, v. 16, n. 1, p. 23348, 2026. DOI: 10.1038/s41598-026-58640-6.

Rayman, M. P.; Blundell-Pound, G.; Pastor-Barriuso, R.; Guallar, E.; Steinbrenner, H.; Stranges, S. A randomized trial of selenium supplementation and risk of type-2 diabetes, as assessed by plasma adiponectin. *PLoS One*, v. 7, p. e45269, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0045269.

Schiavon, M.; Nardi, S.; Dalla Vecchia, F.; Ertani, A. Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. *Plant and Soil*, v. 453, p. 245-270, 2020. DOI: 10.1007/s11104-020-04635-9.

CAPÍTULO 18

USO DE ESTIMULADORES DE ENRAIZAMENTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AMOREIRA PROPAGADAS POR ESTAQUIA

Raimundo Filho Freire de Brito[1].
[1]Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Lagoa da Confusão, TO.
http://lattes.cnpq.br/9793546290573184

RESUMO: A amoreira é uma planta multiuso, com aplicações medicinais na sabedoria popular, função alimentícia como do bicho-da-seda, como fonte de forragem para ovinos e caprinos. O objetivo com este estudo foi verificar se existe diferença no desenvolvimento inicial do sistema radicular da amoreira propagada por estaquia com uso de estimuladores sintéticos e naturais de enraizamento. Os tratamentos foram: T1 (Stimulate ® - cinetina 0,09 g l^{-1} + ácido giberélico 0,05 g l^{-1} + AIB 0,05 g l^{-1}), T2 (AIB 2000 mg kg^{-1}), T3 (Extrato de alga ASCOPH-10® - *Ascophyllum nodosum*), T4 (Água) e T5 (Stimulate ® - cinetina 0,09 g l^{-1} + ácido giberélico 0,05 g l^{-1} + AIB 0,05 g l^{-1} e AIB 2000 mg kg^{-1}). O maior incremento na massa seca de raiz é proporcionado pelos produtos Stimulate® e AIB, aplicados de forma isolada, até os 49 dias após o plantio. O comprimento da raiz é favorecido pelo uso de enraizadores apresentando desempenho superior aos enraizadores de origem natural.
PALAVRAS-CHAVE: Mudas. Fruta. Raiz.

USE OF ROOTING STIMULANTS IN THE PRODUCTION OF MULBERRY SEEDLINGS PROPAGATED BY CUTTINGS

ABSTRACT: The mulberry is a multipurpose plant with medicinal applications in folk medicine, a role in silkworm rearing, and utility as a forage source for sheep and goats. This study aimed to determine whether there are differences in the initial root system development of mulberry plants propagated via cuttings using synthetic and natural rooting stimulants. The treatments were: T1 (Stimulate® – kinetin 0.09 g L^{-1} + gibberellic acid 0.05 g L^{-1} + IBA 0.05 g L^{-1}), T2 (IBA 2000 mg kg^{-1}), T3 (ASCOPH-10® seaweed extract – *Ascophyllum nodosum*), T4 (Water), and T5 (Stimulate® – kinetin 0.09 g L^{-1} + gibberellic acid 0.05 g L^{-1} + IBA 0.05 g L^{-1} combined with IBA 2000 mg kg^{-1}). The greatest increase in root dry mass was achieved with the products Stimulate® and IBA applied individually, up to 49 days after planting. Root length was enhanced by the use of rooting agents, with these products showing superior performance compared to those of natural origin.
KEYWORDS: Seedlings. Fruit. Root.

INTRODUÇÃO

A amoreira *(Morus alba* L.*)* é uma planta multiuso, com aplicações medicinais (De Moura, 2025) na sabedoria popular, função alimentícia como do bicho-da-seda, como

fonte de forragem para ovinos (Okamoto; Cunha; Furlaneto, 2011) e caprinos (Escosteguy; Jantzen, 2024).

A cultura é uma excelente opção aos pequenos agricultores que buscam diversificar sua atividade, e devido a facilidade de manejo, se configura numa opção viável economicamente para aumento da renda, principalmente pela produção de alimento para aves (Euzebio *et al*., 2020).

A propagação da amoreira pode ser realizada pelo método de estaquia em ambiente controlado, sendo as estacas preparadas com quatro a cinco gemas, durante todo o ano (EMBRAPA, 2021).

Na produção de mudas é fundamental controlar variáveis para se obter maior rendimento de produção de estacas enraizadas, como controle de temperatura, umidade, luminosidade e irrigação. Outra prática importante nessa fase é o uso de substância que estimulem o enraizamento das estacas, como reguladores de crescimento sintético e naturais (Costa *et al*., 2025). O AIB é a principal dentre as substâncias mais utilizadas no tratamento de estacas (Lucas *et al*., 2023), tanto de plantas frutíferas quanto de ornamentais para enraizamento, no entanto, é necessário testar substâncias alternativas para promoção de enraizamento em mudas propagadas por estaquia.

OBJETIVO

Objetivou-se verificar se existe diferença no desenvolvimento do sistema radicular em estacas de amoreira propagada por estaquia com uso de estimuladores sintéticos e naturais de enraizamento.

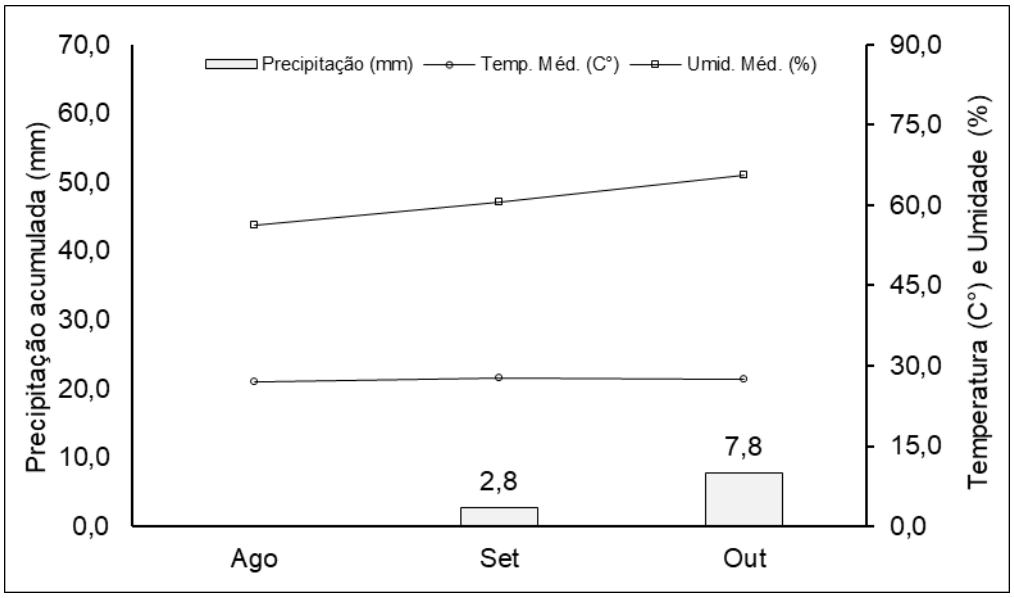
METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, *campus* Lagoa da Confusão. A instalação do ensaio experimental foi realizada em 29/08/2025 e com avaliação em 17/10/2025, 49 dias após o plantio.

O plantio das estacas foi realizado em vaso plástico com volume de 1000 cm^3, preenchidos com uma mistura contendo terra preta, areia lavada e esterco bovino na proporção 4:2:1, respectivamente. As estacas foram padronizadas em comprimento de 15 cm, do tipo semilenhosa, com 2-3 gemas e sem folhas, cortadas em sentido horizontal tanto na base como no ápice, sendo plantadas com a inserção de 1/3 do comprimento no substrato. Os vasos foram posicionados sobre bancada suspensa a 100 cm em relação ao solo e sob tela de sombreamento de 50%. Foi realizada irrigação prévia ao plantio das estacas, em seguida a irrigação foi realizada, manualmente, com aplicação de 100 ml de água diariamente por recipiente, exceto em dias em que ocorreram precipitação pluviométrica. Aos 25 dias após o plantio, foi realizada uma redistribuição espacial dos vasos sob o telado.

Durante o experimento foi registrada a precipitação (mm), temperatura média (C°) e umidade relativa média (%), conforme a figura 1.

Figura 1: Temperatura (°C), umidade (%) e precipitação (mm). 2025.



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Automática de Lagoa da Confusão.

Foram testados 5 tratamentos com 25 repetições, totalizando 125 unidades experimentais em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram: T1 (Stimulate ® - cinetina 0,09 g l^{-1} + ácido giberélico 0,05 g l^{-1} + AIB 0,05 g l^{-1}), T2 (AIB 2000 mg kg^{-1}), T3 (Extrato de alga ASCOPH-10® - *Ascophyllum nodosum*), T4 (Água) e T5 (Stimulate ® - cinetina 0,09 g l^{-1} + ácido giberélico 0,05 g l^{-1} + AIB 0,05 g l^{-1} e AIB 2000 mg kg^{-1}). Para o tratamento T1, foi elaborada uma solução com Stimulate® na diluição de 2,0 ml do produto comercial por 1000 ml de água, sendo a base das estacas até 10 mm do comprimento, imersas por 120 segundos, e plantadas em seguida; no T2, a base das estacas foram imersas, até 10 mm do comprimento, no produto em pó; no T3, a base das estacas, 10 mm, foram imersas em solução elaborada com 2,0 g do produto ASCOPH-10® por 1000 ml de água por 120 segundos; no T4, a base das estacas, 10 mm, foram imersas em água por 120 segundos, e no T5, a base das estacas, 10mm, foram imersas em solução de Stimulate® na diluição de 2,0 ml do produto comercial por 1000 ml de água e na sequência a base da estaca, 10 mm, foi imersa diretamente no produto (AIB) em pó.

As variáveis avaliadas foram: massa seca da raiz (g), obtida pela secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h; e comprimento da raiz (cm), obtido por régua milimetrada, sendo posicionada no local de surgimento da raiz até o maior comprimento das raízes.

O modelo estatístico foi ajustado utilizando *software* SAS®. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

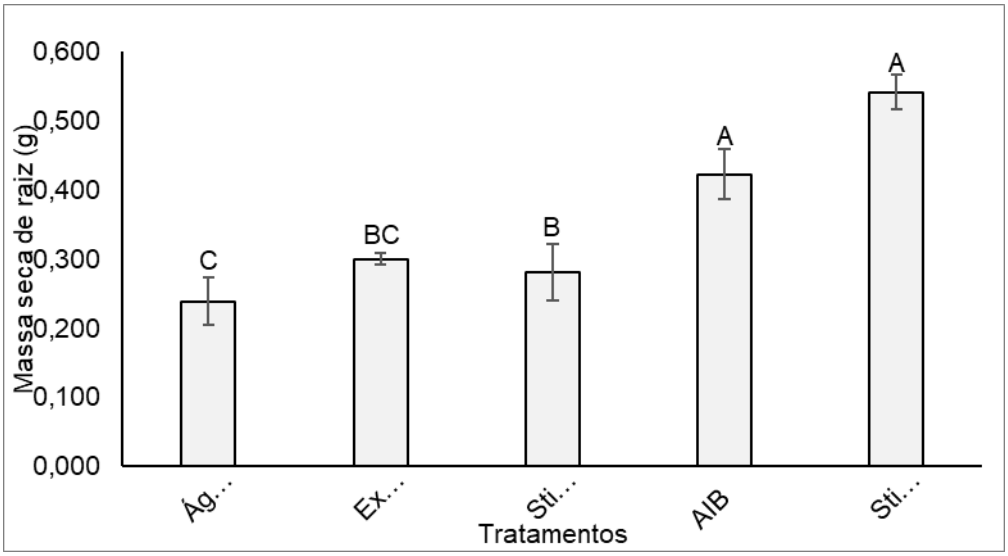
Os resultados obtidos demonstram que a aplicação de reguladores vegetais e bioestimulantes exerce influência direta no desenvolvimento radicular das estacas de

amoreira, com respostas diferenciadas entre o acúmulo de biomassa seca e o comprimento de raiz.

O aumento significativo na massa seca de raiz promovido pelo uso de Stimulate® e AIB isolados (Figura 2) reflete a eficiência desses produtos na indução do enraizamento adventício. O AIB (ácido indolbutírico) é uma auxina sintética que estimula a divisão e a diferenciação celular necessárias para a formação de raízes adventícias primárias e secundárias. Por sua vez, o Stimulate® é um bioestimulante constituído por uma mistura equilibrada de fitohormônios (auxina, citocinina e giberelina), cuja ação conjunta direciona fotoassimilados para os drenos radiculares.

A eficácia desse tipo de bioestimulante no incremento da biomassa e no vigor de estacas caulinares também foi constatada por Silva *et al.* (2022), ao demonstrarem que o equilíbrio hormonal promovido por reguladores exógenos potencializa o acúmulo de matéria seca radicular.

Figura 2: Massa seca de raiz (g) da amoreira em função do uso de enraizadores.



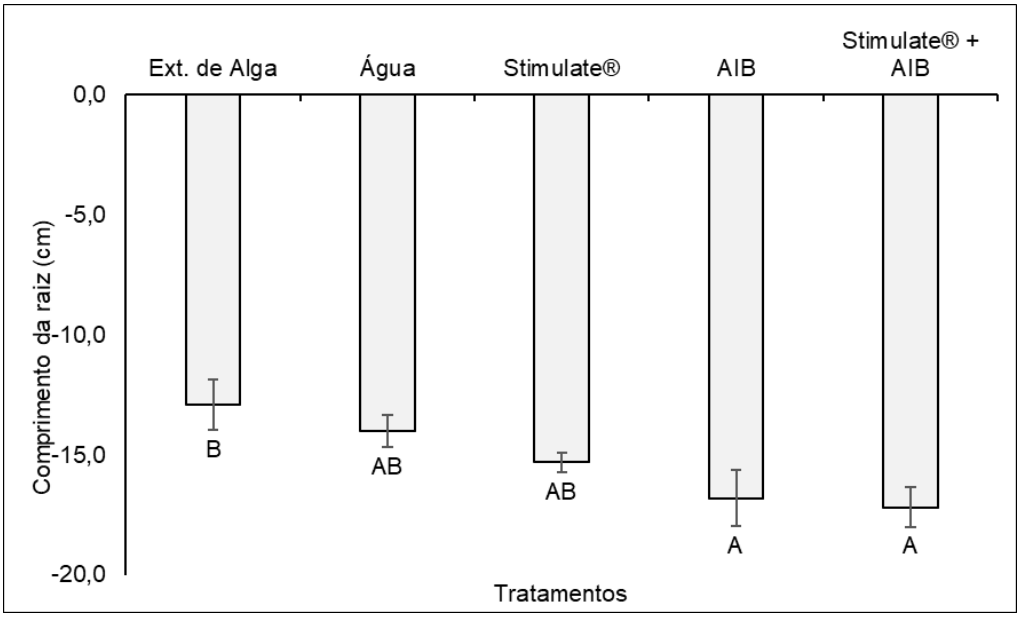
Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Verificando o comprimento radicular (Figura 3), observou-se que os tratamentos contendo AIB isolado e a combinação Stimulate® + AIB destacaram-se significativamente, atingindo as maiores extensões lineares. Esse comportamento reflete o papel clássico da auxina na expansão e elongamento celular. Contudo, o fato de o tratamento combinado (Stimulate®+AIB) ter alcançado elevado comprimento, mas ter apresentado menor acúmulo de massa seca em comparação ao Stimulate® isolado, sugere que concentrações altas ou a combinação excessiva de auxinas podem induzir raízes mais longas, porém mais finas ou com menor ramificação lateral. Esse efeito de inibição no adensamento radicular por excesso hormonal exógeno foi igualmente observado por Santos e Oliveira (2023) em ensaios de propagação vegetativa.

Por outro lado, o tratamento com Extrato de Alga apresentou desempenho inferior ou intermediário em ambas as variáveis. Embora extratos de algas sejam ricos em bioativos,

a resposta vegetal depende da espécie, da concentração e do estágio de sensibilidade do tecido no momento da aplicação.

Figura 3: Comprimento da raiz (g) da amoreira em função do uso de enraizadores.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Em suma, os dados indicam que o Stimulate® isolado é o tratamento mais eficiente para maximizar a biomassa radicular total, enquanto o AIB favorece o crescimento em comprimento. Para a produção comercial de mudas de amoreira, o maior acúmulo de massa seca radicular proporcionado pelo Stimulate® é desejável, pois garante um sistema radicular mais denso e capacitado para a absorção de água e nutrientes após o transplante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maior incremento na massa seca de raiz da amoreira é proporcionado pelos produtos Stimulate® e AIB, aplicados de forma isolada, até os 49 dias após o plantio das estacas. O comprimento da raiz, aos 49 dias após o plantio, é favorecido pelo uso de enraizadores sintéticos (AIB isolado ou em associação com Stimulate®), apresentando desempenho superior aos enraizadores de origem natural.

REFERÊNCIAS

COSTA, E.G.D; BARRETO, C.F; FARIAS, R.M; MARTINS, C.R. **Propagação de amoreira-preta em diferentes substratos e estimuladores de enraizamento**. Revista Brasileira de Desenvolvimento, v. 6, pág. 36654–36662, 2020.

DE MOURA, A. M. A. **Prospecção fitoquímica do extrato hidroalcoólico das folhas de amoreira preta (*Morus Nigra* L.)**. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Piauí. 2025.

EMBRAPA. **Produção de mudas**. In: Amora. 2021.

Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/amora/

pre-producao/producao-de-mudas. Acesso em 17 jul. 2026.
ESCOSTEGUY, A.; JANTZEN, M. M. **Manual da pecuária orgânica: ruminantes**. Normas da Portaria MAPA nº 52/2021. 2024.
EUZEBIO, U.; MOREIRA, A. L. C.; TAKAHASHI, R. **Relevância da amoreira (Morus alba L) para aves, suínos, peixes e equinos: caracterização e composição macromineral das folhas da variedade Miura**. PesquisAgro, v. 3, n. 1, p. 75-93, 2020.
LUCAS S. M.; NEUMEG S. B., BRIDI, S., SANDOVAL P. M. V., & RESENDE FERNANDES, A. **AIB no enraizamento de estacas invertidas de amoreira**. Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal), v. 16, n. 3, 2023.
MILESKI, E. **Aspecto da vegetação e do ecossistema da Ilha do bananal**. Mapa fitoecológico e indicadores da pressão antrópica. Brasília: Secretária de Assuntos Estratégicos, 1994. 104p.
OKAMOTO, F.; CUNHA, E. A.; FURLANETO, F. P. B. **Amoreira como forrageira para alimentação de ruminantes**. Pesquisa & Tecnologia, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2011.
SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, T. P**. Respostas morfofisiológicas de estacas caulinares submetidas a diferentes concentrações de auxina sintética**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 18, n. 2, e1024, 2023.
SILVA, A. L.; SOUZA, M. R.; PEREIRA, F. C**. Uso de bioestimulantes e reguladores de crescimento na propagação vegetativa de espécies frutíferas**. Ciência Rural, v. 52, n. 8, e20210452, 2022.

CAPÍTULO 19

A TÉCNICA DO INSETO ESTÉRIL: PRINCÍPIO, ESCOLHA DA DOSE E O QUE SE PRODUZIU NO BRASIL

Luis Felipe Medeiro Alves[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP/IPEN) e Centro Universitário Internacional (Uninter), São Paulo, SP.
http://lattes.cnpq.br/8154557253212194
Greissi Tente Giraldi[2];
[2]Centro Universitário Internacional (Uninter), Curitiba, PR.
http://lattes.cnpq.br/5917356069351284
Valter Arthur[3].
[3]Universidade de São Paulo (USP/CENA), Piracicaba, SP.
http://lattes.cnpq.br/4352244824716787

RESUMO: A técnica do inseto estéril consiste em criar o inseto-praga em massa, esterilizá-lo por radiação ionizante e liberá-lo em número suficiente para que as cópulas com indivíduos selvagens não deixem descendência. Dias e Garcia (2014) registraram a carência de material em português sobre o assunto, e nos doze anos seguintes mudaram tanto os alvos quanto a tecnologia. Este capítulo reúne o princípio da técnica, os fatores que fixam a dose e o que a pesquisa brasileira produziu. A dose esterilizante compilada para 16 famílias vai de 4 a 400 Gy, uma amplitude de 100 vezes, e depende do estágio irradiado: em *Aedes aegypti* a pupa exige 4 vezes a dose do ovo, e em dois noctuídeos o adulto exige de 4 a 4,7 vezes a dose da pupa. Esterilidade total nem sempre é o ótimo, porque a dose que elimina o último ponto percentual de eclosão custa competitividade ao macho liberado. Raios X substituem o cobalto-60 com eficiência biológica relativa de 1,5 em moscamed. Ensaios de campo recentes reduziram populações-alvo de indicadores de população-alvo de 57 a 93%. As teses brasileiras cobrem moscas-das-frutas, *Aedes* e lepidópteros do algodoeiro; a lacuna está na escala e na organização em área ampla.
PALAVRAS-CHAVE: Controle autocida. Radiossensibilidade. Competitividade sexual.

THE STERILE INSECT TECHNIQUE: PRINCIPLE, DOSE SELECTION AND WHAT HAS BEEN PRODUCED IN BRAZIL

ABSTRACT: The sterile insect technique consists of mass-rearing the insect pest, sterilising it with ionising radiation and releasing it in numbers sufficient for matings with wild individuals to leave no offspring. Dias and Garcia (2014) recorded the shortage of Portuguese-language material on the subject, and over the following twelve years both the targets and the technology changed. This chapter brings together the principle of the technique, the factors that set the dose, and what Brazilian research has produced. Sterilising doses compiled

for 16 families run from 4 to 400 Gy, a 100-fold span, and depend on the stage irradiated: in *Aedes aegypti* the pupa requires 4 times the dose of the egg, and in two noctuids the adult requires 4 to 4.7 times the dose of the pupa. Full sterility is often not the optimum, because the dose that removes the last percentage point of egg hatch costs the released male its competitiveness. X-rays replace cobalt-60 with a relative biological effectiveness of 1.5 in medfly, saving 35.5% of the dose. Recent field trials reduced target populations by target-population indicators by 57 to 93%. Brazilian theses cover fruit flies, *Aedes* and cotton lepidopterans; the gap lies in rearing scale and area-wide organisation.
KEYWORDS: Autocidal control. Radiosensitivity. Mating competitiveness.

INTRODUÇÃO

A técnica do inseto estéril é um controle autocida: o próprio inseto-praga é usado contra si mesmo. Criam-se os insetos em massa, esteriliza-se o lote com radiação ionizante e liberam-se os estéreis em campo, de modo que uma fração crescente das cópulas das fêmeas selvagens não produza descendência. Knipling (1955) formalizou a aritmética da proposta, e a erradicação da mosca-da-bicheira *Cochliomyia hominivorax*, relatada no mesmo ano, mostrou que ela funcionava fora do papel (BUSHLAND; LINDQUIST; KNIPLING, 1955). O primeiro teste de campo com moscas-das-frutas, conduzido no Havaí em 1960, reduziu a população selvagem em 90% ao longo de 13 meses e não a erradicou, porque a área recebia moscas férteis das vizinhanças (DIAS; GARCIA, 2014). A limitação pertence ao método: a técnica age sobre a população inteira de uma região e falha quando aplicada a pomares isolados dentro de uma paisagem infestada.

Dias e Garcia (2014) observaram que faltava material em português de fácil obtenção por técnicos, biólogos e agrônomos. Nos doze anos seguintes a técnica se moveu bastante. Programas contra *Aedes* passaram do laboratório ao campo em vários países, apareceu a variante reforçada, em que o macho estéril também carrega larvicida, a esterilização por raios X deixou de depender do transporte de radioisótopos, e a comparação com a técnica do inseto incompatível, baseada em *Wolbachia*, entrou na pauta de decisão (SALIM et al., 2025). O Brasil tem interesse direto em cada uma dessas frentes: as moscas-das-frutas atacam cerca de 250 hospedeiros e limitam o acesso das frutas brasileiras a mercados que as tratam como pragas quarentenárias (ARAÚJO, 2000); *Aedes aegypti* é problema sanitário permanente; e o algodoeiro e o tomateiro convivem com lepidópteros para os quais o controle químico vem perdendo eficácia.

O que segue reúne o princípio da técnica, os fatores que fixam a dose esterilizante e a produção brasileira sobre o assunto, com atenção ao que ainda não foi feito. A mutagênese induzida para desenvolvimento de cultivares fica de fora, por ter literatura metodológica própria; aqui a mutação aparece apenas como o mecanismo pelo qual a radiação esteriliza e como ferramenta das linhagens de sexagem genética.

OBJETIVO

Reunir em português o princípio da técnica do inseto estéril, os fatores que determinam a dose esterilizante e o que a pesquisa brasileira produziu sobre o tema, identificando as lacunas que separam os resultados de laboratório de um programa em operação.

METODOLOGIA

O estudo tem abordagem qualitativa, natureza básica, objetivos exploratório e descritivo e, quanto aos procedimentos técnicos, caracteriza-se como pesquisa bibliográfica, na forma de revisão narrativa. Foram consultados o capítulo de referência da área (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005), a revisão em português sobre moscas-das-frutas (DIAS; GARCIA, 2014), teses e dissertações do repositório da Universidade de São Paulo e artigos internacionais de 2021 a 2026 sobre dose e sobre ensaios de campo.

Foram retidos os trabalhos que informam a dose absorvida junto com o estágio irradiado, ou que relatam resultado de campo com uma medida explícita de supressão. As doses estão em gray, tal como cada fonte as enuncia, sem recálculo. O Quadro 1 reproduz as faixas compiladas por família; a comparação entre estágios da Figura 1 usa duas fontes brasileiras e, por envolverem espécies, instalações e critérios de esterilidade distintos, vale como comparação de ordem de grandeza e não como medida pareada. Os dados compilados estão disponíveis com os autores mediante solicitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O princípio e o que ele exige

A técnica só se aplica a espécies que satisfaçam um conjunto de condições, escritas junto com o método. O inseto precisa reproduzir-se por cópula, ser criável em dieta artificial a custo viável e procurar a fêmea selvagem em competição com o macho fértil. A esterilização não pode comprometer comportamento nem longevidade, a fêmea deve preferencialmente acasalar uma única vez, e o ciclo da praga deve ter uma fase de população baixa, quando a liberação rende mais. Dos machos estéreis exige-se índice mínimo de compatibilidade sexual de 0,20 com as fêmeas de campo (DIAS; GARCIA, 2014).

Disso decorrem duas consequências operacionais. Como é a razão entre estéreis e selvagens que determina a queda da fertilidade, a liberação tem de cobrir a região toda e ser sustentada por semanas, o que exige biofábrica, logística e barreiras fitossanitárias intermunicipais contra reinfestação. E a técnica rende mais onde há algum isolamento geográfico ou climático, razão pela qual o ensaio havaiano suprimiu sem erradicar.

Por que radiação ionizante, e o que ela faz

A esterilidade útil à técnica vem de mutações letais dominantes nas células germinativas. No macho, o espermatozoide continua capaz de fecundar, mas o zigoto carrega letalidade e não se desenvolve; na fêmea, o resultado é infecundidade. Nem toda esterilidade serve: aspermia e atrofia de testículos esterilizam o inseto e ao mesmo tempo

o incapacitam de competir, o que anula o propósito da liberação (DIAS; GARCIA, 2014).

Os artrópodes toleram doses que matariam um vertebrado, e a razão é estrutural. O crescimento dos imaturos é descontínuo e as células precisam dividir-se apenas uma vez por ciclo de ecdise, de modo que a fração de células em divisão num dado instante é pequena; o adulto, por sua vez, é formado sobretudo por células diferenciadas que não são repostas, e células diferenciadas resistem muito mais à radiação que células em divisão (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005). A escala de dose letal mediana ordena os grupos de acordo: 3 Gy para o ser humano, de 30 a 1.500 Gy para insetos e de 100 a 10.000 Gy para bactérias, protozoários e vírus.

A atmosfera durante a irradiação altera o resultado e é usada deliberadamente. Em hipóxia o dano é menor, porque os radicais formados ao longo do trajeto da radiação podem ser neutralizados por radicais de hidrogênio; na presença de oxigênio formam-se radicais peroxi, que alteram irreversivelmente as moléculas orgânicas, inclusive os cromossomos das células germinativas. Como esse efeito protetor é maior para o dano somático que para a esterilidade, irradiar em atmosfera empobrecida de oxigênio, obtida com nitrogênio ou hélio, melhora a competitividade do macho sem abrir mão da esterilidade (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005). O mesmo balanço entre dano oxidativo e fidelidade de reparo foi tratado quantitativamente para plantas por Alves, Alves e Arthur (2026), e é o que governa a distância entre a dose que esteriliza e a dose que incapacita.

A dose esterilizante, por família

As doses reunidas no Quadro 1 cobrem 16 famílias, 66 gêneros e 131 espécies, e vão de 4 Gy em Acrididae a 400 Gy em Arctiidae, uma amplitude de 100 vezes dentro dos artrópodes. A ordem importa para quem planeja: a média das famílias de Lepidoptera reunidas aqui é de 288 Gy contra 54 Gy nas de Diptera, um fator de 5,3, e é por isso que um programa contra lagartas trabalha em outra faixa de dose, e com outro custo de irradiação, que um programa contra moscas.

Quadro 1: Doses esterilizantes relatadas para famílias de artrópodes de interesse agropecuário ou sanitário, em gray

Família (ordem)	Alvo	Mínima	Média	Máxima	Gêneros / espécies
Acrididae (Orthoptera)	gafanhotos; a mais sensível da tabela	4	4	4	1 / 1
Aphididae (Hemiptera)	pulgões	10	10	10	2 / 2
Muscidae (Diptera)	moscas domésticas e afins	20	26	30	4 / 6
Calliphoridae (Diptera)	varejeiras, inclui a mosca-da-bicheira	20	30	40	3 / 5
Ixodidae (Acari)	carrapatos duros	31	32	33	4 / 7

Família (ordem)	Alvo	Mínima	Média	Máxima	Gêneros / espécies
Tephritidae (Diptera)	moscas-das-frutas	44	63	83	5 / 21
Culicidae (Diptera)	mosquitos, irradiados como adultos	10	54	116	3 / 15
Bruchidae (Coleoptera)	carunchos de grãos armazenados	70	80	90	3 / 5
Curculionidae (Coleoptera)	gorgulhos e bicudos	33	76	119	10 / 12
Glossinidae (Diptera)	moscas tsé-tsé	60	99	120	1 / 7
Tetranychidae (Acari)	ácaros rajados	43	153	273	2 / 4
Gelechiidae (Lepidoptera)	inclui a traça-do-tomateiro	150	200	200	3 / 3
Pyralidae (Lepidoptera)	brocas e traças	131	260	389	11 / 16
Tortricidae (Lepidoptera)	traças de fruteiras	226	278	330	8 / 12
Noctuidae (Lepidoptera)	lagartas de *Heliothis* e *Helicoverpa*	300	300	300	4 / 13
Arctiidae (Lepidoptera)	a mais resistente da tabela	400	400	400	2 / 2

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Bakri, Mehta e Lance (2005), Tabela 3, compilada do IDIDAS (2026).

Duas leituras precisam ser evitadas. A faixa de cada família é uma compilação de experimentos que não compartilham fonte de radiação, taxa de dose, temperatura nem critério de esterilidade, e a própria fonte alerta que os valores orientam a investigação e não especificam operação (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005). E famílias com muitos gêneros escondem variação interna: Tephritidae reúne 21 espécies entre 44 e 83 Gy, média 63 Gy, e Culicidae vai de 10 a 116 Gy, mais de dez vezes, em 15 espécies. A dose de trabalho tem de ser estabelecida na espécie e na linhagem que o programa cria.

Esterilidade total nem sempre é o ótimo

Conforme a dose sobe, a esterilidade aumenta e a qualidade do inseto cai. Quem recebe dose baixa não fica suficientemente estéril; quem recebe dose alta não compete, e um macho que não copula não transfere esterilidade nenhuma à população. O ponto de operação, portanto, é um compromisso, e frequentemente ele não está em 100% de esterilidade: eliminar o último ponto percentual de eclosão de ovos exige doses que reduzem substancialmente a capacidade do macho de competir com o selvagem (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005). A exceção é a exigência quarentenária, que pode impor esterilidade total às fêmeas liberadas.

Há ainda um erro de medida a evitar. Mutações letais se expressam em qualquer fase do desenvolvimento, e avaliar a esterilidade apenas pela eclosão dos ovos, por ser o mais cômodo, subestima o efeito real; o que descreve a esterilidade induzida é a sobrevivência de ovo a adulto (BAKRI; MEHTA; LANCE, 2005). Por isso 99% ou 100% de esterilidade medida no ovo não é uma meta desejável se custar vigor ao inseto liberado.

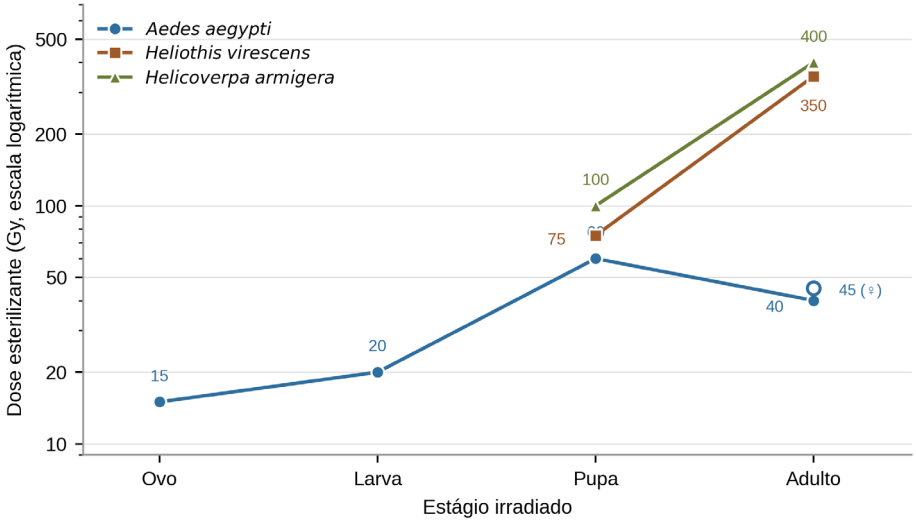
O trabalho de Séré et al. (2026) com *Anopheles coluzzii* mostra o compromisso resolvido com dados. Pupas foram irradiadas de 40 a 120 Gy; a eclosão permaneceu intacta até 50 Gy, caiu significativamente a 60 Gy e foi suprimida por completo a 70 Gy. Os autores adotam 70 Gy porque nessa dose a inseminação e a emergência ficam nos níveis do controle, embora a sobrevivência caia com a dose, e registram que a competitividade em campo ainda precisa ser medida antes de a dose ser levada a um programa.

O estágio irradiado desloca a dose

Além da espécie, o estágio em que se irradia determina a dose esterilizante. Machi (2019) irradiou todas as fases do ciclo de *Aedes aegypti* numa fonte de cobalto-60 do CENA/USP, a 0,356 kGy por hora, e obteve esterilidade com 15 Gy no ovo, 20 Gy na larva e 60 Gy na pupa, com 40 Gy e 45 Gy bastando para machos e fêmeas irradiados como adultos. A pupa exigiu 4 vezes a dose do ovo, e a longevidade dos machos já caiu em pupas e adultos irradiados com 40 Gy.

Nos dois noctuídeos do algodoeiro estudados por Haddad (2017) a dependência aponta para outro lado: a pupa se esteriliza com 75 Gy em *Heliothis virescens* e 100 Gy em *Helicoverpa armigera*, enquanto o adulto exige 350 Gy e 400 Gy, ou seja 4,7 e 4 vezes mais (Figura 1). A prática consagrada em moscamed segue a mesma lógica: irradiar no fim da fase de pupa produz adultos mais vigorosos, e em *Anastrepha fraterculus* a janela de 24 a 48 horas antes da emergência minimiza o dano somático sem perder a indução de letalidade no espermatozoide (DIAS; GARCIA, 2014).

Figura 1: Dose esterilizante conforme o estágio irradiado, em três espécies estudadas no Brasil



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Machi (2019) e Haddad (2017).

Raios X no lugar do cobalto

Depender de fontes de cobalto-60 e césio-137 é um ponto frágil de qualquer programa, porque atrasos no transporte de radioisótopos interrompem a produção. Mastrangelo (2009) validou um irradiador de raios X de baixa energia para moscamed da linhagem tsl VIENNA 8 e para uma linhagem argentina de *Anastrepha fraterculus*, irradiando pupas de 48 a 24 horas antes da emergência, e calculou a eficiência biológica relativa entre as duas radiações.

Os raios X saem na frente na indução de esterilidade. Em machos de moscamed, 82,7 Gy de raios X e 128,2 Gy de raios gama induziram os mesmos 99% de esterilidade, uma eficiência relativa de 1,5 que corresponde a poupar 35,5% da dose; em *A. fraterculus*, 41 Gy de raios X equivaleram a 62,7 Gy de gama para reduzir em 99% a fertilidade das fêmeas cruzadas com os machos tratados. Para fêmeas irradiadas de *A. fraterculus* a relação se inverte, com 99% de esterilidade entre 60 e 80 Gy e eficiência relativa em torno de 0,7. Emergência, capacidade de voo e sobrevivência não diferiram entre as duas radiações e ficaram dentro das especificações da FAO, da AIEA e do USDA, condição para que a substituição seja aceitável.

Sexagem genética: por que só os machos servem

Liberar fêmeas estéreis desperdiça produção e estraga fruta. Nos primeiros ensaios os dois sexos iam a campo, e o macho estéril tinha grande chance de copular com a fêmea estéril liberada junto, em vez da selvagem; a fêmea liberada, além disso, continuava a perfurar o fruto para ovipositar, o que abre porta a fungos e bactérias e deprecia a mercadoria mesmo sem gerar descendência (DIAS; GARCIA, 2014).

A solução veio por genética. Na década de 1980 a Agência Internacional de Energia Atômica desenvolveu uma linhagem de *Ceratitis capitata* cujas pupas fêmeas são brancas, o que permite separá-las antes da emergência; na década seguinte veio a letalidade sensível à temperatura, em que a exposição dos ovos a 34 °C por 24 horas elimina as fêmeas ainda no embrião, e hoje há cerca de 5 linhagens desse tipo em uso (DIAS; GARCIA, 2014). O mecanismo é frágil sob criação massal: as linhagens se apoiam em translocações ligadas ao cromossomo sexual, e a ocorrência de permuta no macho recompõe genótipos recombinantes que destroem a sexagem, tanto mais rápido quanto maior a frequência de permuta. Incluir inversões cromossômicas na linhagem elimina seletivamente os recombinantes e preserva o mecanismo (CÁCERES BARRIOS, 1998).

Os alvos, e o que existe no Brasil

A produção brasileira sobre a técnica se concentra em moscas-das-frutas e vem, em boa medida, de um mesmo grupo de pesquisa (Quadro 2). Ela cobre a esterilização em si, desde o uso de gama com gases inertes (ALMEIDA, 1984), a sexagem genética (CÁCERES BARRIOS, 1998), a modelagem e o planejamento de um programa nacional contra a mosca-do-mediterrâneo (ARAÚJO, 2000), a linha de base populacional que antecede qualquer

liberação (BLUMER, 2001), a troca do cobalto por raios X (MASTRANGELO, 2009) e o comportamento que decide a eficiência da liberação (ANDRADE, 2009). Fora das moscas, há *Aedes aegypti* (MACHI, 2019) e os lepidópteros do algodoeiro (HADDAD, 2017).

Quadro 2: Teses e dissertações brasileiras sobre a técnica do inseto estéril

Trabalho	Alvo	Contribuição	Instituição
Almeida (1984)	Moscamed	Gama com gases inertes	ESALQ/USP
Cáceres Barrios (1998)	Moscamed	Sexagem genética por mutação induzida	CENA/USP
Araújo (2000)	Moscamed	Modelo e etapas de um programa nacional	CENA/USP
Blumer (2001)	Moscas-das-frutas	Linha de base populacional e hospedeiros	CENA/USP
Mastrangelo (2009)	Moscamed e *A. fraterculus*	Raios X no lugar do cobalto-60	CENA/USP
Andrade (2009)	Moscamed	Recópula da fêmea selvagem	ESALQ/USP
Haddad (2017)	*H. virescens* e *H. armigera*	Dose por estágio, algodoeiro	CENA/USP
Machi (2019)	*Aedes aegypti*	Dose por estágio do ciclo	IPEN/USP

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do repositório da Universidade de São Paulo (2026).

O levantamento de Blumer (2001) mostra o tamanho do trabalho preliminar: em pouco mais de um ano de armadilhamento em Piracicaba foram coletados 79.428 exemplares, 51,3% de *Anastrepha* spp. e 48,7% de *C. capitata*, com frutos de 55 espécies vegetais examinados, 35 deles hospedeiros de *Anastrepha*, e o café em cereja como principal hospedeiro da mosca-do-mediterrâneo. Sem esse mapa não há como dimensionar a liberação nem escolher a época.

Nos alvos sanitários e nos de outras culturas, a evidência de campo recente vem de fora e é consistente. Contra *Aedes albopictus*, liberações reforçadas na Grécia reduziram a população adulta em 85 a 93% em relação ao sítio-controle, com razão de 15:1 entre machos estéreis e selvagens (GIATROPOULOS et al., 2025), e um ensaio urbano na Suíça obteve 57% menos ovos e 66% menos fêmeas adultas na área tratada (PARRONDO MONTON et al., 2026). Em *Drosophila suzukii*, liberações ao longo da safra em framboesa comercial reduziram em até 89% as fêmeas selvagens e em até 80% as larvas por fruto colhido, e o refugo de fruta não comercializável caiu 40,3%, 26,8% e 58,4% nas parcelas de início, meio e fim de colheita (HEMER et al., 2025). Esse último conjunto é o que mais se aproxima de um argumento econômico, porque mede perda evitada, além da densidade de praga.

Em lepidópteros a variante usada costuma ser a esterilidade herdada, em que se aplica dose que não esteriliza o macho por completo e a letalidade se expressa na geração seguinte, o que preserva competitividade (WEI et al., 2025). Para a traça-do-tomateiro *Tuta absoluta*, praga também estabelecida no Brasil, Ashouri (2025) irradiou pupas de 100 a 300 Gy e indica 250 Gy para programas de inseto estéril e de esterilidade herdada no Irã: nessa dose as fêmeas ficam completamente estéreis e os machos, semiestéreis, que é a

condição de que a esterilidade herdada depende. O macho só se esteriliza por completo a 300 Gy, acima da faixa do Quadro 1 para a família.

O que limita a técnica

A biologia reprodutiva da praga impõe os limites mais duros. Se a fêmea selvagem recopula após ter sido inseminada por um macho estéril, parte do efeito se perde, e o mesmo vale para a fertilidade residual do macho irradiado: Dumont e Oliva (2024) mostram que os dois fatores juntos deslocam a razão de liberação necessária em *Ceratitis capitata*. A poliandria muda o cálculo pelo mesmo motivo, com efeito favorável ou adverso conforme a fêmea use o esperma estéril ou o fértil (COURTOIS et al., 2026). Andrade (2009) atacou essa questão em moscamed no Brasil.

A resistência, que é o que costuma inutilizar inseticidas, opera de forma diferente aqui. A forma plausível de resistência é a evolução de fêmeas capazes de discriminar e recusar o macho estéril. Bull e Gomulkiewicz (2022) mostram que a seleção favorece essa discriminação, mas que ela em geral é lenta demais para deter o colapso da população quando se libera um número constante de estéreis, porque a vantagem dos machos estéreis em dominar as cópulas cresce à medida que a população selvagem diminui e atinge igualmente as fêmeas discriminantes. O resultado vale para o regime de liberação constante que o modelo supõe.

Há ainda um obstáculo taxonômico específico da região. *Anastrepha fraterculus* comporta-se como um complexo de espécies crípticas, com divergências morfológicas, moleculares e bioquímicas entre populações e isolamento reprodutivo entre parte delas, de modo que uma linhagem criada para uma região pode não ser sexualmente compatível com a população de outra (DIAS; GARCIA, 2014). Um programa brasileiro contra essa espécie precisa verificar compatibilidade população por população antes de escolher a linhagem de criação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica está bem estabelecida no princípio e é exigente na execução. A dose esterilizante varia cem vezes entre famílias de artrópodes, muda por um fator de quatro ou cinco conforme o estágio em que se irradia, e o ponto de operação é um compromisso entre esterilidade e competitividade que raramente coincide com esterilidade total. Atmosfera, taxa de dose e temperatura deslocam esse compromisso, e a troca do cobalto-60 por raios X o desloca a favor. A sexagem genética deixou de ser refinamento e passou a ser condição.

A pesquisa brasileira cobriu esse terreno para moscas-das-frutas e produziu determinações de dose para *Aedes aegypti* e para dois noctuídeos do algodoeiro. Para transformar esse acervo em programa faltam escala de criação, organização em área ampla, barreiras contra reinfestação e, para *Anastrepha fraterculus*, verificação de compatibilidade sexual entre populações. Este capítulo não fornece o custo por hectare de uma cultura agrícola em condições brasileiras, que é o número de que uma decisão de investimento

precisaria, e essa é a lacuna mais concreta a fechar.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. P. de. Uso da radiação gama e gases inertes na esterilização de Ceratitis capitata (Wied., 1824) (Diptera: Tephritidae) com vistas à aplicação da técnica do inseto estéril. 1984. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984. DOI: 10.11606/d.11.1984.tde-20240301-150603.

ALVES, L. F. M.; ALVES, L. S. M.; ARTHUR, V. Redox balance and repair fidelity govern the continuum of radiation effects in plants. Communication in Biomathematical Sciences, v. 9, n. 1, p. 122-136, 2026. DOI: 10.5614/cbms.2026.9.1.8.

ANDRADE, R. de. Influência da recópula de fêmeas selvagens de Ceratitis capitata (Wied., 1824) (Diptera: Tephritidae) na eficiência da técnica do inseto estéril. 2009. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. DOI: 10.11606/d.11.2009.tde-11022009-091301.

ARAÚJO, K. R. P. de. Modelo matemático para simular a aplicação da técnica do inseto estéril e etapas de implementação de um programa de controle da mosca do mediterrâneo no Brasil. 2000. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000. DOI: 10.11606/t.64.2000.tde-20260514-154616.

ASHOURI, S. Optimization of Co60 gamma radiation dose for applying sterile insect technique and inherited sterility on Tuta absoluta (Meyrick). Scientific Reports, v. 16, n. 1, 2474, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-32383-2.

BAKRI, A.; MEHTA, K.; LANCE, D. R. Sterilizing insects with ionizing radiation. In: DYCK, V. A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. S. (org.). Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management. Dordrecht: Springer, 2005. p. 233-268. DOI: 10.1007/1-4020-4051-2_9.

BLUMER, L. Levantamento, flutuação e estimativa populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em área experimental para aplicação da técnica do inseto estéril. 2001. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. DOI: 10.11606/t.64.2001.tde-20260514-154626.

BULL, J. J.; GOMULKIEWICZ, R. The sterile insect technique is protected from evolution of mate discrimination. PeerJ, v. 10, e13301, 2022. DOI: 10.7717/peerj.13301.

BUSHLAND, R. C.; LINDQUIST, A. W.; KNIPLING, E. F. Eradication of screw-worms through release of sterilized males. Science, v. 122, n. 3163, p. 287-288, 1955. DOI: 10.1126/science.122.3163.287.

CÁCERES BARRIOS, C. E. Indução de mutações em Ceratitis capitata (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) e suas possíveis utilizações no melhoramento da eficiência da técnica do inseto estéril. 1998. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998. DOI: 10.11606/t.64.1998.tde-20260514-154513.

COURTOIS, M. A. et al. Polyandry: a threat or an opportunity for the sterile insect technique? PLOS Computational Biology, v. 22, n. 4, e1014212, 2026. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1014212.
DIAS, N. P.; GARCIA, F. R. M. Fundamentos da técnica do inseto estéril (TIE) para o controle de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae). Biológico, São Paulo, v. 76, n. 1, p. 58-62, 2014.
DUMONT, Y.; OLIVA, C. P. On the impact of re-mating and residual fertility on the sterile insect technique efficacy: case study with the medfly, Ceratitis capitata. PLOS Computational Biology, v. 20, n. 5, e1012052, 2024. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1012052.
GIATROPOULOS, A. et al. Suppression of the Asian tiger mosquito (Aedes albopictus) populations using the boosted sterile insect technique in Greece. Scientific Reports, v. 15, n. 1, 38738, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-22454-9.
HADDAD, G. Q. Perspectiva de utilização da técnica do inseto estéril para lagarta da maçã Heliothis virescens (Lepidoptera: Noctuidae) e lagarta do velho mundo Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do algodoeiro como um método alternativo de controle. 2017. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. DOI: 10.11606/t.64.2017.tde-19052017-153520.
HEMER, S. et al. Suppression of spotted wing drosophila, Drosophila suzukii (Matsumura), in raspberry using the sterile insect technique. Insects, v. 16, n. 8, 791, 2025. DOI: 10.3390/insects16080791.
KNIPLING, E. F. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. Journal of Economic Entomology, v. 48, n. 4, p. 459-462, 1955. DOI: 10.1093/jee/48.4.459.
MACHI, A. R. Efeitos da radiação ionizante nas fases do ciclo evolutivo de Aedes aegypti L. visando o seu controle através da técnica do inseto estéril. 2019. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. DOI: 10.11606/t.85.2019.tde-20052019-085251.
MASTRANGELO, T. de A. Esterilização de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) com raios-X para programas de técnica do inseto estéril. 2009. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. DOI: 10.11606/d.64.2009.tde-09102009-161657.
PARRONDO MONTON, D. et al. Assessing the sterile insect technique in small, non-isolated urban areas: a field trial against Aedes albopictus in southern Switzerland. Insects, v. 17, n. 8, 793, 2026. DOI: 10.3390/insects17080793.
SALIM, K. U. et al. Sterile insect technique and incompatible insect technique, emerging alternatives to insecticides for mosquito control. Journal of Integrated Pest Management, v. 16, n. 1, 10, 2025. DOI: 10.1093/jipm/pmaf009.
SÉRÉ, B. V. et al. Optimization of the irradiation dose for Anopheles coluzzii for implementation of the sterile insect technique. Parasites & Vectors, v. 19, n. 1, 261, 2026. DOI: 10.1186/s13071-026-07396-z.

WEI, Z. et al. A review of sterile insect technique in Lepidoptera pest management: advances and applications. Entomologia Generalis, v. 45, n. 5, p. 1241-1258, 2025. DOI: 10.1127/entomologia/3696.

CAPÍTULO 20

AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO DE SEMENTES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI NO ESTADO DA PARAÍBA

Catarina Araújo de Souza[1];
[1]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/3010750008511791
Mairla Maria Alves de Souza[2];
[2]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/5634887511722081
João Pedro Ricarte Azevedo[3];
[3]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/1248530001169529
Thuane Barbosa de Medeiros Franco[4];
[4]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/7383821115610743
Ana Gabriela Alves Batista[5];
[5]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/9352091425943334
Keveny Martins Claudino[6];
[6]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/0060213408102654
Guilherme Félix Dias[7];
[7]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/2828413351166219
Liziane Maria de Lima[8];
[8]Embrapa Algodão (EMBRAPA), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/7350753350522784
Rener Luciano de Souza Ferraz[9].
[9]Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, Paraíba.
http://lattes.cnpq.br/7350753350522784

RESUMO: O feijão-caupi tem grande importância socioeconômica, sendo amplamente cultivado e consumido em todo o Brasil. A caracterização biométrica das sementes é importante para identificar diferenças entre variedades e auxiliar na descrição dos materiais genéticos. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo caracterizar biometricamente as sementes de quatro variedades de feijão-caupi. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual da Paraíba, em Campina Grande-PB, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições de 50 sementes por variedade. Foram avaliados: comprimento, largura, espessura e massa das sementes. Os dados foram submetidos à análise estatística

(ANOVA, Kolmogorov-Smirnov) para caracterização da variabilidade biométrica entre as variedades e distribuição das sementes em classes biométricas. A variedade Pintado apresentou o maior comprimento, enquanto Bola de Coco apresentou os maiores valores de largura, espessura e massa. A variedade Sempre Verde apresentou os menores valores de largura e espessura, enquanto Costela de Vaca apresentou a menor massa. A distribuição das frequências relativas evidenciou predominância de sementes classificadas como médias para a maioria das características avaliadas, embora tenham sido observadas diferenças na distribuição das classes entre as variedades. A caracterização biométrica mostrou-se útil para diferenciar as variedades de feijão-caupi avaliadas, contribuindo para o conhecimento das características físicas desses materiais.
PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*. Caracterização morfológica. Sementes crioulas.

MORPHOMETRIC EVALUATION OF COWPI BEAN VARIETIES IN THE STATE OF PARAIBA

ABSTRACT: Cowpea is of great socioeconomic importance and is widely cultivated and consumed throughout Brazil. Biometric characterization of seeds is important for identifying differences among varieties and assisting in the description of genetic materials. In this context, the study aimed to characterize the seeds of four cowpea varieties biometrically. The experiment was conducted at the State University of Paraíba, in Campina Grande, Paraíba, using a completely randomized design with four replicates of 50 seeds per variety. Seed length, width, thickness, and mass were evaluated. The data were subjected to statistical analysis (ANOVA and Kolmogorov-Smirnov test) to characterize biometric variability among varieties and the distribution of seeds among biometric classes. The ‘Pintado’ variety showed the highest mean length, while “Bola de Coco” showed the highest values for width, thickness, and mass. The “Sempre Verde” variety showed the lowest values for width and thickness, whereas “Costela de Vaca” presented the lowest mass. The relative frequency distribution showed a predominance of seeds classified as medium for most of the evaluated characteristics, although differences in class distribution were observed among the varieties. Biometric characterization proved useful for differentiating the evaluated cowpea varieties, contributing to the understanding of the physical characteristics of these materials.
KEYWORDS: *Vigna unguiculata*. Morphological characterization. Landrace seeds.

INTRODUÇÃO

O Brasil e o México são os maiores produtores de feijão da América Latina, respondendo por cerca de 75,5% da produção de sementes (Sanders, 1980; CONAB, 2024). De acordo com a Embrapa (2011), a maior concentração da produção de feijão encontra-se nas áreas do Norte e Nordeste do país, ocorrendo principalmente nas pequenas propriedades, tanto em monocultivo quanto em sistemas consorciados, utilizando diversos arranjos e promovendo a diversificação da produção.

Os feijões desempenham um papel crucial não só na economia mundial, como também na promoção de dietas saudáveis e nutritivas. A espécie é caracterizada como um alimento de alto valor biológico por apresentar teor expressivo de proteínas e de micronutrientes essenciais, como ferro e zinco. O aumento do consumo pode melhorar a qualidade nutricional da população, uma vez que a combinação de feijões com cereais na proporção adequada pode compensar as deficiências de outros alimentos, como em uma alimentação que não inclui proteína de origem animal, garantindo uma dieta equilibrada e maximizando os benefícios nutricionais de ambos (CIAT, 2021; Carbonell, Chiorato e Berezza, 2021).

Apesar de apresentar grande importância socioeconômica, a produção do feijão enfrenta dificuldades em decorrência das mudanças climáticas atuais e do aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, que influenciam de diferentes maneiras o crescimento e a produção das plantas. Uma das maneiras de analisar o impacto dos fatores ambientais, bem como avaliar a qualidade fisiológica da planta, é por meio das análises morfométricas de sementes e frutos, as quais são essenciais para a caracterização das estruturas botânicas e a propagação das espécies. Além disso, essas análises contribuem para programas de melhoramento e de tecnologia de sementes (Talwar et al., 2022).

OBJETIVO

Diante do exposto, objetivou-se classificar e caracterizar morfometricamente sementes de feijão-caupi para comparação de quatro variedades, visando identificar diferenças fenotípicas relacionadas ao potencial de utilização em sistemas agrícolas sustentáveis.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada durante o mês de junho de 2024 na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizada no município de Campina Grande - PB, nas coordenadas de latitude 7°12’31”S, longitude 35°55’01”W e altitude de 551m.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos, referentes às variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), sendo elas: Bola de Coco, Costela de Vaca, Pintado e Sempre Verde. Para cada variedade foi utilizada uma amostra de 500 g, da qual foram obtidas quatro repetições, compostas por 50 sementes selecionadas aleatoriamente, totalizando 200 sementes por variedade. Sementes danificadas ou com deformações foram descartadas antes das análises.

Foram mensurados o comprimento da semente (CSE, mm), medido no maior eixo longitudinal; largura da semente (LSE, mm), obtida no eixo transversal; espessura da semente (ESP, mm), medida na região mediana da semente; e massa individual (MSE, g). Tais características morfométricas foram avaliadas com a utilização de paquímetro digital (Vernier, Eletronic Digital Caliper) e balança de precisão (Pocket Scale, MH-Series Pocke Scale) (Cardoso-Guimarães et al., 2018).

Os dados obtidos foram submetidos a análises para a classificação das sementes em pequenas, médias e grandes quanto ao comprimento, largura e espessura; e em relação à massa, como leves, médias e pesadas, possibilitando a comparação do padrão biométrico entre variedades e identificação da distribuição das classes morfológicas. As sementes que apresentavam valores equidistantes de pequenas e grandes foram classificadas como médias em todas as variáveis (Ferraz et al., 2018).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. As análises foram realizadas no software Sisvar, versão 5.8 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das sementes crioulas basearam-se em quatro características quantitativas, evidenciando a diversidade dentro da mesma espécie e entre os genótipos. A caracterização biométrica das sementes revelou diferenças entre as variedades de feijão-caupi avaliadas (Tabela 1). Quanto ao comprimento médio, Pintado apresentou o maior resultado (8,81 mm), com amplitude de 8,74 a 8,93 mm. O coeficiente de variação (CV) oscilou entre 0,03% (Bola de Coco) e 2,05% (Costela de Vaca). Para a largura, as médias ficaram entre 6,81 mm (Sempre Verde) e 8,05 mm (Bola de Coco), enquanto o CV variou de 1,84% (Costela de Vaca) a 9,52% (Sempre Verde). De modo geral, os coeficientes de variação apresentaram valores baixos na maioria dos materiais avaliados, indicando reduzida dispersão dos dados.

Para a espessura, Bola de Coco apresentou o maior valor (6,95 mm) e Sempre Verde o menor valor (5,43 mm). Os coeficientes de variação observados para essa característica foram superiores aos encontrados para comprimento e largura, variando entre 6,95 e 5,43 mm, de modo que o CV obtido foi de 27,05 a 7,63%, sugerindo maior heterogeneidade entre as sementes. A respeito da massa, os maiores resultados foram atribuídos ao feijão Bola de Coco (0,30g) e os menores a Costela de Vaca (0,02g), com CV de 3,16 a 0,00% (Tabela 1).

A caracterização das sementes é importante para a avaliação de sua qualidade, uma vez que características biométricas podem fornecer informações relevantes sobre a variabilidade morfológica, além de possibilitar ser utilizadas como indicadores de sucesso da cultura (N'Danikou, Shango e Sigalla, 2022). Estudos comprovam que o tamanho da semente pode influenciar diretamente o desempenho vegetativo do feijão-caupi, bem como na qualidade física e fisiológica (Araújo-Neto et al., 2014; Nunes et al., 2016).

Tabela 1 – Resumo da análise descritiva das características morfométricas das sementes crioulas de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. na Paraíba.

Parâmetros	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)
	Pintado			
Média aritmética amostral	8,81	6,97	6,07	0,22
Variância	0,007	0,27	2,61	0,0001
Desvio Padrão	0,08	0,52	1,61	0,01
Coeficiente de variação (%)	1,00	7,5	26,64	4,44
Máximo	8,93	7,45	8,48	0,24
Mínimo	8,74	6,45	0,05	0,22
Kolmogorov-Smirnov (*p* - valor)	0,88	0,81	0,47	0,31
Classe pequena	≤ 8,67	≤ 6,70	≤ 5,20	≤ 0,22
Classe média	> 8,67 ≤ 10,03	> 6,70 ≤ 7,60	> 5,20 ≤ 6,20	> 0,22 ≤ 0,23
Classe grande	> 10,03	> 7,60	> 6,20	> 0,23
	Costela de Vaca			
Média aritmética amostral	8,76	7,11	5,66	0,02
Variância	0,03	0,01	2,34	0,00
Desvio Padrão	0,17	0,13	1,53	0,00
Coeficiente de variação (%)	2,05	1,84	27,05	0,00
Máximo	8,99	7,3	7,95	0,02
Mínimo	8,58	7,00	4,75	0,02
Kolmogorov-Smirnov (*p* - valor)	0,99	0,82	0,45	0,18333
Classe pequena	≤ 7,60	≤ 6,40	≤ 4,70	≤ 0,2
Classe média	> 7,80 ≤ 9,10	> 6,40 ≤ 7,20	> 4,70 ≤ 5,40	> 0,2 ≤ 0,2
Classe grande	> 9,10	> 7,20	> 5,40	> 0,2
	Sempre Verde			
Média aritmética amostral	8,78	6,81	5,43	0,22
Variância	0,008	0,42	0,41	0,00
Desvio Padrão	0,09	9,52	0,45	0,00
Coeficiente de variação (%)	1,06	9,52	7,63	0,00
Máximo	8,89	7,7	6,00	0,22
Mínimo	8,67	6,2	5,00	0,22
Kolmogorov-Smirnov (*p* - valor)	0,99	0,96	0,83	0,18
Classe pequena	≤ 7,87	≤ 6,10	≤ 4,90	≤ 0,21
Classe média	> 7,87 ≤ 9,33	> 6,10 ≤ 7,10	> 4,90 ≤ 5,70	> 0,21 ≤ 0,22
Classe grande	> 9,33	> 7,10	> 5,70	> 0,22
	Bola de Coco			
Média aritmética amostral	8,65	8,05	6,95	0,3
Variância	0,06	0,04	0,28	0,00009
Desvio Padrão	0,26	0,21	0,53	0,009
Coeficiente de variação (%)	0,03	2,63	7,68	3,16
Máximo	8,92	8,25	7,7	0,31

Mínimo	8,38	7,8	6,45	0,29
Kolmogorov-Smirnov (*p* - valor)	0,91	0,9	0,82	0,84
Classe pequena	≤ 7,97	≤ 7,50	≤ 6,83	≤ 0,29
Classe média	> 7,97 ≤ 9,33	> 7,50 ≤ 8,30	> 6,83 ≤ 7,87	> 0,29 ≤ 0,31
Classe grande	> 9,33	> 8,30	> 7,87	> 0,31

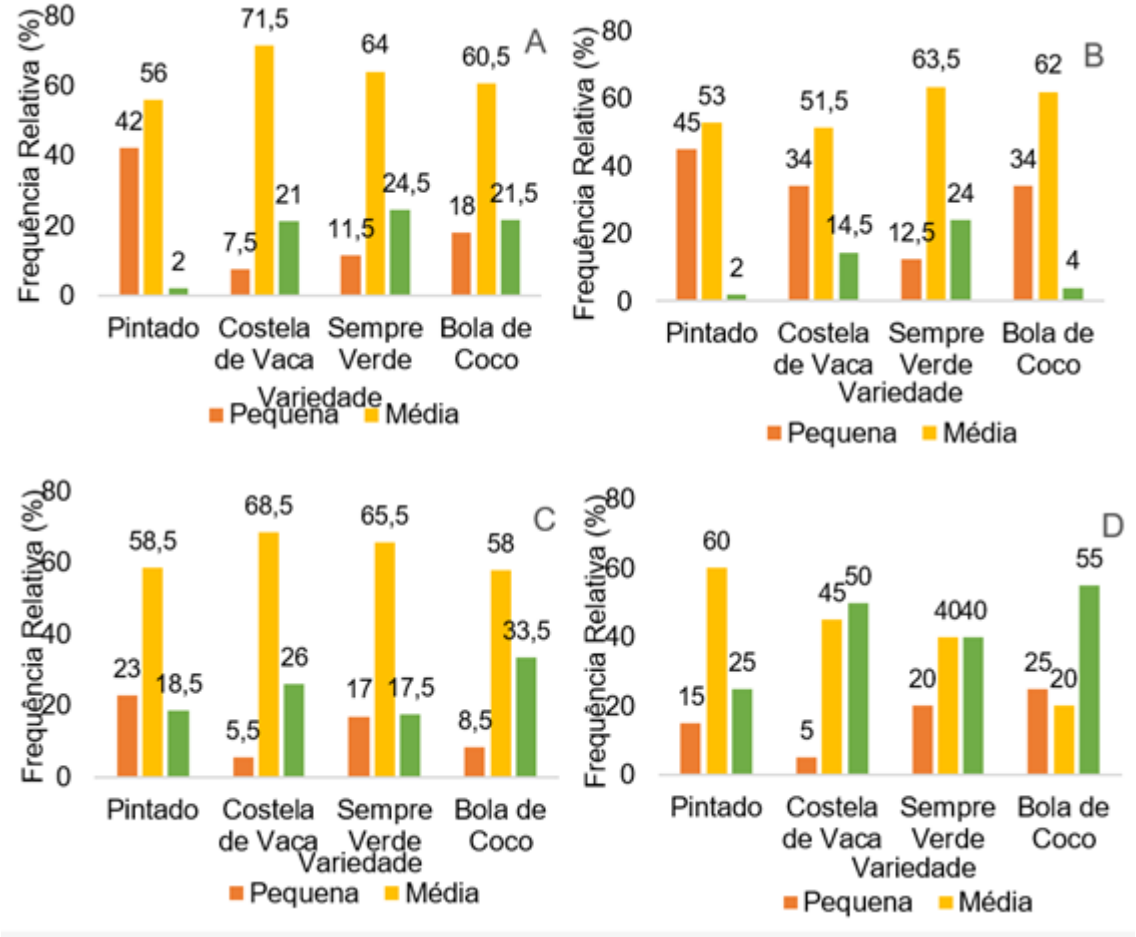
Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

De acordo com Basu e Groot (2023), testes físicos para avaliar o tamanho das sementes podem ser utilizados como parâmetros que definem o vigor, sendo um aspecto importante da qualidade, pois trata-se de uma característica quantitativa responsável pelo desempenho geral, em termos de taxa e uniformidade de germinação, bem como emergência e crescimento das plântulas (Reed; Bradford; Khanday, 2022).

A análise da frequência relativa demonstrou predominância de sementes classificadas na classe média para a maioria das características avaliadas e das variedades estudadas (Figura 1). Para Bola de Coco, comprimento, largura e espessura obtiveram valores próximos a 60%, classificando as sementes como médias, enquanto a massa apresentou predominância de sementes grandes (55%). Em Sempre Verde, observou-se distribuição com maior frequência de sementes médias para todas as características analisadas, com exceção da massa, que apresentou predominância de 40% para sementes médias e grandes.

Para Costela de Vaca, as maiores frequências foram registradas na classe média, destacando-se os valores de comprimento (71,5%) e largura (68,5%). Já a variedade Pintado apresentou valores elevados para comprimento e espessura, classificados como pequenas, correspondendo a 42% e 45%, respectivamente.

Figura 1 Frequência relativa das quatro variedades de feijão-caupi quanto às variedades morfométricas de: (A) Comprimento; (B) Espessura; (C) Largura; (D) Massa.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

A predominância de sementes classificadas como pesadas na variedade Bola de Coco sugere maior acúmulo de matéria seca quando comparada às demais. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), sementes com maiores dimensões e massa frequentemente apresentam maior quantidade de tecidos de reserva. Entretanto, estudos complementares de germinação e vigor seriam necessários para confirmar eventuais reflexos dessas características no desempenho fisiológico das sementes.

Com os gráficos de frequência relativa para cada variedade, foi possível observar que todos os valores tendem à média, assim como Ferraz et al. (2018) demonstraram, todos os valores equidistantes entre pequenos e grandes tendem a ser valores médios. Também foi observado que na variedade Costela de Vaca os dados de massa para sementes pesadas foram maior 5% em relação aos valores de média.

Contudo, a caracterização e a avaliação de genótipos são atividades fundamentais no manejo de recursos genéticos vegetais, levando à descoberta de características relevantes que podem ser utilizadas para a adaptação de culturas. No feijão-caupi, as espécies crioulas permanecem como o principal reservatório de características de interesse, que podem ser utilizadas no melhoramento da cultura devido à sua adaptação a uma ampla gama de ambientes e à resistência a diversas doenças (Dramé et al., 2023). Assim, sua exploração

por meio de estudos morfométricos é essencial para a compreensão do processo de domesticação e demais aplicações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sementes analisadas apresentaram plasticidade fenotípica, com as maiores características morfométricas em Bola de Coco. Evidenciando a necessidade de estudos adicionais para avaliar o potencial de cada variedade e verificar a alternativa mais adequada para seu melhoramento. Assim, compreender a diversidade das culturas é crucial para aprimorar o melhoramento genético, integrá-lo efetivamente aos sistemas agrícolas e garantir a utilização sustentável dos recursos genéticos vegetais. Contudo, a caracterização do germoplasma serve como uma ponte vital entre os esforços de conservação e a aplicação prática de materiais genéticos em programas de melhoramento. Dessa forma, pesquisas que reúnem dados morfométricos ajudam a identificar variedades crioulas com maior eficiência genética, promovendo um cultivo agroecológico e sustentável.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO-NETO, A. C.; NUNES, R. T. C. N.; ROCHA, P. A. da; ÁVILA, J. S.; MORAIS, O. M. Germinação e vigor de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de 56 diferentes tamanhos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 71-75, 2014.

BASU, S.; GROOT, S. P. C. Seed Vigour and Invigoration. In: DADLANI, M.; YADAVA, D. K. (eds.). **Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality**. Open Access. 2023. p. 67-89.

BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A.; RIBEIRO, N. D., FREITAS, S. T. **Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada**. Ciência Rural, v.32, n.6, 2002.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BEZERRA, L. M. C. **A planta e o grão de feijão e as formas de apresentação aos consumidores. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSSI, J. A. F. (ed.)**. Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

CARDOSO-GUIMARÃES, C. A. F.; BRANDÃO, G. H.; COUTO, B. M. M.; COSTA, P. S.; FERRAZ, R. L. S.; MARTINS, V. D.; SILVA, L. P. **Caracterização morfométrica de sementes comerciais de *Moringa oleifera* para cultivo agroecológico**. Anais do VII Encontro Nacional de Moringa, Salvador, 2018. p.1-6.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Common bean improvement**. Cali,

2021. Disponível em: <http//www.ciat.cgiar.org/beans/index.htm>. Acesso em: 18 julho 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 5. ed. Brasília, DF: CONAB, v. 12, 2024.

DRAMÉ, Demba et al. Agro-morphological variability of wild *Vigna* species collected in Senegal. **Agronomy**, v. 13, n. 11, p. 2761, 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) nas regiões Norte e Nordeste do Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916406/recomendacoes-tecnicas-para-o-cultivo-do-feijoeiro-comum-phaseolus-vulgaris-l-nas-regioes-norte-e-nordeste-do-brasil>. Acesso em: 18 julho 2024

FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; COUTO, B. M. M.; OLIVEIRA, H. M. B. de; ANJOS, F. A. dos; DANTAS NETO, J.; NASCIMENTO, R. da C. **Classificação de sementes comerciais de *Moringa oleifera* para cultivo agroecológico.** Anais do VII Encontro Nacional de Moringa, Salvador, 2018. p.1-6.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system for fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system for fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

LEVENE, H. (1960) Robust Tests for Equality of Variances. In: Olkin, I., Ed., Contributions to Probability and Statistics, Stanford University Press, Palo Alto, 278-292.

N'DANIKOU, S.; SHANGO, A. J.; SIGALLA, J. P. Variation of Seed Traits and Initial Quality among Selected Cowpea, Mungbean, and Soybean Accessions. **Seeds**, v. 1, p. 303-314, 2022.

NUNES, R. T. C.; ARAÚJO NETO, A. C.; SOUZA, U. O.; FOGAÇA, J. J. N. L.; MORAIS, O. M. Relação entre o tamanho e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi. **Cultura Agronômica**, v. 25, n. 4, p. 01-11, 2016.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity (Edinb)**, v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022

SALIHI, M. S.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; JUSOH, M. **The impact of carbon dioxide (CO_2) enrichment on rice (*Oryza sativa* L.) production: a review**. Pakistan Journal of Botany, v. 55, n. 3, 2023.

SANDERS, J.H. **Beans**. In: CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, CO. p. 85-98, 1980.

TALWAR, S.; BAMEL, K.; PRABHAVATHI. Impact of Elevated Temperature and Carbon dioxide on Seed Physiology and Yield. **Plant Science Today**, v. 9, sp3, p. 85-91, 2022.

ÁREA TEMÁTICA: ENGENHARIA AGRÍCOLA

CAPÍTULO 21

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS REANÁLISES CLIMÁTICAS NASA POWER E ERA5-LAND NA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS

José Bonifácio Martins Filho[1];
[1]UNESP, Botucatu, São Paulo.
https://lattes.cnpq.br/4819207696239648
Lineu Neiva Rodrigues[2].
[2]EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal.
http://lattes.cnpq.br/6975132145446157

RESUMO: A precipitação é uma variável meteorológica essencial para estudos hidrológicos, agrícolas e ambientais, porém a baixa densidade de estações pluviométricas limita sua representação espacial. Nesse contexto, produtos de reanálise climática constituem uma alternativa para suprir a escassez de dados observados, desde que sua confiabilidade seja previamente avaliada. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho das reanálises climáticas NASA POWER e ERA5-Land na estimativa da precipitação diária no estado de Goiás. Foram utilizados dados de 81 postos pluviométricos referentes ao período de 1988 a 2008, comparando-se as estimativas das reanálises com observações em superfície por meio dos indicadores MBE, MAE, RMSE, índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação (R^2), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e eficiência de Kling-Gupta (KGE). Posteriormente, aplicou-se a correção de viés pelo método Linear Scaling. Os resultados mostraram desempenho moderado para ambas as reanálises, com predominância de subestimativas pelo NASA POWER e de superestimativas pelo ERA5-Land. A correção de viés reduziu os erros médios e promoveu melhorias nos indicadores estatísticos, embora persistissem limitações na representação da variabilidade temporal da precipitação diária. Conclui-se que ambas as reanálises apresentam potencial de aplicação em regiões com escassez de dados observados, desde que submetidas previamente à correção de viés.
PALAVRAS-CHAVE: Precipitação. Reanálise climática. Correção de viés.

PERFORMANCE EVALUATION OF THE NASA POWER AND ERA5-LAND CLIMATE REANALYSES FOR PRECIPITATION ESTIMATION IN THE STATE OF GOIÁS

ABSTRACT: Precipitation is an essential meteorological variable for hydrological, agricultural, and environmental studies; however, the low density of rain gauge networks limits its spatial representation. In this context, climate reanalysis products represent an alternative source of precipitation data, provided that their reliability is properly evaluated. This study aimed to assess the performance of the NASA POWER and ERA5-Land climate reanalyses in estimating daily precipitation in the state of Goiás, Brazil. Daily precipitation data from 81 rain gauge stations covering the period from 1988 to 2008 were compared with

reanalysis estimates using the Mean Bias Error (MBE), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Willmott's Index of Agreement (d), Coefficient of Determination (R^2), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), and Kling–Gupta Efficiency (KGE). Subsequently, bias correction was performed using the Linear Scaling method. The results indicated moderate performance for both reanalyses, with NASA POWER predominantly underestimating precipitation and ERA5-Land tending to overestimate it. Bias correction reduced the mean errors and improved the statistical performance metrics, although limitations in representing the temporal variability of daily precipitation remained. Overall, both reanalysis products are suitable alternative data sources for regions with limited observational records, provided that bias correction is applied beforehand.
KEYWORDS: Precipitation. Climate reanalysis. Bias correction.

INTRODUÇÃO

No contexto do ciclo hidrológico, a precipitação corresponde ao processo pelo qual a água condensada na atmosfera retorna à superfície terrestre, constituindo o principal componente de entrada do balanço hídrico e exercendo forte influência sobre a agricultura, os ambientes urbanos e os ecossistemas (MINUZZI; LOPEZ, 2014). Sua distribuição espacial, temporal e intensidade são fundamentais para estudos relacionados ao cultivo em sistemas agrícolas de sequeiro (ROCHA et al., 2021), à erosividade das chuvas (OLIVEIRA, 2021) e aos riscos de inundações (VESTENA et al., 2020).

Os dados de precipitação são tradicionalmente obtidos por pluviômetros e estações meteorológicas. Entretanto, a baixa densidade das redes de monitoramento limita a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas em grandes áreas (ALTHOFF et al., 2020). Em Goiás, embora existam aproximadamente 400 pontos de monitoramento, essa cobertura ainda é insuficiente para representar adequadamente os fenômenos hidroclimáticos do estado, além de a expansão da rede exigir elevados investimentos (ANA, 2020; TAN et al., 2023).

Nesse contexto, produtos derivados de sensoriamento remoto e reanálises climáticas têm sido amplamente utilizados como alternativa aos dados observados. Desde o lançamento do satélite TIROS I, na década de 1960, avanços tecnológicos em sensores orbitais, radares e sistemas de reanálise ampliaram a disponibilidade e a qualidade das estimativas de precipitação (LIU, 2015). Esses produtos apresentam aplicações consolidadas em estudos hidrológicos e ambientais, especialmente em regiões com escassez de observações meteorológicas (JIANG; WANG, 2019; WORQLUL et al., 2014; LI et al., 2012).

Apesar de seu amplo potencial de aplicação, a precipitação permanece uma das variáveis meteorológicas mais complexas de estimar, e os produtos de reanálise podem apresentar vieses em relação aos dados observados. Assim, a validação dessas estimativas torna-se indispensável para verificar sua confiabilidade e subsidiar aplicações em estudos hidrológicos e agrícolas (HOEKSTRA et al., 2011; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

OBJETIVO

Avaliar a acurácia, a consistência e a capacidade de representação dos dados de precipitação de longo prazo provenientes das reanálises climáticas NASA POWER e ERA5-Land, por meio da comparação com dados observados em superfície, visando verificar sua confiabilidade e potencial de aplicação.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado de Goiás ocupa uma área territorial de aproximadamente 340.242,856 km² (IBGE, 2021) e apresenta cerca de 98% de sua extensão inserida no bioma Cerrado, considerado o principal domínio fitogeográfico da região (RODRIGUES, 2023; BOLFE; SANO, 2020). Sob a perspectiva da classificação climática de Köppen, verifica-se o predomínio do clima tropical de savana, caracterizado por inverno seco (Aw), abrangendo a maior parte do território goiano. Entretanto, em determinadas microrregiões ocorrem variações climáticas, com a presença dos tipos Am (clima tropical de monção), Cwa (clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (clima subtropical de altitude com inverno seco e verão ameno), evidenciando a diversidade das condições climáticas existentes no estado (CARDOSO et al., 2014; NOVAIS, 2020).

Base de Dados de Precipitação Observada

Os dados históricos de precipitação foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/BDMEP) e à Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A seleção das estações e do período de análise seguiu as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2017), considerando: (i) séries históricas com pelo menos 20 anos de dados diários; (ii) percentual de falhas inferior a 10%; (iii) período de operação das estações; e (iv) compatibilidade temporal com os produtos de reanálise avaliados. Após o controle de qualidade das séries, definiu-se como período de referência o intervalo de 1º de janeiro de 1988 a 31 de dezembro de 2008, totalizando 20 anos de dados diários provenientes de 81 postos pluviométricos. As falhas nas séries históricas foram preenchidas pelo método da ponderação regional, utilizando os três postos pluviométricos mais próximos com dados disponíveis (DIAZ et al., 2018).

Reanálise NASA POWER

O conjunto de dados NASA POWER foi desenvolvido para aplicações nos setores agrícola, energético e ambiental (STACKHOUSE et al., 2015). Possui cobertura global, resolução espacial de 1° × 1° e séries históricas disponíveis desde 1981. Neste estudo, foram utilizadas apenas as estimativas de precipitação, obtidas em formato NetCDF e posteriormente convertidas para CSV. Os dados foram compatibilizados com o período das estações pluviométricas de referência, ajustados para o fuso horário UTC−3 e para o

sistema de referência geodésico SIRGAS 2000.

Reanálise ERA5-Land

A reanálise ERA5-Land, desenvolvida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF), fornece estimativas meteorológicas com resolução espacial de 0,1° × 0,1°, resolução temporal horária e séries históricas disponíveis desde 1950 (MUÑOZ SABATER, 2019). Neste estudo, foram utilizadas apenas as estimativas de precipitação, obtidas em formato NetCDF e posteriormente convertidas para CSV. Os dados foram compatibilizados com o período das séries observadas, ajustados para o fuso horário UTC−3 e para o sistema de referência SIRGAS 2000.

Avaliação do Desempenho das Reanálises Climáticas

O desempenho das estimativas diárias de precipitação das reanálises NASA POWER e ERA5-Land foi avaliado por comparação com os dados observados nas estações pluviométricas. Para quantificar a precisão das estimativas, utilizaram-se o Erro Médio de Viés (MBE; Equação 1), Erro Médio Absoluto (MAE; Equação 2) (ABRO et al., 2020), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; Equação 3), Índice de Concordância de Willmott (d; Equação 4), Coeficiente de Determinação (R^2; Equação 5), Eficiência de Nash–Sutcliffe (NSE; Equação 6) (NASH; SUTCLIFFE, 1970) e Eficiência de Kling–Gupta (KGE; Equação 7) (GUPTA et al., 2009).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} (Sim_i - Obs_i)$$

(1)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} |Sim_i - Obs_i|$$

(2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} (Obs_i - Sim_i)^2}$$

(3)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Obs_i - sim_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (|Sim_i - \overline{Obs}| + |Obs_i - \overline{Obs}|}$$

(4)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Obs_i - \overline{Obs_i}) i (Sim_i - \overline{\mathrm{Sim}_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} (Obs_i - Obs_i)^2} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} Sim_i - \overline{Sim_i}\right)^2}}$$

(5)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_{obsi} - O_{simi})^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_{obsi} - Q_{meani})^2}$$

(6)

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$

(7)

Em que

n = número de observações; Obs_i e Sim_i = valores de precipitação estimada com dados observados e oriundos de reanálise no dia i, respectivamente; Ō e = média aritmética da precipitação estimada de dados observados e de dados oriundos de reanálises, respectivamente, r = coeficiente de correlação.

Correção de Viés das Estimativas de Precipitação

A correção de viés das estimativas de precipitação das reanálises foi realizada por meio do método de escalonamento linear, proposto por Lenderink et al. (2007). Esse

método consiste na aplicação de um fator de correção obtido pela razão entre a média da precipitação observada e a média da precipitação estimada pela reanálise, conforme a Equação 8.

$$P_{(c)} = P_{(sim)} \left(\frac{\overline{P_{obs}}}{\overline{P_{sim}}} \right) \quad (8)$$

Em que

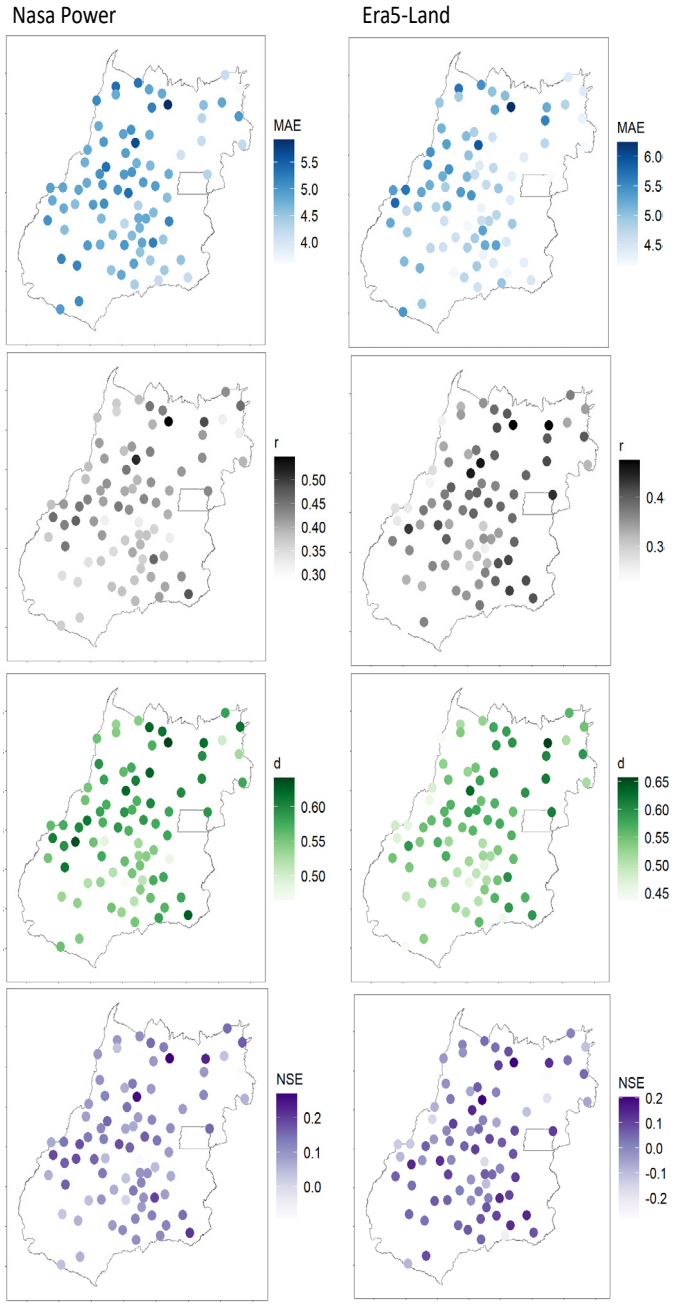
$P_{(c)}$ = Precipitação com correção de correção de viés; $P_{(sim)}$ = Precipitação obtida a partir de dados de reanálises; = média diária da precipitação observada; = média diária da precipitação oriunda de reanálises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do desempenho das estimativas de precipitação diária do NASA POWER e do ERA5-Land, sem correção de viés, são apresentados na Figura 2. Para o NASA POWER, o MAE variou de 3,61 mm (São Domingos) a 5,91 mm (Campinaçu), enquanto o índice de concordância (d) oscilou entre 0,46 (Edeia) e 0,64 (Campinaçu). Em 96% das localidades, os valores de *d* situaram-se entre 0,50 e 0,64, indicando desempenho moderado. Os municípios de Inhumas e Posse apresentaram NSE igual a -0,09, evidenciando que a média dos valores observados foi um preditor mais eficiente da precipitação diária do que as estimativas fornecidas pelo NASA POWER.

Considerando a reanálise ERA5-land constatou-se que o erro médio na estimativa diária de chuva pode variar de 6,2 mm (Campinaçu) a 4,1 mm (Formosa), e foram registrados valores de correlação máximo de 0,47 em Campinaçu e um mínimo de 0,22 em Aporé. É relevante notar que, para 20% dos pontos avaliados, foram registrados valores negativos de NSE (-0,09), indicando que a média dos valores observados é um preditor mais eficaz do que as estimativas provenientes do ERA5-Land.

Figura 2. Desempenho estatístico da precipitação diária estimada pelas reanálises NASA POWER e Era5-Land sem correção de viés.



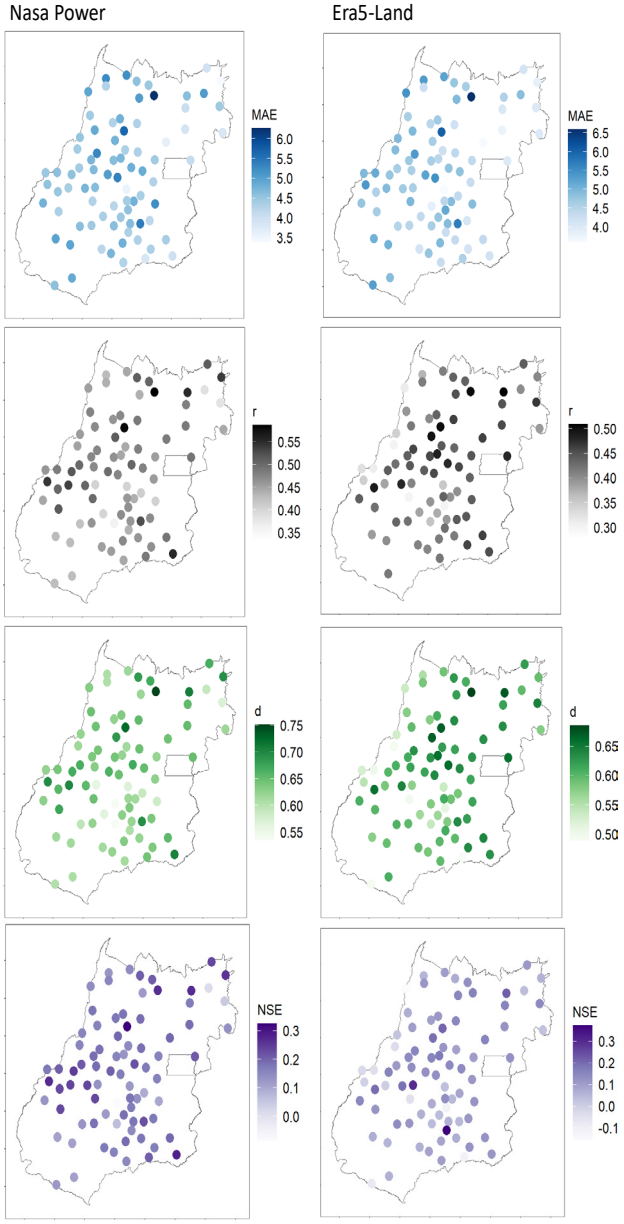
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o NASA POWER, 48% dos pontos apresentaram valores negativos de BIAS, indicando tendência de subestimativa da precipitação observada. Já o ERA5-Land apresentou BIAS positivo em 53% das localidades, evidenciando predominância de superestimativas. Os resultados das estimativas com correção de viés são apresentados na Figura 3. Para o NASA POWER, observou-se redução do MAE na maioria das localidades, como em São Domingos, onde o erro diminuiu de 3,61 para 3,38 mm. O índice de concordância (*d*) apresentou melhora, com valores superiores a 0,50 em todas as localidades, assim

como o coeficiente de correlação, que superou 0,50 em aproximadamente 50% dos pontos avaliados.

Para o ERA5-Land, a correção de viés reduziu o erro médio em 83% das localidades e elevou o índice *d* para valores superiores a 0,50 em todos os pontos. As melhores e piores estimativas foram registradas em Campinaçu (d = 0,70) e Buriti (d = 0,50), respectivamente. Embora também tenha ocorrido melhora na correlação, cerca de 74% das localidades ainda apresentaram coeficientes inferiores a 0,40. A redução dos erros refletiu em maiores valores de NSE para ambas as reanálises, evidenciando ganho na acurácia das estimativas após a correção de viés.

Figura 3. Desempenho estatístico da precipitação diária estimada pelas reanálises NASA POWER e Era5-Land com correção de viés.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao avaliar as estimativas de precipitação em escala diária para o território da Espanha, Cebolla et al., (2023) observaram que as estimativas da reanalise Era5-Land representou adequadamente os padrões espaciais e as tendências temporais da precipitação da área estudada. Entretanto, segundo os autores o pior desempenho da reanalise é obtido durante os meses de verão, com uma superestimação generalizada.

Os dados de precipitação mensal da reanálise ERA5-land foram avaliadas por Longo-Minnolo, et al. (2022) para bacia do rio Simeto na Itália que obtiveram valores de MAE entre 18,26 e 49,32 mm. Os autores concluíram que muitas incertezas da reanalise ERA5-land estão relacionadas as condições microclimáticas especificas da região estudada. E recomendam aplicação de métodos de correção de viés para aumentar a acurácia dos dados estimados.

O desempenho da variação espaço-temporal da precipitação oriunda da reanalise ERA5 foi avaliada por Jiao et al. (2021) para territórios chineses que verificaram bons níveis de acurácia, sendo reportado coeficiente de correlação linear variando entre 0,79 a 0,95, os autores também destacaram que o bom desempenho das estimativas estava diretamente relacionado com a distribuição topográfica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reanálises NASA POWER e ERA5-Land apresentaram desempenho moderado na estimativa da precipitação diária no estado de Goiás, com diferenças de desempenho entre os produtos e variações espaciais nas estimativas. Antes da correção de viés, o NASA POWER apresentou predominância de subestimativas, enquanto o ERA5-Land tendeu a superestimar a precipitação.

A correção de viés por escalonamento linear reduziu os erros médios e melhorou os índices estatísticos de desempenho para a maioria das localidades avaliadas. Entretanto, os coeficientes de correlação permaneceram baixos em parte das estações, principalmente para o ERA5-Land, indicando limitações na representação da variabilidade temporal da precipitação diária.

REFERÊNCIAS

ABRO, M. I. et al. Statistical and qualitative evaluation of multi-sources for hydrological suitability inflood-prone areas of Pakistan. **Journal of Hydrology**, v. 588, n. April, p. 125-117, 2020.

ALTHOFF, D.; DIAS, S. H. B.; FILGUEIRAS, R.; RODRIGUES, L. N. ETo-Brazil: A Daily Gridded Reference Evapotranspiration Data Set for Brazil (2000–2018). **Water Resources Research**, v. 56, n. 7, 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017)**. Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Brasília: ANA, 2020. 63 p.

ANA & IBGE - Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017). Brasília: ANA, 2020. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27410-dependente-das-chuvasagricultura-de-sequeiro-tem-deficit-hidrico-de-37.

BOLFE, E. L.; SANO, S. K. C. **DINÂMICA AGRÍCOLA NO CERRADO**: Análises e Projeções. 1a edição ed. Brasília, DF: 2020.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica,** v.8, n.16, p.40-55, 2014.

CEBOLLA, J.; RATTAYOVA, V.; SALAZAR-GALÁN, S.; FRANCÉS, F. Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). **Atmospheric Research**, v. 284, n. 10, p. 1-18, 2023

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para o preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 14, p. 324 - 339, 2018.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. Manual de avaliação da pegada hídrica: estabelecendo o padrão global. Londres: Earthscan, 2011.

GUPTA, H. V. et al. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p.80–91, 2009.

JIANG, D.; WANG, K. The role of satellite-based remote sensing in improving simulated streamflow: A review. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 8, p. 10–14, 2019.

JIAO, D., XU, N., YANG, F.; XU, K. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. **Scientific Reports,** v.11, n.17956, p1-13, 2021.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; INZUNZAIBARRA, M. A. & MARCIAL-PABLO, M. J. Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. **Ingeniería Agrícola y Biosistemas**, v. 13, n. 2, 201-226, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050

LENDERINK, G., BUISHAND, A., VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. Hydrol. **Earth Syst. Sci.,** v.11, n. 3, p. 1145–1159, 2007.

LI, X. H. et al. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. **Journal of Hydrology**, v. 426–427, p. 28–38, 2012.

LIU, Z. Comparison of precipitation estimates between version 7 3-hourly TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) near-real-time and research products. **Atmospheric Research**, v. 53. 2015.

LONGO-MINNOLO, G.; VANELLA, D.; CONSOLI, S.; PAPPALARDO, S.; RAMÍREZ-CUESTA, J. M. Assessing the use of ERA5-Land reanalysis and spatial interpolation

methods for retrieving precipitation estimates at basin scale, **Atmospheric Research**, v. 271, n.106131, p. 1-13, 2022.
MINUZZI, R.B.; LOPEZ, F.Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Biosci. J**., v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.
MUÑOZ SABATER, J. **ERA5-Land hourly data from 1981 to present.** Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS) . 2019.
NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282–290, 1970.
NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 1–29, 2020.
OLIVEIRA, J. A. M. Erosividade da chuva no município de Juramento-MG no período de 1987 a 2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.14, n.04, p. 1852-1860, 2021.
ROCHA, T. B. C. et al. Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 579 589, 2021.
STACKHOUSE JR, P. W.; WESTBERG, D. W.; CHANDLER, W. S.; ZHANG, T.; HOELL, J. M. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Agroclimatology methodology, version 1.1.0. Hampton, VA: NASA Langley Research Center, 2015. 72 p. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20130013357/downloads/20130013357.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.
VESTENA, L. R.; ALMEIDA, D. E. F.; GEFFER, E. Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.5, p.24923-24941, 2020.
WMO - World Meteorological Organization - **Guidelines on the Calculation of Climate Normals**. Switzerland, Geneva, 2017.
WORQLUL, A. W. et al. Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEG and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia. Hydrology and Earth System Sciences, Göttingen, v. 18, n. 12, p. 4871, 2014.

CAPÍTULO 22

DINÂMICA FUTURA DA ÁGUA VERDE E AZUL NO CULTIVO DE SOJA EM GOIÁS SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

José Bonifácio Martins Filho[1];
[1]UNESP, Botucatu, São Paulo.
https://lattes.cnpq.br/4819207696239648
Lineu Neiva Rodrigues[2].
[2]EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal.
http://lattes.cnpq.br/6975132145446157

RESUMO: Este estudo avaliou a dinâmica futura da água verde e da água azul no cultivo da soja em Goiás sob os cenários climáticos SSP2-4.5 e SSP5-8.5, para os períodos de 2040–2070 e 2070–2099. A demanda hídrica foi estimada com dados da Plataforma PROJETA (CPTEC/INPE), utilizando evapotranspiração de referência e precipitação do modelo HadGEM2-ES. As simulações contemplaram os 20 principais municípios produtores de soja do estado. Os resultados indicaram aumento da frequência de anos secos, intensificação dos extremos de precipitação e redução da contribuição da água verde, especialmente no cenário SSP5-8.5. Em consequência, observou-se maior participação da água azul na demanda hídrica da cultura, evidenciando maior dependência da irrigação. Os resultados reforçam a necessidade de estratégias de adaptação para o uso eficiente dos recursos hídricos e para a sustentabilidade da produção de soja em cenários futuros.
PALAVRAS-CHAVE: Água verde. Irrigação. Mudanças climáticas.

FUTURE DYNAMICS OF GREEN AND BLUE WATER IN SOYBEAN CULTIVATION IN GOIÁS UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS

ABSTRACT: This study evaluated the future dynamics of green and blue water in soybean cultivation in Goiás, Brazil, under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate scenarios for the periods 2040–2070 and 2070–2099. Crop water demand was estimated using data from the PROJETA Platform (CPTEC/INPE), based on reference evapotranspiration and precipitation simulated by the HadGEM2-ES model. Simulations were conducted for the 20 leading soybean-producing municipalities in the state. The results indicated an increase in the frequency of dry years, intensification of precipitation extremes, and a reduction in the contribution of green water, particularly under the SSP5-8.5 scenario. Consequently, the contribution of blue water to crop water demand increased, indicating a greater dependence on irrigation. These findings highlight the need for adaptation strategies to promote efficient water resource management and ensure the sustainability of soybean production under future climate conditions.
KEYWORDS: Green water. Irrigation. Climate change.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o conceito de água verde e água azul foi proposto por Falkenmark (1995), durante a Conferência da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), sendo posteriormente ampliado e aplicado em diferentes áreas do conhecimento.

Na agricultura, a água verde corresponde à água da precipitação armazenada em solos não saturados e disponível para absorção pelas plantas, enquanto a água azul refere-se à água armazenada em rios, lagos e reservatórios, captada para irrigação (HOEKSTRA et al., 2011).

A quantificação desses componentes é essencial para o planejamento do uso dos recursos hídricos, permitindo identificar regiões com menor necessidade de irrigação e subsidiar estratégias para a agricultura de sequeiro (RODRIGUES et al., 2023). Diversos modelos têm sido empregados para estimar água verde e azul em diferentes escalas espaciais e temporais. Zhao et al. (2016), por exemplo, utilizaram o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para avaliar os efeitos das mudanças no uso da terra sobre a disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Weihe, China, enquanto Surendran et al. (2015) aplicaram o FAO-CROPWAT para estimar o requerimento de água verde e azul em cultivos anuais no distrito de Palakkad, Índia.

Cerca de 80% da água utilizada na agricultura corresponde à água verde (CHIARELLI et al., 2020). Entretanto, em regiões tropicais, como o Cerrado, sua disponibilidade é limitada pela sazonalidade das chuvas, tornando a irrigação indispensável para garantir a segurança hídrica e alimentar.

No contexto das mudanças climáticas, projeta-se o aumento da frequência de eventos extremos, com impactos significativos sobre os sistemas agrícolas. Nesse cenário, torna-se fundamental avaliar projeções climáticas futuras para subsidiar estratégias de adaptação (MICHALAK, 2019). Como as previsões de longo prazo envolvem incertezas inerentes à complexidade do sistema climático, utilizam-se cenários projetados por modelos climáticos (ALMAGRO et al., 2020). Entre eles, destacam-se os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs), que representam diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2021). Dentre os modelos disponíveis, o HadGEM2-ES destaca-se por sua ampla aplicação em estudos agrícolas (SRIVASTAVA et al., 2018).

OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações projetadas na disponibilidade de água verde e água azul para o cultivo da soja no estado de Goiás, considerando diferentes cenários climáticos futuros e suas implicações para o manejo dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado de Goiás possui área de 340.242,856 km² (IBGE, 2021), com cerca de 98%

do território inserido no bioma Cerrado (RODRIGUES, 2023). Predomina o clima tropical com inverno seco (Aw), embora ocorram áreas classificadas como Am, Cwa e Cwb em algumas microrregiões (CARDOSO et al., 2014; NOVAIS, 2020).

Base de dados e estimativa da demanda hídrica futura da soja

As informações meteorológicas históricas empregadas neste estudo foram provenientes das bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/BDMEP) (https://bdmep.inmet.gov.br/) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio da plataforma HidroWeb (https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/mapa).

A demanda hídrica futura da soja foi estimada com dados climatológicos diários da Plataforma PROJETA (CPTEC/INPE) (https://projeta.cptec.inpe.br/)., para os períodos de 2040–2070 e 2070–2099. Foram utilizados os dados de evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith, e precipitação do modelo HadGEM2-ES, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Os dados foram corrigidos por mapeamento quantil empírico, método que ajusta as distribuições de probabilidade das variáveis simuladas às observadas, reduzindo os vieses do modelo climático (CHOU et al., 2014a; CHOU et al., 2014b)

O SSP2-4.5 foi projetado para representar um cenário intermediário, no qual as emissões de gases de efeito estufa seguem uma dinâmica de estabilização, resultando em um forçamento radiativo de aproximadamente 4,5 W/m² até 2100. Esse cenário projeta uma elevação da temperatura global em torno de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, com variações estimadas limitadas a 2°C. Embora apresente riscos climáticos menos severos comparado a outros cenários, o SSP2-4.5 ainda implica mudanças climáticas significativas, incluindo eventos climáticos extremos e impactos na segurança alimentar (IPCC, 2021).

O cenário SSP5-8.5 reproduz condições caracterizadas pelo crescimento contínuo das emissões de gases de efeito estufa ao longo do século XXI, levando a um forçamento radiativo superior a 8,5 W/m² até 2100 e a um aquecimento global médio de 3,6°C acima dos níveis pré-industriais, com variações entre 2,8°C e 4,6°C. Esse cenário está altamente relacionado a impactos climáticos, incluindo eventos extremos mais frequentes e intensos, elevação acelerada do nível do mar, perda significativa da biodiversidade e riscos graves para a segurança alimentar e hídrica, além de desafios socioeconômicos decorrentes da degradação ambiental (IPCC, 2021).

A estimativa do requerimento hídrico (verde e azul) da soja foi realizada para os 10 principais municípios produtores de Goiás (Caiapônia, Niquelândia, Acreúna, Goiatuba, Santa Helena de Goiás, Padre Bernardo, Bom Jesus de Goiás, Luziânia, Piracanjuba, Campo Alegre de Goiás, Silvânia, Chapadão do Céu, Mineiros, Ipameri, Catalão, Montividiu, Paraúna, Cristalina, Jataí e Rio Verde). As simulações abrangeram o período de 1988 a 2022, utilizando dados do NASA Power corrigidos quanto ao viés e datas de semeadura em 15 de outubro e 10 de novembro, conforme o Calendário de Plantio e Colheita de Grãos da CONAB e as normas sanitárias vigentes do MAPA.

Índices de extremo de precipitação

Para avaliar o impacto das mudanças climáticas na variação da demanda hidrica total (DHT) e nas suas contribuições verde e azul, foram utilizados os índices de extremo de precipitação: CDD = Número máximo, durante o ciclo da cultura, de dias consecutivos com menos de 1mm; CWD= Número máximo, durante o ciclo da cultura, de dias consecutivos com mais de 1mm; R25mm= Número de dias durante o ciclo da cultura com mais de 25mm/dia; R50 = Número de dias, durante o ciclo da cultura, com mais de 50mm/dia; Rx1day = Precipitação máxima diária durante o ciclo da durante o ciclo da cultura; Rx1day = Precipitação máxima durante cinco dias consecutivos durante o ciclo da cultura.

Índice de anomalias de chuva

Para mensurar a ocorrência de evento extremos de chuva ou de seca, foi utilizado o índice de anomalias de chuva (IAC), com metodologia desenvolvido por Rooy (1965) para classificar as magnitudes de anomalias de precipitação positivas (equação 01) e negativas (equação 02):

$$IAC\ positivo = 3\left[\frac{(P-P1)}{(Pmaxh-P1)}\right] \quad (01)$$

$$IAC\ negativo = -3\left[\frac{(P-P1)}{(Pminh-P1)}\right] \quad (02)$$

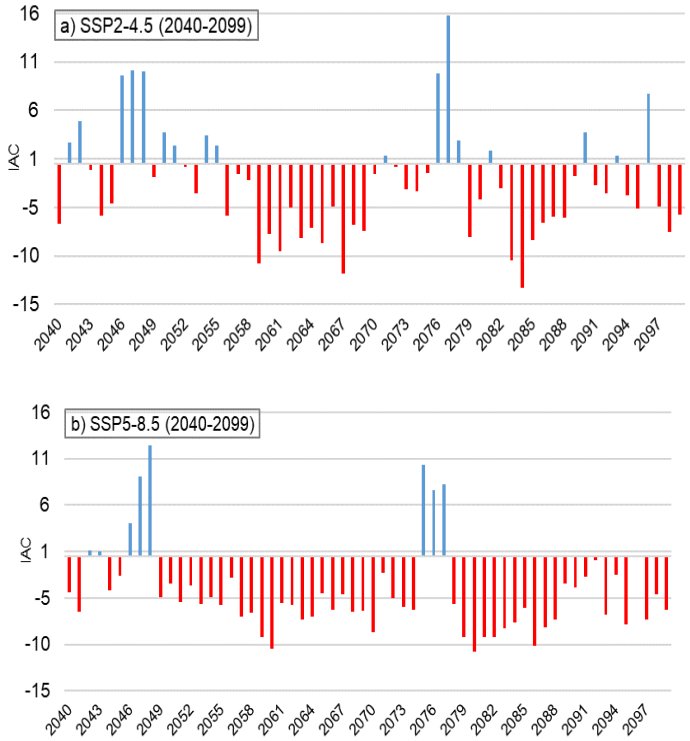
Em que: P = precipitação para ano em que foi gerado o IAC (mm); P_1 = precipitação média anual da série histórica (mm); P_{maxh} = a média das dez maiores chuvas anuais da série histórica (mm); e P_{minh} = média das dez menores chuvas anuais da série histórica (mm).

O IAC é classificado em diferentes categorias conforme os valores obtidos, permitindo uma avaliação quantitativa e qualitativa das condições pluviométricas. Quando o IAC apresenta valores superiores a 4, a condição é classificada como “Extremamente Chuvosa”. Para valores compreendidos entre 2 e 4, a classificação atribuída é “Muito Chuvosa”. No intervalo de 0 a 2, o IAC é categorizado como “Chuvoso”. Por outro lado, quando o índice se situa entre -2 e 0, a condição é definida como “Seca”. Valores entre -4 e -2 são classificados como “Muito Seco”, e, por fim, quando o IAC é inferior a -4, a condição é considerada “Extremamente Seca”. Essa estratificação permite uma análise detalhada e precisa das anomalias de precipitação, contribuindo para a compreensão dos padrões climáticos e suas variações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 são apresentados os índices de anomalia de chuva (IAC) com base nos dados médios de precipitação dos 20 municípios com maior produção de soja em Goiás para os cenários SSP2-4.5, para período de 2040-2099 e cenário SSP5-8.5 para período 2040-2099.

Figura 1. Distribuição temporal dos IACs médio para os 20 municípios com maior produção de soja em Goiás para cenário SSP2-4.5, para período de 2040-2099, Figura (a), e cenário SSP5-8.5 para período 2040-2099, Figura (b).



Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos dados de IAC para o cenário SSP2-4.5 no período de 2040 a 2099 mostra uma predominância de anos classificados como secos e muito secos, evidenciando uma possível tendência de redução da precipitação natural ao longo do tempo. A distribuição das classificações revelou que 7 anos foram classificados como extremamente chuvosos, 5 anos como muito chuvosos, 5 anos como chuvosos, 9 anos como secos, 8 anos como muito secos e 26 anos como extremamente secos. Esses números demonstram uma predominância dos anos com condições secas, principalmente os classificados como extremamente secos, que representaram 43% dos anos analisados.

Os extremos positivos de precipitação foram registrados nos anos 2077 (IAC = 15,3) e 2046 (IAC = 9,1), seguidos de 2047 (IAC = 9,7) e 2076 (IAC = 9,3), que se destacam como os mais chuvosos do período. Já os extremos negativos, que representam os períodos mais secos, ocorreram nos anos 2084 (IAC = -12,8), 2067 (IAC = -11,3) e 2059 (IAC =

-10,3), seguidos de 2083 (IAC = -10,0). Esses valores indicam anos de severa estiagem, possivelmente impactando negativamente os recursos hídricos e a produtividade agrícola.

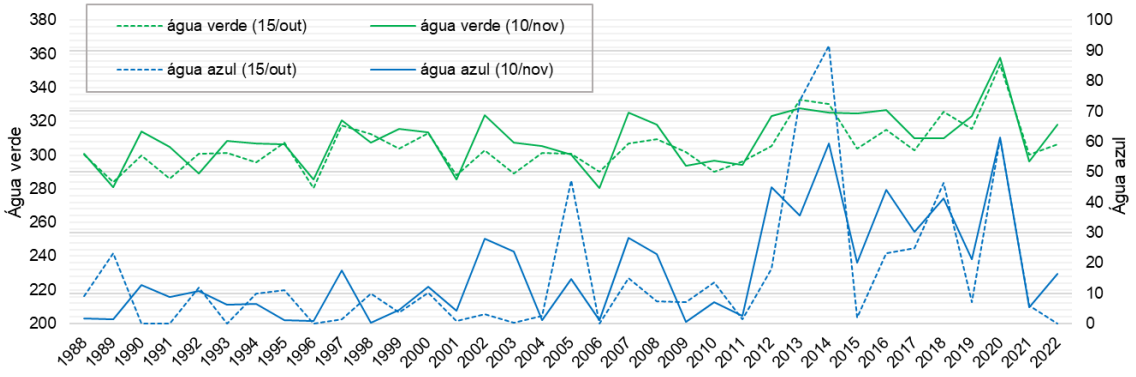
As projeções para o cenário SSP5-8.5 entre os anos de 2040 e 2099 indicaram uma tendência ainda mais acentuada de eventos extremos, particularmente em relação à seca. O número de anos classificados como Extremamente Seco foi de 39, tornando esta a categoria dominante. Os anos de 2060, 2080 e 2086 foram exemplos notáveis de condições extremamente secas, com IACs de -10; -10,2 e -9,7, respectivamente. A categoria Muito Seco ocorreu em 10 anos, enquanto Seco foi registrado em apenas 2 anos.

Por outro lado, anos classificados como Extremamente Chuvoso foram observados em 5 ocasiões (2047, 2048, 2075, 2076 e 2077), e a categoria Muito Chuvoso apareceu em apenas 1 ano (2046). O número reduzido de eventos chuvosos reflete uma tendência clara de redução na precipitação anual, indicando um possível agravamento dos eventos de seca prolongada sob o cenário de emissões mais elevadas (SSP5-8.5).

A comparação entre os dois cenários indicou que, embora ambos apresentem uma predominância de eventos secos, no cenário SSP5-8.5 acentua-se esse padrão, com uma frequência ainda maior de anos Extremamente Secos. Isso reforça a hipótese de que cenários de maior emissão de gases de efeito estufa potencializam as condições climáticas extremas, exigindo estratégias de adaptação mais eficazes para mitigar seus impactos na agricultura irrigada e na gestão recursos hídricos para os demais usuarios..

Ao avaliar a dinâmica temporal da DHT e suas componentes, em termos médios, verificou-se que a possibilidade de maior contribuição da água verde para suprir a DHT ocorreu na semeadura de novembro (309 mm) em comparação com outubro (305 mm), enquanto a necessidade de água azul foi menor em novembro (15 mm) do que em outubro (17 mm). Esse comportamento sugere que a semeadura mais tardia tende a se beneficiar de uma maior disponibilidade hídrica natural, reduzindo, consequentemente, a necessidade de irrigação suplementar como é possível verificar na variação temporal média das contribuições hídricas azul e verde dos 20 municípios avaliados (Figura 2). Por outro lado, antecipar a semeadura da soja, traz benefícios em relação ao plantio da próxima safra, normalmente milho “safrinha. Nesse contexto, a irrigação agrega valor trazendo maior segurança.

Figura 2. Necessidades hídricas médias, para os vinte municípios, considerando as contribuições provenientes da água da chuva, (verde), e da irrigação (azul), para as semeaduras da soja em 15 de outubro, e 10 de novembro, com base nos dados do Nasa Power corrigidos, para o período de 1988-2022.



Fonte: Elaborado pelos autores.

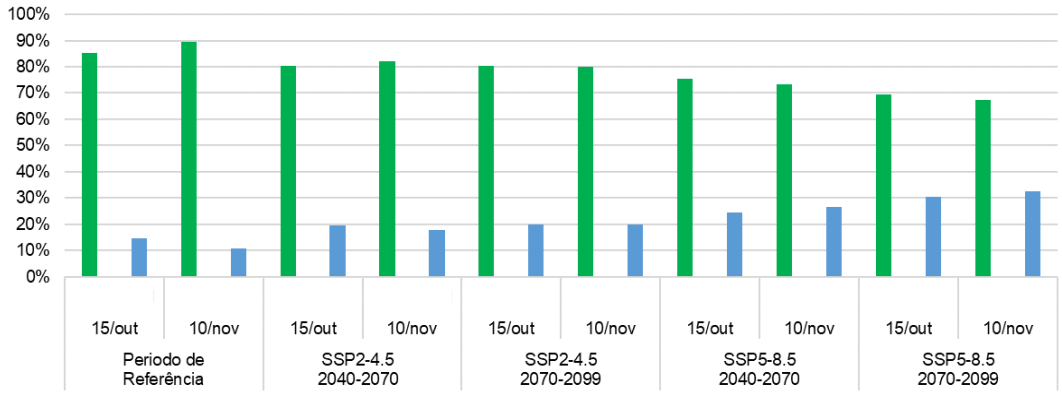
Ao avaliar a recorrência histórica dessas tendências, observa-se que em 68% do tempo (23 anos), a necessidade de complementar a DHT por meio da irrigação **(água azul**) foi menor em novembro do que em outubro, e em 74% dos anos, a água verde foi maior em novembro do que em outubro. Esses resultados reforçam a hipótese de que a semeadura tardia, além de aproveitar melhor as precipitações, reduz a dependência da irrigação, tornando-se uma alternativa potencialmente mais eficiente do ponto de vista hídrico.

Por exemplo, no ano de 2014, apesar da água verde ter sido ligeiramente menor em novembro (325 mm) do que em outubro (330 mm), a necessidade de irrigação foi menor para a semeadura tardia (59 mm contra 92 mm). Isso sugere que a distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura possibilitou uma menor necessidade complementar a DHT por meio da água azul, mesmo quando a disponibilidade total de água verde foi reduzida.

Dessa forma, baseado na análise dos dados, constata-se que a escolha da data de semeadura é uma estratégica interessante a ser adotada pelos tomadores de decisão no que concerne ao uso de recursos hídricos na cultura da soja. A semeadura em novembro, na maioria dos anos analisados, mostrou-se mais eficiente no aproveitamento da água verde, reduzindo a necessidade de irrigação e, consequentemente, os custos associados ao uso de água azul. Esses resultados reforçam a importância do planejamento agrícola baseado em análises históricas do clima, contribuindo para um manejo mais sustentável dos recursos hídricos.

A água verde representa maior parte da DHT, contribuindo com 85% da DHT, na semeadura em outubro, e a 89%, em novembro ao considerar o período de referência. No entanto nos cenários futuros há uma tendencia de redução dessa participação, especialmente no cenário mais crítico (SSP5-8.5), no qual a contribuição da água verde cai para 69 a 67% no final do século, aumentando consequentemente a dependência da água azul (Figura 3).

Figura 3. Contribuições hídricas médias (%) provenientes da chuva (verde) e da irrigação (azul), para as semeaduras da soja em 15 de outubro e 10 de novembro, com base nos dados do NP para o período de referência (de 1988 a 2022) e para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Essas mudanças na composição da DHT podem estar relacionadas a ocorrência de extremos climáticos apresentados na Tabela 1. Observou-se um aumento do CDD nos cenários futuros, pincipalmente no cenário SSP5-8.5, indicando períodos secos mais prolongados. Somado a isso, há um aumento na intensidade das chuvas extremas (Rx1day e Rx5days), o que sugere eventos mais concentrados e menor infiltração de água no solo, reduzindo a disponibilidade de água verde para as culturas.

A redução do número de dias úmidos consecutivos (CWD) também indica uma menor regularidade das chuvas, o que pode comprometer a reposição hídrica do solo, impactando diretamente a água verde e elevando o requerimento de irrigação. Dessa forma, com a intensificação dos extremos climáticos, a dependência da água azul tende a crescer, elevando os desafios para a gestão de recursos hídricos na agricultura de Goiás.

Tabela 1. Índices médios de eventos extremos de precipitação, para os vinte municípios, para os períodos de semeaduras da soja em 15 de outubro e 10 de novembro, com base nos dados do NP para o período de referência (1988 a 2022) e para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099, nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

	Data	CDD (dias)	CWD (dias)	R25mm (dias)	R50mm (dias)	Rx1day (mm)	Rx5days (mm)
Período de referência (1988-2022)	15/out	5,5	29,0	6,9	0,8	52,0	121,1
	10/nov	6,3	27,0	6,4	0,7	52,1	119,7
SSP2-4.5 (2040-2070)	15/out	14,5	26,5	7,3	1,1	55,7	135,0
	10/nov	11,7	27,7	8,4	1,3	57,2	140,8
SSP2-4.5 (2070-2099)	15/out	13,4	25,3	7,2	1,3	56,8	139,3
	10/nov	9,9	25,7	8,4	1,5	59,9	143,9
SSP5-8.5 (2040-2070)	15/out	17,3	25,6	6,8	1,1	55,5	134,7
	10/nov	13,5	26,8	8,0	1,3	57,3	140,0

SSP5-8.5 (2070-2099)	15/out	17,8	27,4	6,1	1,0	52,3	119,1
	10/nov	13,0	28,3	7,4	1,4	58,0	132,0

Analisando o cenário RCP4.5, para o período de 2070-2099, referente à data de semeadura em 15 de outubro, observa-se uma redução no CWD, passando de 27 dias no período de referência para 25,3 dias. Essa diminuição indica uma menor continuidade das precipitações, resultando em maior irregularidade na disponibilidade hídrica. Nesse contexto há um comprometimento do fornecimento de água verde no solo. Para a data de semeadura em 10 de novembro, no mesmo cenário, verifica-se um aumento no Rx1day, que passa de 52,0 mm no período referência para 59,9 mm, enquanto o índice de Rx5days cresce de 121,1 mm para 143,9 mm.

Essa maior concentração das chuvas em curtos intervalos temporais reduz a eficiência da infiltração no solo, favorecendo o escoamento superficial e limitando a possibilidade do aproveitamento da água verde, como observado no período de referência que apresenta índices de intensidade de chuva menos danosos. Esse padrão de distribuição pluviométrica menos uniforme pode impactar negativamente a disponibilidade hídrica para as culturas.

No cenário SSP5-8.5 (2040-2070) e semeadura realizada no dia 15 de outubro, o índice R25mm aumenta de 6,4 dias (período de referência) para 6,8 dias, enquanto o índice R50mm aumenta de 0,7 dias para 1,1 dias. Isso mostra uma redução de chuvas regulares e aumento de eventos extremos, prejudicando a recarga gradual da umidade no solo e elevando a necessidade de água azul.

No cenário SSP5-8.5 (2070–2099), para a semeadura em 15 de outubro, o CDD médio aumentou de 6,3 dias no período de referência para 17,8 dias, indicando estiagens mais prolongadas. Esse aumento reduz o armazenamento de água no solo e a recarga hídrica natural, diminuindo a disponibilidade de água verde para a soja.

Nesse mesmo cenário, a contribuição da água verde reduziu para 69% na semeadura de 15 de outubro e 67% em 10 de novembro. Diferentemente do período de referência, o adiamento da semeadura não aumentou a contribuição da precipitação, mas elevou a necessidade de irrigação. Esse comportamento pode estar relacionado ao aumento do Rx1day, que atingiu 58 mm em novembro, indicando chuvas mais concentradas, menor infiltração e menor armazenamento de água no solo. Como consequência, a participação da água azul aumentou para 31% em outubro e 33% em novembro, tornando a irrigação essencial para manter a produtividade.

A redução da água verde e o aumento da variabilidade climática evidenciam a necessidade de estratégias de manejo voltadas à retenção de água no solo e ao uso eficiente da irrigação, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas. Apesar dos custos de implantação e manutenção, a irrigação é amplamente reconhecida como uma prática essencial. Siebert e Petra (2010) estimaram que a ausência de água azul provocaria perdas de produtividade de aproximadamente 39% para o arroz e 31% para a cana-de-açúcar.

Resultados semelhantes foram observados em outros estudos. Wen et al. (2024), utilizando o modelo HadGEM2-ES, projetaram aumento da ocorrência de secas em áreas agrícolas de Fujian, China, entre 2050 e 2080. De forma semelhante, Sondermann et al. (2022) identificaram tendência de redução de dias frios e aumento de dias secos consecutivos na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários climáticos projetados para os períodos de 2040-2070 e 2070-2099 indicam uma diminuição na contribuição da água verde para a demanda hídrica da soja em Goiás, especialmente sob o cenário SSP5-8.5, que prevê menores volumes de precipitação. Enquanto a água verde representa, em média, 85% da DHT no período de referência, essa proporção cai para cerca de 75-80% nos cenários futuros, aumentando a dependência da irrigação.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; ROSOLEM, R.; HAGEMANN, S.; NOBRE, C. A. Performance evaluation of Eta/HadGEM2-ES and Eta/MIROC5 precipitation simulations over Brazil**. Atmospheric Research**, v, 244, p, 105-115, 2020.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica,** v.8, n.16, p.40-55, 2014.

CHIARELLI, D.D.; PASSERA, C.; ROSA L.; DAVIS, K.F.; RULLI, M.C. The green and blue crop water requirement WATNEEDS model and its global gridded outputs. **Sci. Data**, n7, v1, p1-14, 2020.

CHOU, S.C; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D. et al. and MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014a.

CHOU, S.C; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; et al. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v.3, p. 512- 527, 2014b.

FALKENMARK, M. 1995. **Coping with water scarcity under rapid population growth**. Conference of SADC Ministers, Pretoria.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica:** Estabelecendo o Padrão Global. Londres: Earthscan, 2011.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: CLIMATE CHANGE 2021: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021. p. 3-32. DOI: 10.1017/9781009157896.001.

MICHALAK, D. Adapting to climate change and effective water management in Polish

agriculture - at the level of government institutions and farms. **Ecohydrol Hydrobiol** 20(1):134–141, 2019

RODRIGUES, L. N. **Agricultura irrigada no cerrado**: subsídios para o desenvolvimento sustentável – Brasília, DF: Embrapa, 2023.

ROOY, M. P. V. A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. Notos, De Bilt, v. 14, n. 1, p. 43–48, 1965.

SIEBERT, S.; PETRA, D. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 384, n. 3–4, p. 198–217, 2010.

SRIVASTAVA, P.K.; SINGH, P.; MALL, R.K.; RAJANI K. PRADHAN, M. B.; AKHILESH G. Performance assessment of evapotranspiration estimated from different data sources over agricultural landscape in Northern India. **Theor Appl Climatol,** v. 140, p.145–156, 2020.

SONDERMANN, M. et al, Climate change projections and impacts on the eucalyptus plantation around the Doce River basin, in Minas Gerais, Brazil. **Climate Services**, v, 28, p, 100327, 2022.

SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C.M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E.J. Modelling the Crop Water Requirement Using FAO-CROPWAT and Assessment of Water Resources for Sustainable Water Resource Management: A Case Study in Palakkad District of Humid Tropical Kerala, India,Aquatic **Procedia**,v. 4, 2015, p. 1211-1219,https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.154.

WEN, Y.; FEI, Y.; FAN, Y.; YANG, A.; WANG, B.; GAO, P. P.; SCOTT, D. Development of a probabilistic agricultural drought forecasting (PADF) framework under climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v, 350, p, 109965, 2024.

ZHAO, A.; ZHU, X .; LIU, X.; PAN, Y.; ZUO, D.; Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China, **CATENA**, n137, p. 318-327, 2016.

CAPÍTULO 23

BIBLIOTECA DE ROTINAS DESENVOLVIDAS EM PLANILHA ELETRÔNICA PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO

Jorge Luiz Moretti de Souza[1];
[1]Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná.
Matheus Salgado Moretti[2].
[2]Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná.

RESUMO: Teve-se por objetivo no presente estudo desenvolver uma biblioteca de rotinas computacionais em planilha eletrônica, para facilitar e agilizar a resolução de problemas em engenharia de água e solo. As rotinas computacionais foram desenvolvidas no Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA)/DSEA/UFPR, em planilha eletrônica, com a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA-*Macro*). Foram criadas rotinas (funções) para a resolução dos exemplos e exercícios apresentados no manual de "Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem" (DSEA/SCA/UFPR), envolvendo os temas: Parâmetros fisiográficos de bacias hidrográficas; Precipitação pluviométrica; Relações massa-área-volume do solo; Água em equilíbrio; Movimento da água; Infiltração; Escoamento superficial; Movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera; Disponibilidade de água no solo; Evaporação e evapotranspiração. Após o desenvolvimento, a biblioteca totalizando 169 rotinas computacionais foi denominada "Plataforma Moretti: Rotinas computacionais para engenharia de água e solo". A biblioteca permitiu a automatização das funções e procedimentos de cálculos voltados à engenharia de água e solo com eficiência, precisão e maior rapidez nas análises. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com os padrões estabelecidos na literatura, confirmando a eficácia das rotinas na solução dos problemas. As rotinas e biblioteca incrementarão as ferramentas computacionais da Plataforma MORETTI, disponibilizada à comunidade em geral.
PALAVRAS-CHAVE: Relação água-solo-planta-atmosfera. Hidrologia. Física do solo.

SPREADSHEET-BASED COMPUTATIONAL LIBRARY FOR WATER AND SOIL ENGINEERING PROBLEM SOLVING

ABSTRACT: This study aimed to develop a library of computational routines in a spreadsheet environment to facilitate and expedite the resolution of problems in water and soil engineering. The routines that comprise the computational library were developed at the Laboratory of Environmental Systems Modeling (LAMOSA)/DSEA/UFPR, using spreadsheet software and implemented in the Visual Basic for Applications (VBA-Macro) programming language. Functions (routines) were created to solve problems involving: Physiographic parameters of watersheds; Rainfall precipitation; Soil mass, area, and volume relationships; Water in

equilibrium in the soil; Water movement in the soil; Water infiltration into the soil; Surface runoff; Water movement in the soil-plant-atmosphere system; Water availability to plants in the soil; and Evaporation and evapotranspiration. After development, the library (totaling 169 computational routines) was named Moretti Platform: Computational Routines for Water and Soil Engineering. The library enabled the automation of functions and calculation procedures related to water and soil engineering with efficiency, accuracy, and faster analysis. The results were analyzed and compared to standard references in the literature, confirming the routines' effectiveness in solving problems. The routines and library enhance the computational tools of the MORETTI Platform, which is publicly available to the broader community.
KEYWORDS: Soil-plant-atmosphere water relations. Hydrology. Soil physics.

INTRODUÇÃO

A engenharia de água e solo, envolvendo aspectos técnicos da hidrologia, irrigação, drenagem, física do solo e relação água-solo-planta-atmosfera é fundamental na agricultura, garantindo o uso eficiente dos recursos hídricos e a conservação do solo para a produção sustentável de alimentos. No entanto, a resolução de problemas técnicos na área de engenharia de água e solo exige a aplicação de conceitos matemáticos e físicos, muitas vezes desafiadores para estudantes e profissionais das ciências agrárias (Souza, 2019). Observa-se que um número significativo de alunos e profissionais enfrentam dificuldades nos conhecimentos básicas (matemática, física e química) o que compromete a resolução de cálculos fundamentais e a compreensão de fenômenos para aplicação das técnicas necessárias nas engenharias (Araújo et al., 2011; Fiorani et al., 2011; Carvalho e Santos, 2022).

Além das dificuldades no aprendizado, há desafios na pesquisa e na prática profissional, onde a necessidade de cálculos precisos é essencial para a calibração de modelos hidrológicos, dimensionamento de sistemas de irrigação, drenagem e análise da dinâmica da água no solo. Métodos manuais de resolução são frequentemente demorados e suscetíveis a erros, o que reforça a necessidade de ferramentas computacionais acessíveis e confiáveis (Souza, 2001; Souza e Frizzone, 2003a-b; Souza, 2019).

A utilização de novas tecnologias no ensino vem se tornando uma preocupação constante nas universidades na busca por qualificar a educação (Modler et al., 2005; Souza et al., 2020; Souza et al., 2022; Roncovsky e Souza, 2023; Souza et al., 2023). Modler e Feil (2003) avaliaram que é pertinente e viável a utilização de *softwares* comerciais na construção do conhecimento em engenharia. No entanto, ao mesmo tempo, os autores descrevem que é necessária a elaboração de metodologias de ensino consistentes e bem fundamentadas, que direcionem o uso da tecnologia no sentido de auxiliar o aprendizado e facilitar sua utilização. Logo, pode-se perceber que a falta de ferramentas computacionais mais acessíveis pode dificultar o aprendizado e a aplicação prática dos conceitos da engenharia de água e solo.

Nesse contexto, acredita-se que a utilização de planilhas eletrônicas associadas a módulos e rotinas computacionais são uma alternativa eficiente para facilitar o aprendizado, otimizar o tempo de cálculo e garantir maior precisão nos resultados. Iniciativas neste sentido, voltadas à área de engenharia de água e solo, podem ser verificadas no modelo computacional desenvolvido por Souza (2001) e módulos que posteriormente foram criados partindo desta experiência inicial e bem sucedida (Souza e Frizzone, 2003a-b; Souza et al. 2018; Souza et al., 2020; Souza et al., 2022; Roncovsky e Souza, 2023; Souza et al., 2023). Outras iniciativas em áreas diversas também podem ser verificadas: Morais e Araújo (2013) analisaram a utilização de planilhas eletrônicas no ensino de resistência dos materiais; Velasco et al. (2021) avaliaram a utilização de planilhas eletrônicas como ferramenta de apoio ao ensino de engenharia; e, Andrade e Cunha (2023) utilizaram planilhas eletrônicas como ferramentas educacionais aplicadas à robótica móvel.

É importante enfatizar que a criação de uma biblioteca de rotinas computacionais em ambiente de planilha eletrônica para a engenharia de água e solo visa não apenas facilitar e agilizar a resolução de cálculos, mas também atuar como um suporte didático, permitindo que alunos e pesquisadores compreendam melhor os conceitos teóricos, validem resultados, tirem dúvidas e aprimorem suas habilidades na resolução de problemas. Dessa forma, a biblioteca pode se tornar um recurso essencial para o ensino e atividades de pesquisa e extensão na área de engenharia de água e solo, ampliando possibilidades de aplicação e apoio, que poderão ser utilizadas até em trabalhos com os desenvolvidos por Souza (2001), Souza e Frizzone, 2003a-b, Souza et al. (2018), Souza et al. (2022), Roncovsky e Souza (2023) e Souza et al. (2023).

OBJETIVO

Mediante o contexto apresentado, abordando como a utilização de programas tem sido cada vez mais aplicada no desenvolvimento de ferramentas que auxiliem estudantes e profissionais da engenharia (para visualizar e interagir com os conceitos necessários), teve-se por objetivo no presente estudo desenvolver uma biblioteca de rotinas computacionais em planilha eletrônica, para facilitar e agilizar a resolução de problemas na área de engenharia de água e solo.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado seguindo a linha de pesquisa envolvendo o desenvolvimento dos módulos computacionais da Plataforma Moretti, tendo como apoio o Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais / DSEA / SCA / UFPR (Souza et al., 2022; Souza et al., 2023; Roncovsky e Souza, 2023).

O módulo computacional foi desenvolvido em planilha eletrônica. As rotinas computacionais para os procedimentos de execução e cálculo foram implementadas na linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA-Macro). Foram criadas rotinas para as principais funções, modelos e procedimentos de cálculos que se encontram

apresentados no manual de “Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem (FHID)” (DSEA/SCA/UFPR), para a resolução de problemas, exemplos e exercícios da área de engenharia de água e solo (Souza, 2019).

Seguindo as unidades do manual de FHID (Souza, 2019), as rotinas e funções foram estruturadas, agrupados e denominadas baseando-se na seguinte sequência de temas: Unidade 1: Hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica; Unidade 2: Precipitação pluviométrica; Unidade 3: Relações massa, área e volume do solo; Unidade 4: A água em equilíbrio no solo; Unidade 5: Movimento da água no solo; Unidade 6: Infiltração da água no solo; Unidade 7: Escoamento superficial; Unidade 8: Movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera; Unidade 9: Disponibilidade de água no solo para a planta; e, Unidade 10: Evaporação e evapotranspiração.

Os testes das rotinas, funções e procedimentos implementados em planilha eletrônica, com o auxílio da linguagem VBA-*Macro,* foram realizados e conferidos baseando-se nos resultados e respostas dos exemplos que já se encontram resolvidos no manual de FHID (Souza, 2019). O manual apresenta em sua estrutura um total de 92 exemplos em sua última versão. A biblioteca de rotinas foi avaliada quanto à sua capacidade de automatização dos cálculos, bem como na sua eficiência, precisão e rapidez na realização dos procedimentos e análises. Para confirmar a eficácia dos códigos em linguagem VBA-*Macro* implementados, as rotinas (funções e procedimentos) implementadas foram analisados e comparados com os padrões do manual de FHID e estabelecidos na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A biblioteca de rotinas desenvolvida foi denominada “Plataforma Moretti: Rotinas computacionais para engenharia de água e solo” (Figura 1). Um total de 169 rotinas foram desenvolvidas. Na Tabela 1 encontram-se a relação do número de rotinas desenvolvidas para cada unidade do manual de “Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem (FHID; Souza, 2019)”, bem como os respectivos nomes das funções que formam a biblioteca.

Tabela 1. Temas e respectivos nomes das rotinas da biblioteca de funções desenvolvidas para cada unidade do manual de "Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem" (FHID; Souza, 2019).

Unidade	Funções	Nome da função desenvolvida	
1 – Hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica	15	U1_Coeficiente_de_compacidade_Kc_´ad´	U1_Sinuosidade_do_dreno_principal_Sn_´ad´
		U1_Coeficiente_de_compacidade_Kc_interpretação_´ad´	U1_Sinuosidade_do_dreno_principal_Sn_interpretação_´ad´
		U1_Fator_de_forma_Kf_´ad´	U1_Declividade_do_dreno_principal_da_bacia_hidrográfica_Sd_´percentual´
		U1_Fator_de_forma_Kf_interpretação_´ad´	U1_Declividade_média_da_bacia_hidrográfica_dm_´percentual´
		U1_Densidade_de_drenagem_Dd_´km_km¨2´	U1_Altitude_média_da_bacia_hidrográfica_Zmed_´m´
		U1_Densidade_de_drenagem_Dd_interpretação_´km_km¨2´	U1_Altura_média_da_bacia_hidrográfica_Hmed_´m´
		U1_Densidade_da_rede_de_drenagem_Dr_´drenos_km¨2´	U1_Altitude_média_da_bacia_hidrográfica_Zmed_i_cotas_´m´
		U1_Extensão_média_do_escoamento_superficial_Cm_´km´	

2 – Precipitação pluviométrica	28	U2_Intensidade_de_precipitação_i_´mm_h¨1´ U2_Frequência_fX_do_evento_X_´percentual´ U2_Altura_de_precipitação_P_´mm´ U2_Preenchimento_de_falha_Média_aritmética_Py_´mm´ U2_Preenchimento_de_falha_Regressão_linear_Py_´mm´ U2_Regressão_linear_Parâmetro_angular_a1_´adimensional´ U2_Regressão_linear_Parâmetro_linear_a0_´unidade_da_variável´ U2_Preenchimento_de_falha_Poderação_regional_Py_´mm´ U2_Precipitação_média_Método_aritmético_Pm_´mm´ U2_Precipitação_média_Método_Thiessen_Pm_´mm´ U2_Precipitação_média_Método_isoietas_Pm_´mm´ U2_Período_de_retorno_T_´anos´ U2_Intensidade_de_precipitação_i_estimada_com_a_função_IDF_´mm_h¨1´ U2_Interceptação_da_precipitação_pela_vegetação_I_´mm´	U2_Capacidade_do_reservatório_de_interceptação_SI_´mm´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_maior_ou_igual_xi_Califórnia_´percentual´ U2_Período_de_retorno_T_do_evento_X_Califórnia_´anos´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_menor_que_xi_Califórnia_´percentual´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_maior_ou_igual_xi_Weibull_´percentual´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_menor_que_xi_Weibull_´percentual´ U2_Período_de_retorno_T_do_evento_X_Weibull_´anos´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_maior_ou_igual_xi_fdp_Normal_´percentual´ U2_Período_de_retorno_T_do_evento_X_fdp_Normal_´anos´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_menor_que_xi_fdp_Normal_´percentual´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_maior_ou_igual_xi_fdp_Gama_´percentual´ U2_Período_de_retorno_T_do_evento_X_fdp_Gama_´percentual´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_menor_que_xi_fdp_Gama_´percentual´ U2_Probabilidade_do_evento_X_ser_menor_que_xi_fdp_Mista_´percentual´

3 – Relações massa, área e volume do solo	24	U3_Fração_textural_ISSS_Atterberg U3_Fração_textural_USDA U3_Tempo_para_a_sedimentação_das_partículas_t_´minutos´ U3_Percentual_de_argila_na_amostra_de_solo_´percentual´ U3_Percentual_de_silte_na_amostra_de_solo_´percentual´ U3_Percentual_de_areia_na_amostra_de_solo_´percentual´ U3_Classificação_textural_do_solo (Obs.: Precisa ser trabalhada, tem erros) U3_Massa_total_da_amostra_de_solo_mT_´kg´ U3_Volume_total_da_amostra_de_solo_VT_´m3´ U3_Volume_de_vazios_da_amostra_de_solo_VV_´m3´ U3_Massa_específica_das_partículas_do_solo_rP_´kg_m¨3´ U3_Massa_específica_do_solo_mS_´kg_m¨3´ U3_Porosidade_total_do_solo_considerando_Volumes_alfa_´percentual´	U3_Porosidade_total_do_solo_considerando_Massa_Específicas_alfa_´percentual´ U3_Umidade_gravimétrica_do_solo_u_´kg_kg¨1´ U3_Umidade_volumétrica_do_solo_teta_´m3_m¨3´ U3_Umidade_volumétrica_em_função_da_umidade_gravimétrica_teta_´m3_m¨3 U3_Grau_de_saturação_do_solo_7S_´percentual´ U3_Porosidade_livre_de_água_do_solo_beta_´percentual´ U3_Armazenamento_da_água_no_solo_AL_´mm´ U3_Armazenamento_da_água_no_perfil_do_solo_AL_´mm´ U3_Variação_do_armazenamento_da_água_no_perfil_do_solo_no_tempo_detaAL_´mm´ U3_Calor_específico_por_unidade_de_volume_do_solo_cS_´J_m¨3_K¨1´ U3_Calor_específico_por_unidade_de_volume_do_solo_cS_´cal_cm¨3_oC¨1´

4 – A água em equilíbrio no solo	19	U4_Energia_potencial_Ep_´J´ U4_Potencial_de_pressão_da_água_pSiP_´J´ U4_Potencial_de_pressão_da_água_pSiP_a_base_de_massa_´J_kg¨1´ U4_Potencial_de_pressão_da_água_pSiP_a_base_de_volume_´kPa´ U4_Potencial_gravitacional_da_água_pSiG_´J´ U4_Potencial_gravitacional_da_água_pSiG_a_base_de_massa_´J_kg¨1´ U4_Potencial_gravitacional_da_água_pSiG_a_base_de_volume_´kPa´ U4_Potencial_osmótico_medido_no_osmômetro_pSiOs_´J´ U4_Potencial_osmótico_medido_no_osmômetro_pSiOs_a_base_de_massa_´J_kg¨1´ U4_Potencial_osmótico_medido_no_osmômetro_pSiOs_a_base_de_volume_´kPa´	U4_Potencial_osmótico_estimado_pSiOs_a_base_de_volume_´kPa´ U4_Potencial_osmótico_estimado_pSiOs_a_base_de_peso_´m´ U4_Altura_da_ascensão_da_água_em_tubo_capilar_h_´m´ U4_Diâmetro_dos_poros_do_solo_que_ainda_retêm_água_sob_determinada_pressão_dS_´mm´ U4_Altura_do_mercúrio_em_tubo_capilar_h_´m´ U4_Van_Genuchten_Umidade_volumétrica_do_solo_Teta_´m3_m¨3´ U4_Van_Genuchten_Potencial_matricial_da_água_no_solo_pSiM_´hPa_ou_cm´ U4_Potencial_total_da_água_no_solo_pSi_´m´ U4_Tensiômetro_potencial_matricial_da_água_no_solo_pSiM_´cm_ou_hPa´

5 – Movimento da água no solo	17	U5_Potencial_hidráulico_H_´m´ U5_Densidade_de_fluxo_de_água_no_solo_q_´mm_dia¨1´ U5_Densidade_de_fluxo_q_Equação_de_Darcy_´mm_dia¨1´ U5_Velocidade_real_da_água_em_solo_saturado_v_´mm_dia¨1´ U5_Velocidade_real_da_água_em_solo_não_saturado_v_´mm_dia¨1´ U5_Tortuosidade_de_um_meio_poroso_T_´adimensional´ U5_Ko_Condutividade_hidráulica_do_solo_Princípio_físico_´m_s¨1´ U5_Ko_Permeâmetro_de_carga_constante_´mm_dia¨1´ U5_Ko_Permeâmetro_de_carga_variável_´mm_dia¨1´	U5_Ko_Furo_do_trado_Acima_camada_impedimento_´m_s¨1´ U5_Ko_Furo_do_trado_Até_camada_impedimento_´m_s¨1´ U5_Kteta_Função_exponencial_´cm_dia¨1´ U5_Regressão_linear_Parâmetro_angular_a1_´adimensional´ U5_Regressão_linear_Parâmetro_linear_a0_´unidade_da_variável´ U5_Kteta_Função_Mualen_Van_Genuchten_´mm_dia¨1´ U5_Ko_Darcy_coluna_de_solo_´cm_dia¨1´ U5_Ko_Darcy_colunas_solo_Sentido_do_fluxo
6 – Infiltração da água no solo	16	U6_KostiakovLewis_Taxa_de_infiltração_i_´mm_minuto´ U6_KostiakovLewis_Taxa_de_infiltração_i_média_´mm_minuto´ U6_Horton_Infiltração_acumulada_I_´mm´ U6_Horton_Taxa_de_infiltração_i_´mm_minuto¨1´ U6_Horton_Taxa_de_infiltração_i_média_´mm_minuto¨1´ U6_Philip_Infiltração_acumulada_I_´mm´ U6_Philip_Taxa_de_infiltração_i_´mm_minuto¨1´ U6_Philip_Taxa_de_infiltração_i_média_´mm_minuto¨1´	U6_Taxa_de_infiltração_i_Entrada_saída_de_água_no_sulco_´mm_h¨1´ U6_Kostiakov_Infiltração_acumulada_I_´mm´ U6_Kostiakov_Taxa_de_infiltração_i_´mm_minuto´ U6_Kostiakov_Taxa_de_infiltração_i_média_´mm_minuto´ U6_Kostiakov_Tempo_para_alcançar_a_VIB_´minuto´ U6_Regressão_linear_Parâmetro_angular_a1_´adimensional´ U6_Regressão_linear_Parâmetro_linear_a0_´unidade_da_variável´ U6_KostiakovLewis_Infiltração_acumulada_I_´mm´

7 – Escoamento superficial	20	U7_Vazão_máxima_Método_Racional_CiA_´m3_s¨1´ U7_Intensidade_de_precipitação_i_estimada_com_a_função_IDF_´mm_h¨1´ U7_Tempo_de_concentração_tc_Kirpich_´minuto´ U7_Tempo_de_concentração_tc_Ven_Te_Chow_´minuto´ U7_Velocidade_do_escoamento_superficial_no_terreno_v_´m_s¨1´ U7_Velocidade_do_escoamento_superficial_no_terreno_v_InputBox_´m_s¨1´ U7_Tempo_de_escoamento_no_percurso_do_terreno_tp_´s´ U7_Coeficiente_de_escoamento_superficial_C_Valores_tabelados_´adimensional´ U7_Coeficiente_de_escoamento_superficial_médio_Cm_para_áreas_heterogêneas_´adimensional´ U7_Coeficiente_de_escoamento_superficial_corrigido_Cc_´adimensional´	U7_Vazão_Q_´m3_s¨1´ U7_Vazão_Equação_da_Continuidade_´m3_s¨1´ U7_Vazão_específica_da_bacia_hidrográfica_q_´m3_s¨1_km¨2´ U7_Coeficiente_de_escoamento_superficial_C_´adimensional´ U7_Precipitação_efetiva_Pef_´mm´ U7_Tempo_de_concentração_tc_´minuto´ U7_Frequência_fX_do_evento_X_´percentual´ U7_Período_de_retorno_T_´anos´ U7_Ponto_I_do_hidrograma_Linlsey_N_´dias´ U7_Vazão_de_base_Qbi_da_curva_de_recessão_do_hidrograma_´m3_s¨1´
8 – Movimento da água no SSPA	5	U8_q_Densidade_de_fluxo_de_água_na_planta_´m_s¨1´ U8_q_Densidade_de_fluxo_de_vapor_na_atmosfera_´m_s¨1´ U8_Potencial_hídrico_atmosférico_´m´	U8_q_Densidade_de_fluxo_no_sistema_SoloPlantaAtmosfera_´m_s¨1´ U8_Resistência_da_folha_Rf_´s_m¨2´

9 – Disponibilidade de água no solo para a planta	12	U9_Conteúdo_relativo_crítico_de_água_no_solo_´adimensional´ U9_Umidade_volumétrica_do_solo_obtida_com_a_umidade_gravimétrica_´m3_m¨3´ U9_CAD_Capacidade_de_água_disponível_no_solo_´mm´ U9_CAD´Perfil_Capacidade_de_água_disponível_no_perfil_do_solo_´mm´ U9_p_Fração_relativa_de_água_disponível_no_solo_´adimensional´ U9_AD_Água_facilmente_disponível_no_solo_´mm´	U9_ARM´Crit_Armazenamento_crítico_de_água_no_solo_´mm´ U9_p´ETc´_Fração_p_em_função_da_ETc_da_cultura_´adimensional´ U9_TR_Turno_de_rega_´dias´ U9_Umidade_volumétrica_crítica_do_solo_´m3_m¨3´ U9_z_Profundidade_do_sistema_radicular_Dourado_Neto_e_Van_Lier_´m´ U9_Profundidade_de_penetração_de_uma_chuva_no_solo_´m´
10 – Evaporação e evapotranspiração.	13	U10_ET_Evapotranspirômetros_drenagem_´mm_dia¨1´ U10_ETоPM_Penman_Monteith_´mm_dia¨1´ U10_EToB_Budyko_´mm_dia¨1´ U10_ECA_evaporação_do_Tanque_classe_A_´mm_dia¨1´ U10_EToECA_Tanque_classe_A_´mm_dia¨1´ U10_kp´ECA_Snyder_Coeficiente_do_Tanque_classe_A_para_EToECA_´adimensional´ U10_EToC_Camargo_´mm_dia¨1´	U10_EToTw_Thornthwaite_´mm_mês¨1´ U10_EToTw_Thornthwaite_modificado_para_diário_´mm_dia¨1´ U10_EToMJS_Moretti_Jerszurki_Silva_função_do_potencial_hídrico´mm_dia¨1´ U10_kc_Coeficiente_de_cultivo_´adimensional´ U10_ETc_Evapotranspiração_da_cultura_´mm_dia¨1´ U10_kc´DAP_Coeficiente_de_cultivo_conforme_Allen_´adimensional´

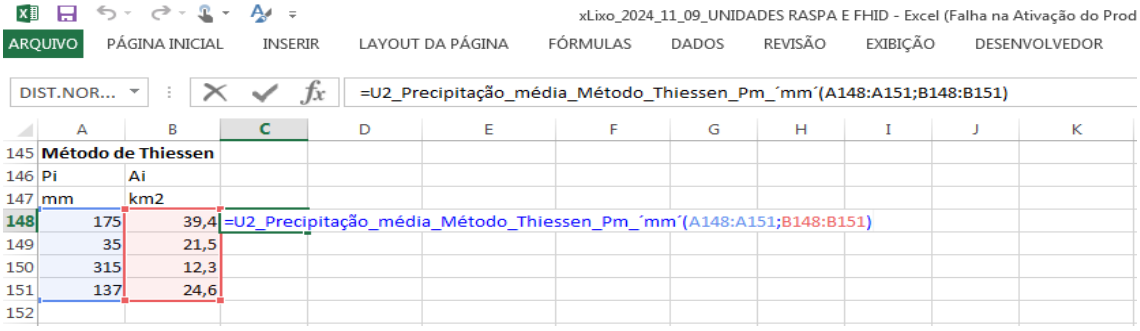
Figura 1: Tela de abertura da biblioteca denominada “Plataforma Moretti: Rotinas computacionais para engenharia de água e solo”.

A utilização das rotinas e procedimentos computacionais da biblioteca pode ser realizada na forma de função, na célula e “barra de fórmulas” da planilha eletrônica (Figura 2a), ou utilizando o respectivo formulário que é criado automaticamente para as funções que são desenvolvidas no editor do VBA-Macro, no ambiente da planilha eletrônica. Clicando-se no botão “inserir função”, que se encontra ao lado da barra de fórmulas, o usuário poderá ter acesso às funções selecionando a opção categoria “Definido pelo usuário”, na caixa de seleção. Posteriormente, escolhe-se a função na lista “Selecione uma função” (Figura 2b).

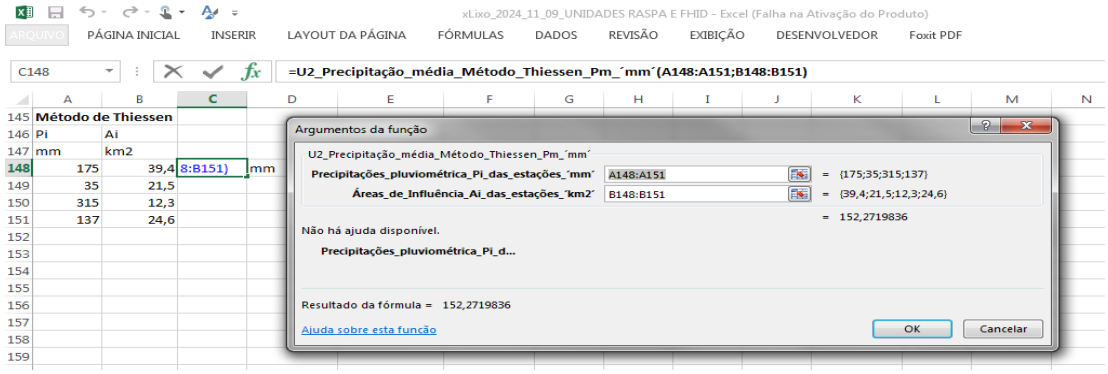
Como são muitas rotinas desenvolvidas e os seus nomes são longos, para facilitar a utilização para o usuário optou-se por iniciar o nome das mesmas com a letra “U” de unidade, seguida do número da respectiva unidade para qual a função foi criada (U1, U2, U3, ..., U10). Logo, por exemplo, digitando-se “= U2” em qualquer célula da planilha eletrônica o usuário já terá facilmente acesso à lista automática com os nomes de todas as funções da “Unidade 2” do manual (Figura 3a), assim como ocorre com as funções originais já existentes em planilhas eletrônicas. O procedimento adotado também facilita se o usuário desejar encontrar a rotina utilizando o botão “inserir função”, seguido da opção categoria “Definido pelo usuário”, para fazer a escolha da função desejada na lista “Selecione uma função”.

Figura 2: Utilização das rotinas e procedimentos da biblioteca computacional: a) Na forma de função, na célula e "barra de fórmulas" da planilha eletrônica; e, b) Formulário que é criado automaticamente para as funções que são desenvolvidas no editor do VBA-Macro, no ambiente da planilha eletrônica.

(a)



(b)

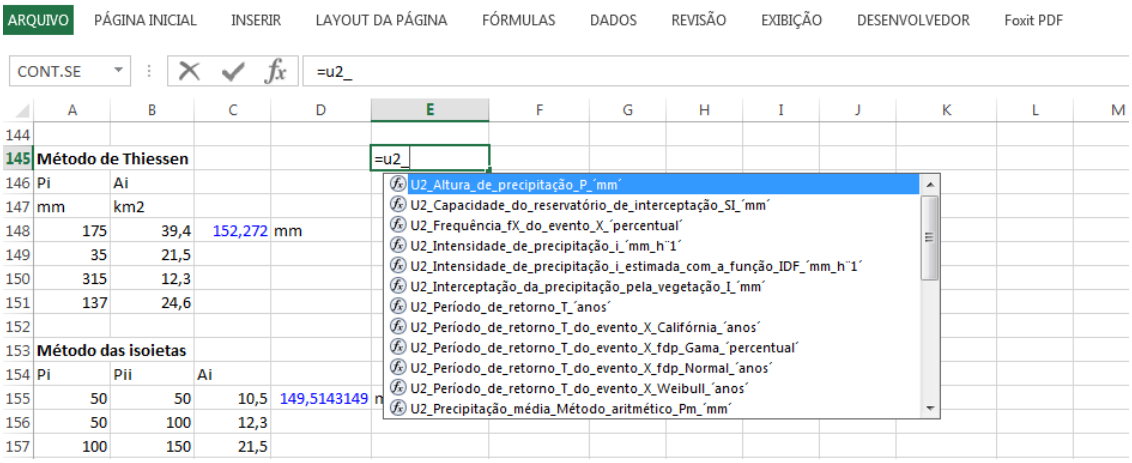


Para agilizar a digitação e/ou escolha da função é importante observar que as teclas de atalho da planilha eletrônica permanecem funcionando e podem ser utilizada para ter acesso às funções da biblioteca criada mais facilmente e rapidamente. Segue dois exemplos de utilização das rotinas com telhas de atalho: a) Aperte as teclas "Shift + F3" que abre o formulário "inserir função" da planilha eletrônica, e posteriormente escolhe-se a opção categoria "Definido pelo usuário" e "Selecione uma função" na caixa de seleção; e, b) Após o símbolo "=", digite na célula de interesse as iniciais do nome da função ("= Nome"), escolha a função na lista automática que aparece e aperte a tecla "TAB". Em seguida com as teclas de atalho "Ctrl + A" abre-se o formulário da função.

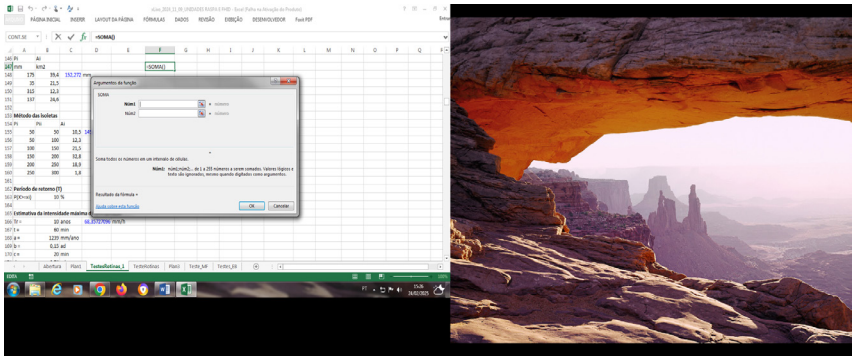
O processo de utilização das funções, preenchendo ou fornecendo os "argumentos" no formulário da função, é exatamente igual a qualquer outra função original que já existe na planilha eletrônica. No entanto, no processo de criação e desenvolvimento das funções o editor VBA-Macro não possibilita a disposição de informações de ajuda no "*form* funções", que geralmente ficam abaixo e na lateral direita dos "argumentos" das funções originais da planilha eletrônica (Figura 3b). Para contornar esse problema, e não deixar dúvida para o usuário, optou-se por utilizar nomes de funções e de seus argumentos que fossem o mais informativo possível. Por esse motivo os nomes das funções e suas variáveis ficaram tão longos (Tabela 1).

Figura 3: Utilização de funções em planilha eletrônica: a) Acesso rápido à lista automática contendo os nomes das funções existentes; e, b) Informações de ajuda no "*form* funções", npaas funções originais da planilha eletrônica.

(a)



(b)



Sem a possibilidade de dispor informações de ajuda no formulário, optou-se também por dispor as unidades dos argumentos das funções (variáveis, constantes, entre outros) no final dos seus nomes (Tabela 1). No entanto, como os nomes das funções e suas variáveis não aceitam caracteres especiais (como ( ) { } [ ] + - * / " " entre outros, sub e sobre escritos), algumas simplificações tiveram que ser feitas para apresentar as unidades. Segue as simplificações: Os espaços foram representados pelo símbolo *underline* ("_"); Os parênteses foram representados pelo símbolo do acento agudo (" ´ "); e, O sinal de menos foi representado pelo símbolo do trema (" ¨ "). Desta forma, por exemplo, as unidades de uma variável denominada "velocidade", representada matematicamente com o nome " Velocidade (m s^{-1}) ", aparecerá nos nomes das funções ou variáveis da planilha como: " Velocidade_´m_s¨1´ ". É uma simplificação e adaptação que foi necessária, mas acredita-se que não será motivo de dúvidas para o usuário.

Os testes da biblioteca desenvolvida em planilha eletrônica permitiram a automatização dos cálculos das funções e procedimentos, e proporcionou eficiência, precisão e maior rapidez nas análises. Os resultados de todas as rotinas desenvolvidas foram conferidos baseando-se em exemplos que foram feitos manualmente com auxílio

de calculadora, planilha eletrônica e outros programas. Os resultados obtidos nos testes foram promissores, espera-se que a biblioteca criada seja de grande utilidade para alunos e profissionais (técnicos e professores) da área de engenharia de água e solo.

Outro aspecto interessante que ocorreu, foi que no processo de desenvolvimento e testes das funções verificou-se perspectivas para futuras melhorias e possíveis expansões da biblioteca para novas funcionalidades, o que poderá ser realizado posteriormente em novas versões da biblioteca.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biblioteca de rotinas implementada em planilha eletrônica permitiu a automatização dos cálculos e procedimentos de todas as funções que estão no manual de "Fundamentos de Hidrologia, Irrigação e Drenagem", proporcionando eficiência, precisão e maior rapidez nas análises envolvendo procedimentos matemáticos e físicas para engenharia de água e solo.

A biblioteca de rotinas incrementará as ferramentas computacionais da Plataforma MORETTI, e poderão ser utilizadas em outros módulos que serão desenvolvidos, bem como disponibilizadas à comunidade em geral.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F.; CUNHA, B. L. D. Uso de planilhas eletrônicas como ferramentas educacionais aplicadas à robótica móvel. **Intermaths**, v. 4, n. 2, p. 75-84, 2023. https://doi.org/10.22481/intermaths.v4i2.13860

ARAÚJO, P. R.; ALMEIDA, D. D.; SOUSA, G. D.; RIBEIRO, T.; BARROS, M. T. A. Reprovação nas disciplinas básicas: uma reflexão dos aspectos pedagógicos, na perspectiva dos docentes e discentes aprovados. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (2011, Blumenau). **Anais**. Blumenau: COBENGE, 2011. 11p. (Editado em CD-ROM).

CARVALHO , M. F.; SANTOS, E. R. Ensino de química para ciências agrárias: percepção dos acadêmicos sobre metodologias tradicional e ativa. **Revista REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 10, n. 2, e22027, 2022.

FIORANI, L. A.; LOPES, M. P. G; NAKAO, O. S. Evasão na engenharia civil da escola politécnica da USP: O que pensam alunos e professores. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (2011, Blumenau). **Anais**. Blumenau: COBENGE, 2011. 8p. (Editado em CD-ROM).

MODLER L. E.; FEIL M. S. Características, possibilidades e limitações de um software como ferramenta de apoio para o ensino das disciplinas do curso de engenharia civil da Unijuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (2003, Rio de Janeiro). **Anais.** Rio de Janeiro: COBENGE, 2003. 11p (Editado em CD-ROM).

MODLER, L. E. A.; KRUG, L. F.; LAZZAROTTO, N. Desenvolvimento de rotinas computacionais para solução de problemas relacionados à engenharia civil. In: XXXIII

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA (2005, Campina Grande). **Anais.** Campina Grande: COBENGE, 2005. 8p (Editado em CD-ROM).

MORAIS, C. G. B.; ARAÚJO, P. H. Utilização de planilhas eletrônicas no ensino de resistência dos materiais. **Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE**, 2013. 4p.

RONCOVSKY, V.; SOUZA, J. L. M. Levantamento e análise dos parâmetros da equação de Angström-Prescott de localidades brasileiras para a constituição de um módulo computacional voltado à disponibilização de dados e estimativa da radiação solar incidente. **Anais**. CONVIBRA, 2023. 8p. (Evento Online: www.convibra.org)

SOUZA, J. L. M. Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. Piracicaba, 2001. 253p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

SOUZA, J. L. M. **Fundamentos de hidrologia, irrigação e drenagem**: notas de aula. Curitiba, Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2019. (Manual didático)

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. III. Análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 399-408, 2003b.

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 103-112, 2003a.

SOUZA, J. L. M.; GURSKI, B. C.; XAVIER, A. C. Plataforma Moretti: Módulo - Valor provável decendial das componentes hídricas (soja e milho), temperaturas do ar e radiação solar incidente, para o Estado do Paraná. Versão: 2024/1.0. Curitiba: LAMOSA/DSEA/UFPR, 2018. <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/programas.htm>

SOUZA, J. L. M.; KIMURA, B. H.; UHLIK, C. F.; MAZIERO, R. O.; MORETTI, M. S. Módulo computacional para disponibilização do coeficiente kRs de Hargreaves e Samani de localidades brasileiras e cálculo da radiação solar incidente. **Anais**. CONVIBRA, 2023. 8p. (Evento Online: www.convibra.org)

SOUZA, J. L. M.; MICHAOVSKI, R. E.; MOCELIN, L. K.; RONCOVSKY, V.; BILYK, C. G.; MORETTI, M. S. Levantamento de parâmetros e desenvolvimento de módulo para cálculo da intensidade, duração e frequência da precipitação pluviométrica de localidades brasileiras. **Anais**. CONVIBRA, 2022. 10p. (Evento Online: www.convibra.org)

SOUZA, J. L. M.; RITA, Y. L.; XAVIER, A. C. Plataforma Moretti: Módulo - Valor provável decendial das componentes hídricas da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo. Versão: 2024/1.0. Curitiba: Plataforma Moretti/LAMOSA/DSEA/UFPR, 2020. <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/programas.htm>

VELASCO, D. C. R.; ALMEIDA, S. S.; ALMEIDA, T. M.; MACHADO, C. B. H. Avaliação da utilização de planilhas eletrônicas como ferramenta de apoio ao ensino de engenharia. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 19, n. 2, p. 486-495, 2021.

ÁREA TEMÁTICA: PECUÁRIA

CAPÍTULO 24

UTILIZAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E PROBIÓTICOS EM SUBSTITUIÇÃO À ANTIMICROBIANOS MELHORADORES DE DESEMPENHO NA CRIAÇÃO ANIMAL

Isabella Mariano Machado[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707
Marco Túlio Santos Siqueira[2];
[2]Universidade Estadual paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Rodolfo Henrique Silva Pereira[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Nathália de Lima Mendes[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Bianca Izabelly Pereira Gomes[5];
[5]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Marcela Rodrigues de Oliveira[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[7].
[7]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929

RESUMO: A política sanitária da União Europeia (UE) para fornecedores externos quanto ao uso de antimicrobianos na produção animal entrou em vigor em maio deste ano, resultando na retirada do Brasil da lista de países autorizados a exportar produtos de origem animal ao bloco a partir de 3 de setembro de 2026. A medida afeta os setores da suinocultura, bovinocultura, equideocultura, avicultura, aquicultura, apicultura e produção de invólucros, com impacto estimado de US$1,1 bilhão anuais nas exportações. Os antimicrobianos restringidos são utilizados como melhoradores de desempenho em doses subterapêuticas, prática associada à seleção de bactérias resistentes (OMS, 2017; OMSA, 2022). A retomada das exportações dependerá da capacidade do sistema brasileiro de rastrear os animais destinados ao mercado europeu e comprovar a ausência dos antibióticos durante a produção. Nesse contexto, torna-se necessária a adoção de alternativas eficazes para a melhora do desempenho zootécnico, como probióticos e óleos essenciais. Assim, a presente revisão bibliográfica teve como objetivo reunir e analisar evidências científicas acerca da eficácia desses aditivos em comparação aos antimicrobianos tradicionalmente utilizados

como melhoradores de desempenho na produção animal, por meio de levantamento da literatura científica realizado na base de dados Google Acadêmico.
PALAVRAS-CHAVE: Aditivos. Normas de Exportação. Produção Animal.

USE OF ESSENTIAL OILS AND PROBIOTICS AS ALTERNATIVES TO ANTIMICROBIAL GROWTH PROMOTERS IN ANIMAL PRODUCTION

ABSTRACT: The European Union (EU) sanitary policy for external suppliers regarding the use of antimicrobials in animal production came into effect in May of this year, resulting in Brazil being removed from the list of countries authorized to export products of animal origin to the bloc as of September 3, 2026. The measure affects the swine, cattle, equine, poultry, aquaculture, beekeeping, and casing production sectors, with an estimated impact of US$1.1 billion annually on exports. The restricted antimicrobials are used as performance enhancers at subtherapeutic doses, a practice associated with the selection of resistant bacteria (WHO, 2017; WOAH, 2022). The resumption of exports will depend on the Brazilian system's ability to trace animals intended for the European market and demonstrate the absence of antibiotics throughout the production process. In this context, the adoption of effective alternatives for improving zootechnical performance, such as probiotics and essential oils, is necessary. Therefore, the present literature review aimed to compile and analyze scientific evidence regarding the efficacy of these feed additives in comparison with antimicrobials traditionally used as performance enhancers in animal production, through a review of the scientific literature conducted using the Google Scholar database.
KEYWORDS: Adittives. Animal Production. Export Standards.

INTRODUÇÃO

O uso de alternativas aos antibióticos melhoradores de desempenho (AMD) tem ganhado importância na produção animal, especialmente diante das crescentes restrições ao uso de antimicrobianos em doses subclínicas e das exigências internacionais relacionadas à comercialização de produtos de origem animal. Essas medidas estão associadas, principalmente, à preocupação com a presença de resíduos e com a seleção de bactérias resistentes aos antimicrobianos, considerada um importante risco à saúde pública (Pereira *et al*., 2015; Romero *et al*., 2018).

Entre as alternativas aos AMD destacam-se os probióticos, constituídos por microrganismos vivos capazes de promover benefícios ao hospedeiro por meio da modulação da microbiota gastrointestinal. Bactérias ácido-láticas e leveduras estão entre os microrganismos utilizados na alimentação animal e podem favorecer o equilíbrio da microbiota, limitar o desenvolvimento de microrganismos potencialmente patogênicos e contribuir para a utilização dos nutrientes da dieta (Hall; Mertens, 2017; Mamuad *et al*., 2019).

Os óleos essenciais (OE) também têm sido estudados como aditivos alternativos

devido à presença de diferentes compostos bioativos, especialmente terpenoides e seus derivados, associados às suas propriedades biológicas. Esses compostos podem apresentar atividades antimicrobiana, antifúngica, antiparasitária e antioxidante, além de modular a microbiota gastrointestinal e a resposta imunológica, características que sustentam seu potencial de utilização na alimentação animal (Nehme *et al*., 2021).

OBJETIVO

Estudar a eficácia de probióticos e óleos essenciais em substituição aos antimicrobianos melhoradores de desempenho, levando em conta o atual panorama de preocupação com a saúde pública e as alterações econômicas de ordem global que as decisões quanto ao veto podem ocasionar.

METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica e caráter exploratório, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. O levantamento foi realizado no Google Acadêmico, utilizando combinações de descritores em português relacionados ao uso de probióticos e OE como alternativas aos antibióticos melhoradores de desempenho na alimentação animal, com ênfase em ruminantes.

Foram priorizados artigos científicos em português e inglês que abordassem os mecanismos de ação e os efeitos dos probióticos e OE sobre a microbiota e a fermentação ruminal, saúde, desempenho e eficiência produtiva dos animais. Também foram consultados trabalhos relacionados ao uso de antimicrobianos como aditivos na produção de ruminantes e às restrições associadas à sua utilização.

As publicações foram selecionadas considerando sua pertinência ao tema, relevância científica e relação com os objetivos do estudo. Posteriormente, as informações foram analisadas de forma qualitativa, descritiva e interpretativa, buscando identificar e comparar os mecanismos de ação, efeitos e limitações do uso de probióticos e OE, bem como seu potencial como alternativas aos antibióticos melhoradores de desempenho na produção de ruminantes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso dos antimicrobianos na produção animal está relacionado à busca por maior eficiência produtiva por meio do progresso da conversão alimentar, do controle de alterações no ambiente ruminal do desempenho dos animais. Entre os aditivos tradicionalmente empregados na alimentação de ruminantes destacam-se os ionóforos, como a monensina, e os antibióticos não ionóforos, como a virginiamicina (Embrapa, 2006; Lana; Medeiros, 2007). Entretanto, a utilização desses compostos tem sido questionada em razão da necessidade de redução do uso de antimicrobianos na produção animal e dos impactos relacionados à resistência cruzada (Névoa *et al*., 2013).

Nesse contexto, a utilização de compostos naturais, como probióticos e OE, tem sido

estudada como alternativa aos AMD. Essas alternativas podem atuar sobre a microbiota e a fermentação ruminal, possibilitando manter ou melhorar a eficiência da utilização dos nutrientes pelos animais (Benchaar *et al*., 2008; Reuben *et al*., 2022).

Probióticos como alternativa aos antibióticos

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, podem proporcionar efeitos benéficos ao hospedeiro. Na produção de ruminantes, sua utilização está relacionada principalmente à modulação do microbioma gastrointestinal e ruminal, podendo contribuir para a estabilidade do ambiente ruminal e para o aproveitamento dos nutrientes (Adjei-Fremah *et al*., 2018).

A utilização dos probióticos têm o potencial de favorecer esses processos por meio da interação com diferentes grupos microbianos e da alteração das condições de fermentação. Como consequência, podem ocorrer alterações na produção de ácidos graxos voláteis (AGV's), na utilização de substratos e na eficiência da fermentação ruminal (Retta, 2016; Reuben *et al*., 2022).

Entre os microrganismos utilizados como probióticos destacam-se bactérias ácido-láticas, espécies do gênero *Bacillus*, *Enterococcus* e microrganismos utilizados na modulação da fermentação ruminal, além de leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae* (Adjei-Fremah *et al*., 2018; Reuben *et al*., 2022). A utilização de leveduras vivas pode favorecer determinados grupos de microrganismos ruminais, incluindo aqueles relacionados ao aproveitamento de lactato e à digestão da fibra (Callaway; Martin, 1997).

Em ruminantes, a manutenção de condições adequadas no rúmen é fundamental para o aproveitamento dos nutrientes. Alterações no pH, por exemplo, podem prejudicar a digestão da fibra e comprometer a saúde dos animais, especialmente em dietas com elevada proporção de concentrado (Plaizier et al., 2008). Nesse sentido, determinados probióticos podem contribuir para a estabilidade da fermentação ruminal e auxiliar na prevenção da acidose (Retta, 2016; Reuben *et al*., 2022).

A relação entre probióticos e produção de leite pode estar associada à capacidade desses microrganismos de modificar a fermentação ruminal e o aproveitamento dos nutrientes. Estudos com leveduras vivas, por exemplo, demonstraram efeitos sobre a digestibilidade da dieta e o desempenho de vacas leiteiras (Bitencourt *et al*., 2011). Entretanto, as respostas produtivas não são homogêneas, podendo variar conforme o produto utilizado, a dose, a dieta e o estágio fisiológico dos animais (Reuben *et al*., 2022).

Além dos efeitos produtivos, a utilização de probióticos apresenta interesse em razão de sua possível contribuição para a redução da dependência de antimicrobianos. A utilização de microrganismos benéficos pode representar uma estratégia para modulação da microbiota e manutenção da saúde animal, reduzindo a necessidade de intervenções. (Adjei-Fremah *et al*., 2018).

Cerutti *et al*. (2025) avaliaram 40 novilhas F1 Angus × Nelore, com aproximadamente 15 meses e 350 kg, divididas em dois grupos de 20 animais, recebendo dieta com relação

volumoso:concentrado de 6:94, contendo monensina sódica ou probiótico à base de leveduras (Levucell® SC). Os animais foram observados durante 12 horas diurnas, em intervalos de cinco minutos, para avaliação dos comportamentos de andar, beber, comer, ócio e ruminação. Os animais suplementados com probiótico apresentaram maior tempo de locomoção (8,02 vs. 5,76 minutos) e ócio (571 vs. 544 minutos) e menor tempo destinado à alimentação (106 vs. 125 minutos). Não foram observadas diferenças no tempo de ingestão de água (11,2 minutos) ou de ruminação (40,7 minutos) (Cerutti *et al*., 2025). Assim, o estudo demonstrou alteração no tempo destinado à alimentação, não sendo possível inferir redução na quantidade de alimento ingerida.

Dessa forma, os resultados indicam que os probióticos apresentam potencial como alternativa aos antimicrobianos, principalmente em razão de seus efeitos sobre a microbiota e a fermentação ruminal. Entretanto, sua utilização deve considerar as características específicas do microrganismo, a dose empregada, a composição da dieta e a categoria animal, uma vez que esses fatores podem influenciar a resposta obtida (Retta, 2016; Reuben *et al*., 2022).

Óleos essenciais como alternativa aos antibióticos

Os OE são formados por diferentes compostos químicos e apresentam ampla diversidade de moléculas bioativas, cuja composição varia de acordo com a espécie vegetal, o órgão da planta utilizado e as condições de extração (Benchaar *et al*., 2008).

Entre os compostos presentes nos OE encontram-se terpenos e seus derivados, além de diferentes classes de compostos orgânicos que podem apresentar atividade biológica (Benchaar *et al*., 2008). Essa diversidade química está diretamente relacionada aos diferentes efeitos observados quando esses produtos são utilizados na alimentação animal.

Os OE podem apresentar atividade antimicrobiana devido à interação de seus componentes com as membranas celulares dos microrganismos. Essa ação pode alterar a permeabilidade da membrana e interferir no metabolismo microbiano (Calsamiglia *et al*., 2007; Benchaar *et al*., 2008).

No rúmen, essas características podem resultar em modificações na população microbiana e nos processos de fermentação. A utilização de OE pode alterar a produção de AGV's, a concentração de amônia e a produção de metano (Calsamiglia *et al*., 2007; Patra; Yu, 2012).

A capacidade de modificar a fermentação ruminal é um dos principais fatores que justificam o interesse pelos OE como alternativas aos ionóforos. Diferentes compostos presentes nesses produtos podem atuar sobre grupos específicos de microrganismos, modificando a fermentação e, consequentemente, o aproveitamento dos nutrientes (Benchaar *et al*., 2008; Khiaosa-ARD; Zebeli, 2013).

A análise dos trabalhos demonstra ainda que a resposta aos OE pode ser dependente da dose. Concentrações elevadas podem provocar alterações mais intensas na atividade

microbiana, enquanto concentrações menores podem apresentar efeitos mais discretos (Calsamiglia Et Al., 2007; Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013). Dessa maneira, a determinação da dose adequada é fundamental para que a utilização desses produtos não comprometa a fermentação ruminal e o aproveitamento dos nutrientes.

Quando comparados à monensina, os OE apresentam resultados variáveis. A monensina possui ação conhecida sobre grupos específicos de bactérias ruminais e pode melhorar a eficiência alimentar dos bovinos (Duffield; Merrill; Bagg, 2012). Já os OE podem produzir alterações semelhantes em alguns parâmetros fermentativos, mas seus efeitos dependem da composição e da concentração dos compostos utilizados (Benchaar Et Al., 2008; Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013).

Rivaroli (2014) avaliou o desempenho e características de carcaça de vinte sete bovinos mestiços (1⁄2 Angus vs. 1⁄2 Nelore) não castrados, com peso médio inicial de 243,2 ± 35,3 kg e idade de 12 meses. Foram oferecidos os seguintes tratamentos: Controle (CON), com adição 3,5 g/animal/dia (E 3,5) e adição de 7,0 g/animal/dia (E7,0) de OE. A inclusão de OE às dietas não influenciou o peso vivo final (PVF) e o ganho de peso médio diário (GMD). O PVF e o GMD observados foram de 440,3 kg e 1,64 kg/dia respectivamente. Apesar de o PVF dos bovinos ter sido baixo, eles apresentaram boa qualidade de gordura de cobertura. A ingestão de matéria seca (IMS) não foi alterada com a adição de OE que foi de 7,1 kg/dia. Apesar desses compostos apresentarem propriedades palatáveis não foi encontrado efeito. Zotti (2014) analisou o uso da monensina e dos OE em dietas com elevada proporção de alta energia oferecida de forma abrupta a 12 novilhos canulados. Os tratamentos foram: sem aditivos (CTR); 400 mg de OEs de mamona e líquido da casca de caju/kg de MS ingerida (OE); 30 mg de monensina/kg de MS ingerida (M30) e 40 MG de monensina/kg de MS ingerida (M40). Os novilhos recebendo OE apresentaram maior IMS em relação aos demais tratamentos no dia 12, enquanto no dia 4 e dia 9 o grupo OE apresentou maior IMS do que M40. As diferenças na IMS entre os tratamentos foram mais pronunciadas na primeira semana após a transição abrupta. No dia 3 a IMS apresentou redução de 24,6%, 31,6%, 42,1% e 46, 3%, respectivamente para CTR, OF, M30 e M40 comparado ao dia 2.

A eficiência de um aditivo não deve ser determinada apenas por sua capacidade de modificar a população microbiana, mas também pela capacidade de produzir respostas positivas ou, pelo menos, manter o desempenho produtivo dos animais (Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013). Esse fator é importante para a avaliação da alternativa.

Comparação entre probióticos e óleos essenciais

A análise conjunta dos trabalhos demonstra que probióticos e OE apresentam potencial como alternativas aos antimicrobianos, porém possuem mecanismos de ação distintos. Os probióticos atuam principalmente por meio da modulação da microbiota e da interação com os microrganismos presentes no trato gastrointestinal e no rúmen (Adjei-Fremah *et al*., 2018; Reuben *et al*., 2022). Os OE, por sua vez, apresentam compostos

bioativos capazes de interferir diretamente na atividade de diferentes microrganismos e modificar os processos de fermentação ruminal (Calsamiglia *et a*l., 2007; Benchaar *et al*., 2008).

Nos estudos com probióticos, destacam-se resultados relacionados à estabilidade da fermentação, digestibilidade, saúde ruminal e, em determinadas condições, desempenho produtivo (Coelho *et al*., 2020; Reis, 2025). Já os OE apresentam destaque principalmente em relação à modulação da fermentação, atividade antimicrobiana, produção de metano e alteração da população microbiana ruminal (Patra; Yu, 2012; Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013).

Apesar das diferenças entre as duas alternativas, ambas apresentam uma característica em comum: a resposta depende das condições de utilização. No caso dos probióticos, fatores como espécie ou cepa microbiana, dose, dieta e categoria animal podem interferir nos resultados (Reuben *et al*., 2022). Para os OE, a composição química, a concentração, a combinação de compostos e as características da dieta também influenciam diretamente a resposta observada (Benchaar *et al*., 2008; Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013).

Dessa forma, os resultados não permitem afirmar que probióticos ou OE sejam substitutos universais dos antimicrobianos. O potencial dessas alternativas está principalmente na possibilidade de reduzir a utilização de antibióticos e ionóforos em determinadas condições, mantendo parâmetros adequados de saúde e desempenho animal (Coelho *et al*., 2020; Costa, 2021).

Relevância da substituição dos antimicrobianos

A busca por alternativas aos AMD apresenta importância adicional diante da preocupação mundial com a resistência bacteriana. Seu uso de pode exercer pressão seletiva sobre populações bacterianas, favorecendo a manutenção de microrganismos resistentes (Névoa *et al*., 2013). Nesse cenário, estratégias nutricionais que possibilitem reduzir a utilização desses compostos podem contribuir para uma abordagem mais racional do uso de antimicrobianos na produção animal.

Os probióticos apresentam potencial nesse contexto por atuarem sobre a microbiota sem depender da mesma estratégia de ação dos antibióticos convencionais (Adjei-Fremah *et al*., 2018; Anee *et al*., 2021). Os OE também são considerados alternativas promissoras devido à diversidade de compostos bioativos e aos diferentes mecanismos pelos quais podem interferir na atividade microbiana (Benchaar *et al*., 2008; Nehme *et al*., 2021).

Entretanto, a substituição dos antimicrobianos deve considerar não apenas a origem natural do aditivo, mas principalmente sua eficácia e segurança. Um produto natural não é necessariamente capaz de reproduzir os efeitos de um antibiótico ou ionóforo, sendo necessário avaliar sua capacidade de manter o desempenho, a saúde e a eficiência alimentar dos animais (Khiaosa-Ard; Zebeli, 2013; Reuben *et al*., 2022).

Os resultados dos trabalhos demonstram que a utilização de probióticos e OE deve ser compreendida como uma estratégia de substituição ou redução gradual. A escolha do aditivo deve considerar a categoria animal, o sistema de produção, a composição da dieta,

a finalidade da suplementação (Coelho *et al*., 2020; Costa, 2021).

Por fim, a utilização de alternativas naturais apresenta potencial para contribuir com sistemas de produção que busquem reduzir a dependência de antimicrobianos, especialmente diante das mudanças nas exigências sanitárias e comerciais relacionadas à produção de alimentos de origem animal (Coelho, 2026; Fipe, 2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados nos artigos analisados demonstram que os probióticos apresentam potencial, principalmente por seus efeitos sobre a microbiota, a fermentação do rúmen, a digestibilidade e a saúde gastrointestinal. Da mesma forma, os OE demonstraram potencial devido às suas propriedades antimicrobianas e à capacidade de modificar a fermentação e a microbiota.

Porém, a utilização desses aditivos naturais não apresenta uniformidade nos resultados, podendo sofrer influência por diversos fatores como a composição, dose, a categoria animal e dieta. Não é possível afirmar, com base na literatura revisada, que probióticos ou OE sejam capazes substituir os AMD, porém podem ser considerados como alternativa.

Possibilitou concluir, portanto, que probióticos e OE constituem alternativas promissoras para a redução do uso de antimicrobianos na produção animal, podendo contribuir para sistemas produtivos sustentáveis e alinhados às atuais exigências sanitárias. Contudo, se faz necessária a ampliação de estudos para determinar as condições de utilização que proporcionem maior eficiência e resultados consistentes, especialmente quanto a dosagens, combinações e diferentes criações.

Por fim, diante do cenário atual de exportações, o desenvolvimento de alternativas nutricionais demonstra importância para a saúde e desempenho animal, bem como a adequação da produção brasileira às demandas sanitárias e comerciais do mercado internacional.

REFERÊNCIAS

ADJEI-FREMAH, S.; EKWEMALOR, K.; WORKU, M.; IBRAHIM, S. **Probiotics and ruminant health**. London: IntechOpen, 2018. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/58507. Acesso em: 15 ago. 2026.

ADNANE, M.; WHISTON, R.; TASARA, T.; BLEUL, U.; CHAPNYWA, A. **Harnessing vaginal probiotics for enhanced management of uterine disease and reproductive performance in dairy cows: a conceptual review**. Animals, Basel, v. 14, n. 7, p. 1073, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14071073.

AIKMAN, P. C.; HENNING, P. H.; HUMPHRIES, D. J.; HORN, C. H. R. **Rumen pH and fermentation characteristics in dairy cows supplemented with Megasphaera elsdenii NCIMB 41125 in early lactation**. Journal of Dairy Science, Champaign, v. 94, n. 6, p. 2840-2849, 2011. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2010-3783.

ALMADA, A. F. B.; SANTOS, I. C.; BARBOSA, L. N.; BORGES, J. L.; PIAU JUNIOR, R. **Probióticos e simbiótico no perfil microbiológico e resistência a antibióticos em bactérias do leite**. Revista Thêma et Scientia, Cascavel, v. 11, n. 1, p. 157-164, jan./jun. 2021. Disponível em: https://themaetscientia.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/1103/1141. Acesso em: 15 ago. 2026.

ANEE, I. J.; ALAM, S.; BEGUM, R. A.; SHAHJAHAN, R.; KHANDAKER, A. M. **The role of probiotics on animal health and nutrition**. The Journal of Basic and Applied Zoology, v. 82, n. 52, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s41936-021-00250-x.

AYYAT, M. S.; ABDEL MONEM, U. M.; ABDEL-RAHMAN, G.; HUSSEIN, A. I.; EL-NAGAR, H. A.; WAFA, W. M.; MAHGOUB, S.; AL-SAGHEER, A. A. **Supplementation of multistrain probiotics improves milk production, blood metabolites, digestibility, and rectal microbiota during the prepartum and early lactation stages in crossbred cows**. Veterinary Medicine International, v. 2024, art. 7646024, 2024. DOI: https://doi.org/10.1155/2024/7646024.

BACH, A.; LÓPEZ-GARCÍA, A.; GONZÁLEZ-RECIO, O.; ELCOSO, G.; FÀBREGAS, F.; CHAUCHEYRAS-DURAND, F.; CASTEX, M. **Changes in the rumen and colon microbiota and effects of live yeast dietary supplementation during the transition from the dry period to lactation of dairy cows**. Journal of Dairy Science, v. 102, n. 7, p. 6180-6198, 2019. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2018-16105.

BENCHAAR, C. et al. **A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production**. Animal Feed Science and Technology, v. 145, n. 1-4, p. 209-228, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.

CALSAMIGLIA, S. L.; BUSQUET, M.; CARDOZO, P. W.; CASTILLEJOS, L.; FERRET, A. **Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation**. Journal of Dairy Science, v. 90, n. 6, p. 2580-2595, 2007. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2006-644.

CERUTTI, Thays Conrado; LARA, Renato Oliveira Dorna; CANUTO, Nelson Guimaraes Dantas; SANTOS JUNIOR, Luis Carlos Jacques dos; MARTINS, Gabriela; MORAES, Luana Prado; CHAPARRO, Aline Dutra; DEVECHIO, Gracielle Chaves; SILVA JUNIOR, Jarbas Miguel da; FERNANDES, Henrique Jorge. **Efeito do uso de probiótico em substituição a ionóforo em dietas de alto grão sobre o comportamento de bovinos confinados**. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, v. 33, supl. 1, 2025.

COELHO, N. P.; MARQUES, A. V. M. S. **Gestão de antimicrobianos em animais de produção e os reflexos na saúde pública: uma revisão bibliográfica**. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 1-18, 2026. DOI: https://doi.org/10.34188/bjaerv9n2-040

DUFFIELD, T. F.; MERRILL, J. K.; BAGG, R. N. **Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake**. Journal of Animal Science, v. 90, p. 4583-4592, 2012. DOI: https://doi.org/10.2527/jas.2011-5018.

EMBRAPA. **Utilização de ionóforos para bovinos de corte**. Documento 101. [S. l.]: Embrapa, 2006.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. **Informações Fipe: maio de 2026**. São Paulo: FIPE, 2026. Disponível em: https://downloads.fipe.org.br/publicacoes/bif/bif548.pdf. Acesso em: 21 ago. 2026.

GUNAL, M.; ISHLAK, A.; ABUGHAZALEH, A. A. **Evaluating the effects of six essential oils on fermentation and biohydrogenation in vitro rumen batch cultures**. Czech Journal of Animal Science, Praha, v. 58, n. 6, p. 243-252, 2013. DOI: https://doi.org/10.17221/6822-CJAS.

KHIAOSA-ARD, R.; ZEBELI, Q. **Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants**. Journal of Animal Science, Albany, v. 91, p. 1819-1830, 2013. DOI: https://doi.org/10.2527/jas.2012-5691.

LANA, D. P. D.; MEDEIROS, S. R. **Uso de aditivos na bovinocultura de corte**. In: SANTOS, F. A. P.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Requisitos de qualidade na bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 297-324.

NEHME, R.; ANDRÉS, S.; PEREIRA, R. B.; BEN JEMAA, M.; BOUHALLAB, S.; CECILIANI, F.; LÓPEZ, S.; RAHALI, F. Z.; KSOURI, R.; PEREIRA, D. M.; ABDENNEBI-NAJAR, L. **Essential oils in livestock: from health to food quality**. *Antioxidants*, v. 10, n. 2, p. 330, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox10020330.

NÉVOA, M. L.; CARAMORI JUNIOR, J. G.; VIEITES, F. M.; NUNES, R. V.; DE VARGAS JUNIOR, J. G.; KAMIMURA, R. **Antimicrobianos e prebióticos nas dietas de animais não ruminantes**. *Revista Scientia Agraria Paranaensis*, v. 12, n. 2, p. 85-95, abr./jun. 2013. DOI: https://doi.org/10.18188/sap.v12i2.6619

PATRA, K. A.; YU, Z. **Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations**. Applied and Environmental Microbiology, Oxford, v. 78, n. 12, p. 4271-4280, 2012. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.00309-12.

RETTA, K. S. **Role of probiotics in rumen fermentation and animal performance: a review**. International Journal of Livestock Production, v. 7, n. 5, p. 24-32, 2016. DOI: https://doi.org/10.5897/IJLP2016.0285

REUBEN, R. C.; ELGHANDOUR, M. M. M. Y.; ALQAISI, O.; CONE, J. W.; MÁRQUEZ, O.; SALEM, A. Z. M. **Influence of microbial probiotics on ruminant health and nutrition: sources, mode of action and implications**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 102, n. 4, p. 1319-1340, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.11643.

RIVAROLI, D. C. **Níveis de óleos essenciais na dieta de bovinos de corte terminados em confinamento: desempenho, características da carcaça e qualidade da carne**. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

ZOTTI, C. A. **Uso de monensina e óleos funcionais de mamona e caju em dietas com elevada proporção de concentrado fornecidas de forma abrupta para bovinos Nelore confinados**. 2014. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.

CAPÍTULO 25

PREVALÊNCIA DE CLAUDICAÇÃO E AFECÇÕES PODAIS EM REBANHO LEITEIRO COMERCIAL BRASILEIRO: ESTUDO DE CASO DE PODODERMATITE CIRCUNSCRITA (ÚLCERA DE SOLA)

Nathália de Lima Mendes[1];
[1]Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Rodolfo Henrique Silva Pereira[2];
[2]Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Santos Siqueira[3];
[3]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Marcela Rodrigues de Oliveira[4];
[4]Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[5];
[5]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7].
[7]Universidade de São Paulo (FZEA-USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: As afecções podais constituem importantes causas de perdas produtivas na bovinocultura leiteira e podem ser classificadas em infecciosas e não infecciosas. Entre as afecções de origem não infecciosa, destaca-se a pododermatite circunscrita (úlcera de sola), uma lesão associada à dor e redução do desempenho produtivo. O presente estudo descreve a prevalência de claudicação e afecções podais em um rebanho leiteiro comercial brasileiro, com ênfase no acompanhamento terapêutico de uma vaca da raça Holandesa com úlcera de sola. Durante o período de acompanhamento, observou-se evolução clínica favorável caracterizada pela cicatrização completa da lesão e recuperação da produção de leite. O estudo evidencia a importância do diagnóstico precoce, do adequado manejo das lesões podais e da adoção de medidas terapêuticas que favoreçam a recuperação da locomoção e do desempenho produtivo dos animais.

PALAVRAS-CHAVES: Bovinocultura leiteira. Podologia. Claudicação.

PREVALENCE OF LAMENESS AND FOOT DISEASES IN A BRAZILIAN COMMERCIAL DAIRY HERD: A CASE STUDY OF CIRCUMSCRIPT PODODERMATITIS (SOLE ULCER)

ABSTRACT: Foot disorders are major causes of productivity losses in dairy cattle and can be classified as infectious or non-infectious. Among non-infectious disorders, circumscribed pododermatitis (sole ulcer) stands out as a lesion associated with pain and reduced productivity. This study describes the prevalence of lameness and foot disorders in a Brazilian commercial dairy herd, with an emphasis on the therapeutic management of a Holstein cow with a sole ulcer. During the follow-up period, a favorable clinical course was observed, characterized by complete healing of the lesion and recovery of milk production. This study highlights the importance of early diagnosis, proper management of foot lesions, and the implementation of therapeutic measures that promote the recovery of the animals' mobility and productive performance.

KEY-WORDS: Dairy cattle. Lameness. Podiatry.

INTRODUÇÃO

As afecções podais constituem um dos principais desafios sanitários da bovinocultura leiteira repercutindo diretamente sobre a saúde, o desempenho produtivo e o bem-estar dos animais (Barker et al., 2010; Urban-Chmiel et al., 2024). Com etiologias multifatoriais, as lesões são observadas predominantemente em vacas criados em sistema intensivo devido a exposição repetida a superfícies rígidas, abrasivas e úmidas (Urban-Chmiel et al., 2024; Garvey, 2022; Oehm et al., 2019). Além dos fatores ambientais e mecânicos, a elevada demanda metabólica e mobilização excessiva de reservas corporais durante o período de transição, podem aumentar a predisposição às enfermidades podais tanto de origem infecciosa ou não infecciosa (Alawneh et al., 2014; Bicalho; Oikonomou, 2013; Bran et al., 2018).

Entre as afecções de origem infecciosa pode-se citar as mais comuns como dermatites interdigitais, necrobacilose interdigital e hiperplasia interdigital, já as não infecciosas, doença da linha branca e pododermatite circunscrita, relacionadas de maneira geral a traumatismos mecânicos (Eriksson et al., 2020). A pododermatite circunscrita é uma lesão crônica localizada na região da sola do animal, comumente chamada de úlcera de sola, tendo como sintomatologia indicativa o desenvolvimento de um hematoma e sensibilidade dolorosa quando uma pressão é exercida na região devido a sua cicatrização lenta (Capion et al., 2022; Pirkkalainen et al., 2022).

Nesse contexto, o casqueamento é uma importante medida e constitui uma das principais ferramentas de manejo, podendo ser de forma preventiva, ou seja, com inspeção periódica e o aparamento funcional dos cascos ou o casqueamento corretivo, comumente

empregado para em caso de identificação e tratamento de lesões estabelecidas (Solano et al., 2015; Griffiths et al., 2018; Åkerström et al., 2025). Diante disso, a saúde do casco deve ser incorporada aos programas de gestão sanitária do rebanho, uma vez que estratégias eficazes de prevenção e tratamento podem contribuir para a melhoria do bem-estar animal e da eficiência econômica da propriedade (Stillwell et al., 2019; Waldbauer et al., 2024; Olechnowicz; Jaskowski et al., 2011).

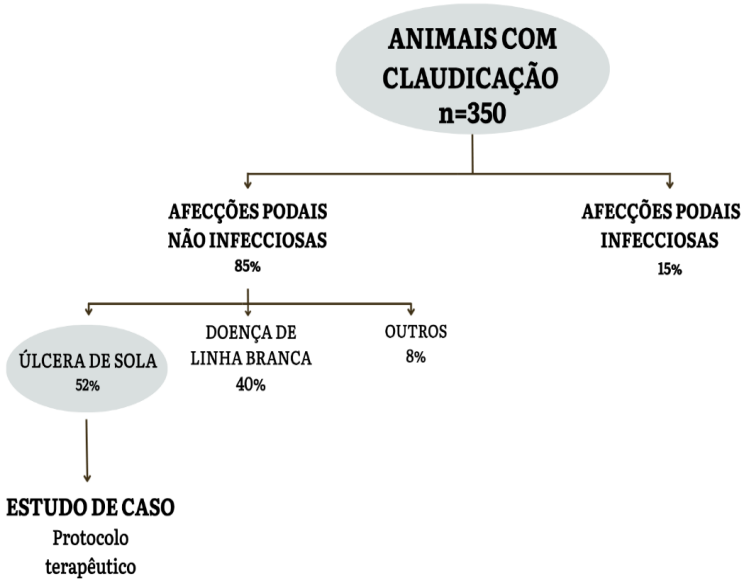
OBJETIVO

Considerando a relevância do impacto das afecções podais para a saúde e a eficiência produtiva de bovinos leiteiros, o presente estudo teve como objetivo relatar um estudo de caso de pododermatite circunscrita (úlcera de sola) em uma vaca da raça Holandesa, descrevendo os achados clínicos, os procedimentos de casqueamento e tratamento empregados e a evolução do quadro locomotor e produtivo após a intervenção.

METODOLOGIA

Ao longo de quatro meses, foi realizado o acompanhamento dos índices de claudicação em um rebanho de uma fazenda comercial de bovinos leiteiros no interior de São Paulo. Durante o período foram selecionados 350 bovinos da raça Holandesa, desses, 85% apresentaram afeccções podais de origem não infecciosa, enquanto 15% foram diagnosticados com afecções de origem infecciosa. Entre o grupo das lesões não infecciosas observadas, houve uma prevalência de pododermatite circunscrita (úlcera de sola) representando 52% dos casos, seguida pela doença de linha branca com 40% dos casos e demais afecções não infeciossas correspondendo a 8% (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma com a distribuição das afecções podais e delineamento do estudo de caso com os animais acometidos por úlcera de sola.



Fonte: Autoria própria.

Os animais eram mantidos em sistema free stall climatizado e, duas vezes por semana, durante o deslocamento para ordenha, passavam por um pedilúvio contendo solução de sulfato de cobre a 10% como protocolo de manejo adotado na propriedade. Considerando a alta prevalência de pododermatite circunscrita entre as afecções podais diagnosticadas durante o período de acompanhamento, foi desenvolvimento um estudo de caso. Os animais acometidos seguiram o protocolo terapêutico rotineiramente empregado na propriedade e para ilustrar a aplicação desse protocolo e a evolução clínica da afecção, apresenta-se a seguir o acompanhamento de um caso representativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Intervenções terapêuticas e tratamento para úlcera de sola – estudo de caso

O tratamento das afecções podais deve considerar a natureza e a extensão da lesão, a intensidade da dor, o comprometimento locomotor e a presença de alterações secundárias (Thomas et al., 2015; Mason et al.,2023; Sadiq et al., 2024; Stoddard et al.,2025). No caso das lesões de casco de origem não infecciosa, como a úlcera de sola, o objetivo do casqueamento terapêutico é remover o tecido córneo comprometido, reduzir a pressão sobre a área lesionada e o controle da dor (Klawitter et al., 2019; Sadiq et al., 2022; Capion et al., 2022).

A abordagem terapêutica descrita na literatura é exemplificada, neste capítulo, pelo acompanhamento de um estudo de caso em um rebanho leiteiro comercial envolvendo uma vaca Holandesa em período de transição, com aproximadamente 700kg de peso corporal e produção de 50 kg de leite/dia que apresentava claudicação moderada no membro pélvico direito, classificada como escore 3 em uma escala de 1 a 5 (Sprecher et al.,1997). Na avaliação locomotora, o animal apresentava arqueamento do dorso e passos curtos além de um acentuado declínio em sua produção leiteira (Figura 2).

Figura 2: A- Vaca da raça holandesa com dorso arqueado e encurtamento da fase de apoio do membro pélvico direito, classificada em escore 3 de claudicação. B - Animal com apoio do casco em "pinça" evidenciando desconforto.

Fonte: Arquivo pessoal.

Na inspeção do membro acometido, foi possível observar um aumento de volume e temperatura na região do casco, sensibilidade dolorosa à palpação, presença de um hematoma e uma área com perfuração de sola na unha lateral do membro pélvico direito, sendo esses achados compatíveis com o diagnóstico de úlcera de sola (Figura 4A/4B).

Estudos demonstram que há um risco aproximadamente duas vezes maior de lesões em unhas de vacas que já apresentaram lesões podais em lactações anteriores do que em vacas que nunca apresentaram (Oikonomu et al., 2013; Thomsen; Houe, 2024), reforçando como a produção de leite está intimamente ligada com os fatores de risco para o desenvolvimento de afecções podais, sendo em sua maioria, enfermidades presentes no período de transição (Daros et al.,2019; Oehm et al., 2019; Eriksson et al., 2021).

Em relação ao modelo de tratamento adotado, foi realizado o casqueamento terapêutico com remoção de todo tecido lesionado da área comprometida (Figura 4C), limpeza da unha com água e solução de clorexidine a 2% em abundância, seguida de aplicação de tintura de iodo 10%, pomada cicatrizante em pasta e, por último, aplicação de antibiótico tópico em pó por toda sola do animal (Figura 4D). Como medida destinada à redução da sobrecarga sobre a unha acometida, foi fixado com resina na unha saudável, um taco de madeira em formato anatômico, mantendo a unha lesionada elevada e reduzindo seu contato com o solo (Figura 4D).

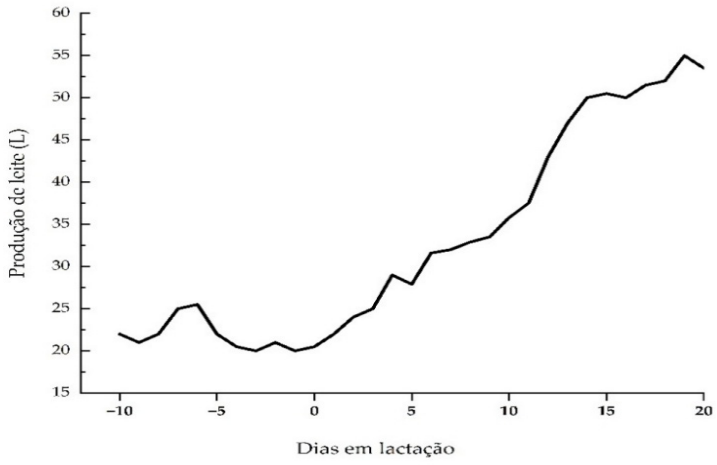
A utilização do taco de maneira nesse estudo está de acordo com a abordagem terapêutica descrita para maioria das lesões de sola (Klawitter et al., 2019; Thomas et al., 2015; Arunvipas et al., 2023; Plüss et al., 2021) na qual há a transferência de carga para a unha não afetada, favorecendo a recuperação principalmente aliada a não utilização de bandagem. A conduta terapêutica incluiu ainda a administração de um antiiflamatório não esteroidal (Maxicam 2%® IM CID 0,5mg/kg) visto que o controle da dor constitui um componente importante do tratamento, considerando que as lesões de sola estão entre as afecções podais associadas à intensa dor e claudicação (Barker et al., 2010; Åkerström et al., 2025). Há um consenso entre os estudos na utilização de antiinflamatórios não esteroidais de forma complementar ao casqueamento, com resultados promissores (Janssen et al., 2019; Sadiq et al., 2022; Wilson et al., 2022; Roche et al., 2024).

Figura 4: A – seta vermelha indicando presença de hematoma; seta amarela indicando a possível suspeita de perfuração de sola. Letra B – seta amarela confirmando o diagnóstico de perfuração de sola (úlcera de sola) durante o procedimento do casqueamento. Letra C – retirada da região lesionada da unha. Letra D – final do procedimento com fixação do tamanco de madeira na unha saudável.

Fonte: Arquivo pessoal.

A evolução clínica foi acompanhada por avaliações subsequentes. Após sete dias do início do tratamento, embora ainda fosse observada claudicação, havia um início do processo de cicatrização da lesão e desgaste parcial do taco de madeira, sem necessidade de substituição (Figura 5A). Na segunda avaliação, realizada 14 dias após o início do tratamento, observou-se evolução clínica favorável, caracterizada por melhora do apoio do membro acometido, redução da claudicação e recuperação da produção de leite (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Comparação da produção de leite antes, durante e após casqueamento terapêutico e terapia medicamentosa instituída (dia 0).



Ao final dos 30 dias de acompanhamento, o animal não apresentava sinais evidentes de claudicação e a unha apresentava aspecto saudável. Diante da recuperação clínica, o

taco de madeira foi removido e o animal recebeu alta (Figura 5B).

Figura 5: A- Unha lateral direita do membro pélvico direito, uma semana após o início do casqueamento. Seta indicando início de processo de cicatrização. B- Casco do animal após 1 mês conduta terapêutica.

Fonte: Arquivo pessoal

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As afecções podais constituem um dos principais desafios dentro da bovinocultura leiteira especialmente em sistemas intensivos cujo fatores relacionados ao manejo, à nutrição e às condições de alojamento podem predispor ao desenvolvimento de lesões. Entre essas afecções, a pododermatite circunscrita (úlcera de sola) apresenta importante repercussão clínica em razão da dor associada à lesão, podendo comprometer o desempenho produtivo dos animais.

A adoção de estratégias de manejo preventivo, como o casqueamento realizado de forma periódica e o monitoramento do escore de locomoção, contribui para a identificação de alterações podais. O caso apresentado neste capítulo demonstra a aplicabilidade dessa abordagem em um rebanho comercial leiteiro com evolução clínica favorável após as intervenções terapêuticas. Dessa forma, o diagnóstico correto e a instituição de um tratamento adequado são fundamentais para minimizar os índices de claudicação e os impactos das doenças de casco sobre a saúde, o bem-estar e a produtividade de bovinos leiteiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÅKERSTRÖM, F.; EMANUELSON, U.; NIKKHAN, A.; AHLÉN, D.; BERGSTEN, C. Risk factors for sole ulcers in Swedish dairy herds: A herd-level case-control study. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 2, p. 1820–1831, 2025. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25700.

ALAWNEH, J. I.; LAVEN, R. A.; STEVENSON, M. A. The effect of lameness on the fertility

of dairy cattle in a seasonally breeding pasture-based system. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5487–5493, 2011. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4395.

ARUNVIPAS, P.; SETKIT, T.; WONGSANIT, J.; RUKKWAMSUK, T.; HOMWONG, Nitipong; S., A. Effect of claw blocks on the healing duration and lesion severities of claw lesions in lame cows in Western Thailand. **Veterinary World**, v. 16, n. 2, p. 258-263, 2023. https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.258-263.

BARKER, Z. E.; LEACH, K. A.; WHAY, H. R.; BELL, N. J.; MAIN, D. C. J. Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 3, p. 932-941, 2010. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2009-2309.

BICALHO, R. C.; OIKONOMOU, G. Control and prevention of lameness associated with claw lesions in dairy cows. **Livestock Science**, v. 156, n. 1-3, p. 96–105, 2013. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.007

BRAN, J. A.; DAROS, R. R.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; LEBLANC, S. J.; HÖTZEL, M. J. Cow- and herd-level factors associated with lameness in small-scale grazing dairy herds in Brazil. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 151, p. 79–86, 2018. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.01.006.

BROWNE, N.; HUDSON, C. D.; CROSSLEY, R. E.; SUGRUE, K.; KENNEDY, E.; HUXLEY, J. N.; CONNEELY, M. Cow- and herd-level risk factors for lameness in partly housed pasture-based dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 2, p. 1418–1431, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20767.

CAPION, N.; LASSEN, Y. R.; NIELSEN, M. B. F.; ENEVOLDSEN, C. Association between claw health status and milk yield, cull risk and locomotion score in Danish dairy cows. **The Veterinary Journal**, v. 288, 105886, 2022. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2022.105886.

DAROS, R. R.; ERIKSSON, H. K.; WEARY, D. M.; VON KEYSERLINGK, Marina A. G. Lameness during the dry period: Epidemiology and associated factors. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 12, p. 11414-11427, 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16741.

ERIKSSON, H. K.; DAROS, R. R.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. Effects of case definition and assessment frequency on lameness incidence estimates. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 1, p. 638–648, 2020. https://doi.org/10.3168/jds.2019-1642.

GARVEY, M. Lameness in Dairy Cow Herds: Disease Etiology, Prevention and Management. **Dairy**, v. 3, n. 1, p. 199–210, 2022. https://doi.org/10.3390/dairy3010016

GRIFFITHS, B. E.; GROVE WHITE, D.; OIKONOMOU, G. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 5, 65, 2018. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00065.

JANSSEN, S.; WUNDERLICH, C.; HEPPELMANN, M.; PALME, R.; STARKE, A.; KEHLER, W.; STEINER, A.; RIZK, A.; MEYER, U.; DAENICKE, S.; REHAGE, J. Short communication: Pilot study on hormonal, metabolic, and behavioral stress response to treatment of claw horn lesions in acutely lame dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 9, p. 7481-

7488, 2016. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10703.
KLAWITTER, M.; BRADEN, T. B.; MÜLLER, K. E. Randomized clinical trial evaluating the effect of bandaging on the healing of sole ulcers in dairy cattle. **Veterinary and Animal Science**, v. 8, 100070, 2019. https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100070.
MASON, W. A.; CUTTANCE, E. L.; MÜLLER, K. R.; HUXLEY, J. N.; LAVEN, R. A**.** Graduate Student Literature Review: A systematic review on the associations between nonsteroidal anti-inflammatory drug use at the time of diagnosis and treatment of claw horn lameness in dairy cattle and lameness scores, algometer readings, and lying times. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 11, p. 9021-9037, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22067.
OEHM, A. W.; KNUBBEN-SCHWEIZER, G.; RIEGER, A.; STOLL, A.; HARTNACK, S. A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows. **BMC Veterinary Research**, v. 15, 346, 2019. https://doi.org/10.1186/s12917-019-2095-2.
OIKONOMOU, G.; COOK, N. B.; BICALHO, R. C**.** Sire predicted transmitting ability for conformation and yield traits and previous lactation incidence of foot lesions as risk factors for the incidence of foot lesions in Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 6, p. 3713-3722, 2013. https://doi.org/10.3168/jds.2012-6308.
OLECHNOWICZ, J.; JASKOWSKI, J. M. Reasons for culling, culling due to lameness, and economic losses in dairy cows. **Medycyna Weterynaryjna**, v. 67, n. 9, p. 618-621, 2011.
OMONTESE, B. O.; BELLET-ELIAS, R.; MOLINERO, A.; CATANDI, G. D.; CASAGRANDE, R.; RODRIGUEZ, Z.; BISINOTTO, R. S.; CRAMER, G. Association between hoof lesions and fertility in lactating Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 4, p. 3404–3413, 2020. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17252.
PIRKKALAINEN, H.; TALVIO, I.; KUJALA-WIRTH, M.; SOVERI, T.; ORRO, T. Acute phase response of sole ulcer, white line disease and digital dermatitis in dairy cows. **Veterinary and Animal Science**, v. 17, 100253, 2022. https://doi.org/10.1016/j.vas.2022.100253.
PLÜSS, J.; STEINER, A.; ALSAAOD, M**.** Short communication: Claw block application improves locomotion and weight-bearing characteristics in cattle with foot diseases. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 2, p. 2302-2307, 2021. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19135.
REEDER, M. T.; CRAMER, G.; DÖPFER, D.; BENNETT, T. B.; SILVA, P. R. B. Short communication: Effect of rubber flooring on claw horn lesions and locomotion score in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 11, p. 8382–8393, 2024.
ROCHE, S. M.; RENAUD, D. L.; SARACENI, J.; KELTON, D. F.; DEVRIES, T. J**.** Invited review: Prevalence, risk factors, treatment, and barriers to best practice adoption for lameness and injuries in dairy cattle—A narrative review. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 6, p. 3347-3366, 2024. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2023-23870.
SADIQ, M. B.; RAMANOON, S. Z.; MOSSADEQ, W. M. S.; MANSOR, R.; SYED-HUSSAIN, S. S. Treatment protocols for claw horn lesions and their impact on lameness recovery, pain sensitivity, and lesion severity in moderately lame primiparous dairy cows. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 1060520, 2022. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1060520.
SADIQ, M. B.; RAMANOON, S. Z.; SYED-HUSSAIN, S. S.; MANSOR, R.; MOSSADEQ,

W. M. S.; DEGU, N. Y. Treatment modalities for claw horn lesions and their effects on locomotion scores, gait properties, lesion progression, and nociceptive threshold in dairy cows: A systematic review. **Research in Veterinary Science**, v. 181, 105448, 2024. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.10544.

SOLANO, L.; BARKEMA, H. W.; PAJOR, E. A.; MASON, S.; LEBLANC, S. J.; ZAFFINO HEYERHOFF, J. C.; NASH, C. G. R.; HALEY, D. B.; VASSEUR, E.; PELLERIN, D.; RUSHEN, J.; DE PASSILLÉ, A. M.; ORSEL, K. Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 10, p. 6978–6991, 2015. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9652.

SPRECHER D.J, HOSTETLER D.E, KANEENE J.B. Lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. Theriogenology 47:1178-1187, 1997.

STILWELL, G. T.; FERRADOR, A. M.; SANTOS, M. S.; DOMINGUES, J. M.; CAROLINO, N. Use of topical local anesthetics to control pain during treatment of hoof lesions in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 7, p. 6383–6390, 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15820.

STODDARD, G.; COOK, N.; WAGNER, S.; SOLANO, L.; SHEPLEY, E.; CRAMER, G. A randomized controlled trial to evaluate the effect of 2 hoof trimming methods at dry-off on hoof lesion and lameness occurrence in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 5, p. 5244-5256, May 2025.

THOMAS, H. J.; MIGUEL-PACHECO, G. G.; BOLLARD, N. J.; ARCHER, S. C.; BELL, N. J.; MASON, C.; MAXWELL, O. J. R.; REMNANT, J. G.; SLEEMAN, P.; WHAY, H. R.; HUXLEY, J. N. Evaluation of treatments for claw horn lesions in dairy cows in a randomized controlled trial. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4477-4486, 2015. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8982.

THOMSEN, P. T.; HOUE, H. Early-life cow-level risk factors for sole ulcers in primiparous dairy cows. **JDS Communications**, v. 5, n. 6, p. 634–638, 2024. https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-0544

URBAN-CHMIEL, R.; MUDROŇ, P.; ABRAMOWICZ, B.; KUREK, Ł.; STACHURA, R. Lameness in Cattle—Etiopathogenesis, Prevention and Treatment. **Animals**, v. 14, n. 12, 1836, 2024. https://doi.org/10.3390/ani14121836.

WALDBAUER, E.; FEIST, M.; FISCHER, J.; SCHWEIGER, M. Effect of different hoof trimming frequencies on locomotion score and claw health in dairy cows: A prospective cohort study. **PLOS ONE**, v. 19, n. 4, e0301457, 2024. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301457.

WILSON, J. P.; GREEN, M. J.; RANDALL, L. V.; RUTLAND, C. S.; BELL, N. J.; HEMINGWAY-ARNOLD, H.; THOMPSON, J. S.; BOLLARD, N. J.; HUXLEY, J. N. Effects of routine treatment with nonsteroidal anti-inflammatory drugs at calving and when lame on the future probability of lameness and culling in dairy cows: a randomized controlled trial. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 7, p. 6041-6054, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21329

CAPÍTULO 26

AMINOÁCIDOS E PEPTÍDEOS NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES: METABOLISMO, DISPONIBILIDADE E UTILIZAÇÃO

Marcela Rodrigues de Oliveira[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[2];
[2]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Rodolfo Henrique Silva Pereira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Silva Siqueira[5];
[5]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7].
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: A nutrição proteica dos ruminantes envolve complexas transformações dos compostos nitrogenados no rúmen, que influenciam diretamente a disponibilidade de aminoácidos ao animal. Este capítulo teve como objetivo revisar o metabolismo e a disponibilidade de aminoácidos e peptídeos na nutrição de ruminantes, considerando as transformações ruminais, o aporte pós-ruminal e as estratégias de suplementação. No ambiente ruminal, proteínas são degradadas em peptídeos, aminoácidos e amônia, utilizados pela microbiota para crescimento e síntese de proteína microbiana. A eficiência desse processo depende, principalmente, da disponibilidade e sincronização entre energia fermentescível e nitrog ênio. O suprimento intestinal de aminoácidos é proveniente principalmente da proteína microbiana, da proteína dietética não degradada no rúmen e de fontes endógenas. Lisina e metionina destacam-se entre os aminoácidos potencialmente limitantes, especialmente em animais de elevada produção. Nesse contexto, estratégias de proteção contra a degradação ruminal podem aumentar a disponibilidade pós-ruminal de aminoácidos. Assim, o adequado equilíbrio entre proteína, energia e perfil de aminoácidos é

fundamental para favorecer a eficiência de utilização do nitrogênio e atender às exigências nutricionais dos ruminantes.
PALAVRAS-CHAVE: Degradação ruminal. Nutrição. Proteína.

AMINO ACIDS AND PEPTIDES IN RUMINANT NUTRITION: METABOLISM, AVAILABILITY, AND UTILIZATION

ABSTRACT: Protein nutrition in ruminants involves complex transformations of nitrogenous compounds in the rumen, which directly influence amino acid availability to the animal. This chapter aimed to review the metabolism and availability of amino acids and peptides in ruminant nutrition, considering ruminal transformations, post-ruminal supply, and supplementation strategies. In the rumen, proteins are degraded into peptides, amino acids, and ammonia, which are utilized by the microbiota for growth and microbial protein synthesis. The efficiency of this process depends primarily on the availability and synchronization of fermentable energy and nitrogen. The intestinal supply of amino acids originates mainly from microbial protein, rumen-undegraded dietary protein, and endogenous sources. Lysine and methionine are among the potentially limiting amino acids, particularly in high-producing animals. In this context, strategies to protect amino acids from ruminal degradation may increase their post-ruminal availability. Therefore, an adequate balance among protein, energy, and amino acid profile is essential to improve nitrogen utilization efficiency and meet the nutritional requirements of ruminants.
KEYWORDS: Ruminal degradation. Nutrition. Protein.

INTRODUÇÃO

A nutrição proteica dos ruminantes apresenta particularidades decorrentes das transformações dos compostos nitrogenados durante a fermentação ruminal. A proteína degradável no rúmen é utilizada pelos microrganismos, originando peptídeos, aminoácidos e amônia, que podem contribuir para a síntese de proteína microbiana, importante fonte de aminoácidos para o hospedeiro (Tan et al., 2021; Gresner et al., 2022). Dessa forma, os aminoácidos disponíveis para absorção no intestino delgado são provenientes principalmente da proteína microbiana sintetizada no rúmen, da proteína dietética não degradada no rúmen e de proteínas endógenas, tornando mais complexa a relação entre a proteína fornecida na dieta e aquela efetivamente disponível ao animal (Huang et al., 2021; Zhao et al., 2026).

A quantidade e a qualidade da proteína fornecida na dieta podem influenciar o desempenho produtivo, a eficiência de utilização do nitrogênio e sua excreção no ambiente, tornando o adequado suprimento proteico relevante também sob os aspectos econômico e ambiental (Hristov et al., 2026). Embora a proteína microbiana constitua importante fonte de aminoácidos, em animais com maiores exigências produtivas, o suprimento intestinal também depende da contribuição da proteína dietética não degradada no rúmen (Bergen, 2021).

A proteína dietética que escapa da degradação ruminal pode contribuir para aumentar o fluxo de aminoácidos ao intestino delgado, desde que apresente adequada digestibilidade pós-ruminal e perfil de aminoácidos compatível com as exigências do animal (Oliveira et al., 2025). Assim, o equilíbrio entre as frações proteicas degradáveis e não degradáveis no rúmen torna-se importante para atender às necessidades da microbiota ruminal e, simultaneamente, favorecer o aporte de aminoácidos ao animal.

Nesse contexto, aminoácidos e peptídeos assumem papel relevante na nutrição de ruminantes, tanto por sua participação no metabolismo nitrogenado ruminal quanto pela contribuição para o suprimento de nutrientes ao animal (Martins; Hristov, 2026). Entretanto, sua disponibilidade é condicionada pelas transformações que ocorrem no rúmen e pela quantidade que alcança o intestino delgado. Estratégias como a utilização de aminoácidos protegidos da degradação ruminal podem, portanto, aumentar sua disponibilidade pós-ruminal e contribuir para adequar o suprimento de aminoácidos às exigências nutricionais dos animais (Newbold; Ramos-Morales, 2020).

OBJETIVO

Objetivou-se realizar uma revisão de literatura sobre o metabolismo e a disponibilidade de aminoácidos e peptídeos na nutrição de ruminantes, abordando as transformações dos compostos nitrogenados no rúmen, o aporte pós-ruminal de aminoácidos e as estratégias de suplementação utilizadas para aumentar sua disponibilidade ao animal.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura, de natureza básica, abordagem qualitativa e caráter descritivo, realizada por meio de pesquisa bibliográfica. Para a elaboração deste capítulo de livro, foram consultados artigos científicos relacionados ao metabolismo, à disponibilidade e à suplementação de aminoácidos e peptídeos na nutrição de ruminantes. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos CAPES e PubMed, além da utilização da plataforma Elicit como ferramenta de apoio à busca de literatura científica.

Foram empregados termos relacionados a aminoácidos, peptídeos, metabolismo proteico, degradação ruminal, proteína microbiana, proteína degradável e não degradável no rúmen, disponibilidade e absorção de aminoácidos e aminoácidos protegidos. Foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos, selecionados de acordo com sua pertinência ao tema e contribuição para a compreensão do metabolismo e da disponibilidade de aminoácidos e peptídeos, bem como das estratégias de suplementação utilizadas na nutrição de ruminantes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Metabolismo ruminal de proteínas, peptídeos e aminoácidos

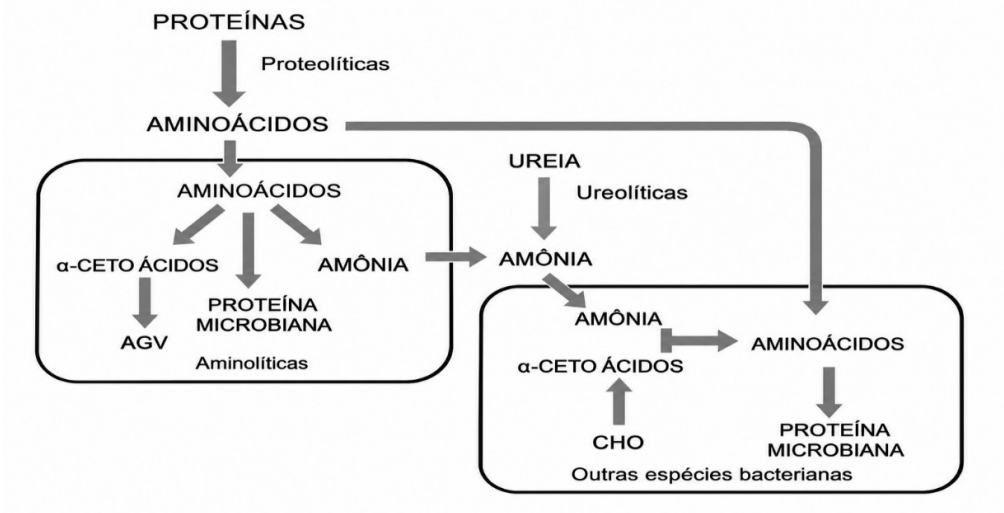
O rúmen constitui um ecossistema anaeróbio que abriga uma microbiota complexa,

composta principalmente por bactérias, além de arqueias, protozoários e fungos, sendo as bactérias o grupo mais abundante e diverso (Liu et al., 2021). Esses microrganismos desempenham papel fundamental na utilização dos componentes da dieta e, além da fermentação dos carboidratos, participam ativamente do metabolismo dos compostos nitrogenados.

O nitrogênio disponível no ambiente ruminal pode ser proveniente tanto da proteína verdadeira quanto de compostos nitrogenados não proteicos (Lima et al., 2023). Durante a degradação ruminal, as proteínas são inicialmente hidrolisadas, originando peptídeos e aminoácidos (Kozloski, 2021; Berchielli et al., 2011). Os peptídeos, aminoácidos e amônia constituem importantes fontes de nitrogênio utilizadas pelos microrganismos ruminais para seu crescimento e para a sinrese de proteína microbiana (Kozloski, 2021; Lima et al., 2023). Parte dos aminoácidos pode ainda sofrer desaminação, resultando na formação de amônia e esqueletos de carbono, os quais podem ser posteriormente utilizados em diferentes vias do metabolismo microbiano (Seleem et al., 2025)

Dessa forma, os aminoácidos disponíveis no ambiente ruminal podem ser utilizados para a síntese de proteína microbiana ou metabolizados pelos microrganismos, com formação de amônia e compostos carbonados que participam da produção de AGV, conforme representado na Figura 1. A eficiência de utilização do nitrogênio pelos micorganimos ruminais está relacionada à disponibilidade de energia fermentescível no rúmen, uma vez que o crescimento microbiano depende do suprimento de fontes de energia e nitrogênio (Zhang et al., 2020). Nesse sentido, a sincronização entre a disponibilidade de carboidratos fermentescíveis e compostos nitrogenados favorece o crescimento microbiano e a síntese de proteína microbiana (Wang et al., 2020; Zhang et al., 2022).

Figura 1: Metabolismo dos compostos nitrogenados pelas bactérias ruminais



Fonte: Kozloski (2021, p. 80)

Em contrapartida, quando a disponibilidade de nitrogênio degradável excede a capacidade de utilização pelos microrganismos, especialmente em condições de

disponibilidade energética insuficiente, ocorre acúmulo de amônia no rúmen (Nichols et al.,2022). Parte dessa amônia pode ser absorvida através da parede ruminal e posteriormente convertida em ureia no fígado (Wei et al., 2021).

A degradabilidade ruminal da proteína varia entre os alimentos e influencia o aporte proteico ao intestino. No sistema de Cornell, os compostos nitrogenados são classificados em frações de acordo com sua disponibilidade e taxa de degradação ruminal (Leite et al., 2021). Assim, estratégias nutricionais devem favorecer a síntese de proteína microbiana e o adequado suprimento de proteína metabolizável, considerando a disponibilidade de energia e nitrogênio no rúmen.

Peptídeos e sua importância nutricional

Peptídeos são moléculas formadas por dois ou mais resíduos de aminoácidos unidos por ligações peptídicas (Chawathe et al., 2025). Podem ser classificados de acordo com o número de resíduos, sendo cadeias contendo aproximadamente 2 a 20 aminoácidos geralmente classificadas como oligopeptídeos, enquanto cadeias mais extensas são denominadas polipeptídeos, podendo constituir proteínas quando organizadas em estruturas funcionais específicas (Xu et al., 2024). A captação de pequenos peptídeos pode ser quantitativamente importante para o metabolismo microbiano, uma vez que esses compostos são posteriormente hidrolisados e seus aminoácidos utilizados na síntese de proteína microbiana ou desaminados (Kozloski, 2021).

Além do papel nutricional, determinados fragmentos proteicos são classificados como peptídeos bioativos por exercerem funções biológicas além do fornecimento de aminoácidos. Entre as atividades descritas estão ações antimicrobianas, antioxidantes, anti-hipertensivas e imunomoduladoras (Corrêa et al., 2023). No intestino delgado, di- e tripeptídeos podem ser transportados para o interior dos enterócitos e posteriormente hidrolisados em aminoácidos livres (Lu et al., 203). Entretanto, a quantidade de peptídeos dietéticos que alcança intacta a circulação é limitada devido à elevada atividade de peptidases intestinais (Xu et al., 2024).

Aminoácidos: disponibilidade, exigências e limitações

A necessidade nutricional dos ruminantes está relacionada ao fornecimento de aminoácidos e não apenas à quantidade total de proteína da dieta (Gargallo et al., 2022). O suprimento de aminoácidos ao intestino resulta principalmente da proteína microbiana, da proteína dietética não degradada no rúmen e da proteína endógena (Zhao et al., 2026). A eficiência de utilização da proteína metabolizável depende da correspondência entre o perfil de aminoácidos disponíveis e as exigências do animal.

Os aminoácidos podem ser classificados em essenciais e não essenciais de acordo com a capacidade do organismo de sintetizá-los em quantidade suficiente para atender às suas necessidades. Entre os aminoácidos essenciais estão histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina, enquanto a arginina pode ser considerada condicionalmente essencial, especialmente em situações de elevada demanda

metabólica (NASEM, 2021). Entre eles, lisina e metionina recebem especial atenção na nutrição de ruminantes por figurarem frequentemente entre os aminoácidos limitantes para a síntese proteica, sobretudo em animais de elevada produção (Seleem et al., 2026).

A suplementação direta com aminoácidos livres apresenta limitações, uma vez que esses compostos são susceptíveis à utilização e à degradação pela microbiota ruminal, reduzindo sua disponibilidade para absorção no intestino delgado (NASEM, 2021; Mazinani et al., 2022). Chalupa (1976) demonstrou que a velocidade de degradação ruminal varia entre os aminoácidos, sendo arginina e treonina rapidamente degradadas; lisina, fenilalanina, leucina e isoleucina degradadas em taxas intermediárias; e valina e metionina em taxas mais lentas. Essa susceptibilidade à degradação justifica o uso de estratégias de proteção ruminal destinadas a aumentar o fluxo pós-ruminal e a disponibilidade intestinal de aminoácidos (Mazinani et al., 2022).

Absorção intestinal e destino metabólico

Os aminoácidos disponíveis para absorção no intestino delgado têm três origens principais: proteína microbiana, proteína dietética que escapa da degradação ruminal e secreções endógenas (Marques, 2023). A digestão pós-ruminal das proteínas envolve a ação de proteases pancreáticas e peptidases intestinais, resultando na formação de aminoácidos e pequenos peptídeos que podem ser absorvidos no intestino delgado (Harmon et al., 2020). A absorção dos aminoácidos ocorre por meio de transportadores específicos, enquanto di- e tripeptídeos podem ser transportados para os enterócitos principalmente pelo transportador PEPT1 e posteriormente hidrolisados por peptidases intracelulares (Zhang et al., 2024).

Após a absorção, os aminoácidos são direcionados principalmente para síntese de proteínas corporais e de produtos, além de participarem de outras vias metabólicas. Em deficiência energética, podem ser desaminados e seus esqueletos carbônicos utilizados para produção de energia (Lapierre et al., 2023). Dessa forma, o fornecimento proteico deve buscar não apenas elevar a quantidade de proteína que chega ao intestino, mas adequar o perfil de aminoácidos às necessidades de manutenção e produção, evitando perdas de nitrogênio e gastos metabólicos associados ao excesso de proteína.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da literatura revisada, observou-se que o metabolismo de proteínas, peptídeos e aminoácidos em ruminantes é resultado da interação entre a atividade microbiana ruminal e os processos de digestão e absorção pós-ruminal. A eficiência da utilização do nitrogênio está diretamente relacionada ao equilíbrio entre a disponibilidade de compostos nitrogenados e energia fermentescível, determinando a síntese de proteína microbiana e o aporte de aminoácidos ao animal. Nesse contexto, o adequado fornecimento de proteína metabolizável e de aminoácidos, especialmente aqueles potencialmente limitantes, constitui aspecto importante para atender às exigências nutricionais e favorecer o aproveitamento

eficiente do nitrogênio pelos ruminantes.

.

REFERÊNCIAS

BERGEN, Werner G. Amino acids in beef cattle nutrition and production. In: Amino acids in nutrition and health: amino acids in the nutrition of companion, zoo and farm animals. Cham: **Springer International Publishing**, 2021. p. 29-42. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_3

CHALUPA, William. Degradation of amino acids by the mixed rumen microbial population. **Journal of animal science**, v. 43, n. 4, p. 828-834, 1976. DOI: https://doi.org/10.2527/jas1976.434828x

CHAWATHE, Ashwini et al. Analytical and drug delivery strategies for short peptides: From manufacturing to market. **Analytical Biochemistry**, v. 696, p. 115699, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115699

CORRÊA, Jessica Audrey Feijó et al. Bioactive antimicrobial peptides from food proteins: perspectives and challenges for controlling foodborne pathogens. **Pathogens**, v. 12, n. 3, p. 477, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/pathogens12030477

GARGALLO, Silvia; FERRET, Alfred; CALSAMIGLIA, Sergio. Ruminal microbial degradation of individual amino acids from heat-treated soyabean meal and corn gluten meal in continuous culture. **Animals**, v. 12, n. 6, p. 688, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12060688

GRESNER, Nina; RODEHUTSCORD, Markus; SÜDEKUM, Karl-Heinz. Amino acid pattern of rumen microorganisms in cattle fed mixed diets—An update. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 106, n. 4, p. 752-771, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/jpn.13676

HARMON, D. L.; SWANSON, K. C. Nutritional regulation of intestinal starch and protein assimilation in ruminants. **Animal**, v. 14, n. S1, p. s17-s28, 2020. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731119003136

HRISTOV, A. N. et al. Invited review: Perspectives on nitrogen in dairy cattle nutrition. **Journal of dairy science**, v. 109, n. 3, p. 2074-2107, 2026. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2025-27276

HUANG, X. et al. A method of assessing essential amino acid availability from microbial and ruminally undegraded protein in lactating dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 104, n. 2, p. 1777-1793, 2021. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2020-18248

KOZLOSKI, Gilberto Vilmar. *Bioquímica dos ruminantes*. 3. ed. rev. e ampl. Santa Maria: Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – Editora UFSM, 2021.

LAPIERRE, H. et al. How the efficiency of utilization of essential amino acids can be applied in dairy cow nutrition. **Animal**, v. 17, p. 100833, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100833

LEITE, Rhaony Gonçalves et al. Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 14786, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-94098-4

LIMA, Joana et al. Estimating microbial protein synthesis in the rumen—Can 'omics' methods

provide new insights into a long-standing question?. **Veterinary Sciences**, v. 10, n. 12, p. 679, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci10120679

LIU, Kaizhen et al. Ruminal microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. **Animal Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 49-55, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001

LU, Xianmin et al. Ion channels and transporters regulate nutrient absorption in health and disease. **Journal of Cellular and Molecular Medicine**, v. 27, n. 18, p. 2631-2642, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/jcmm.17853

MARQUES, ORLANDO FILIPE COSTA. Metabolismo proteico de diferentes alimentos na dieta de ruminantes. 2023. DOI:

MARTINS, Leoni F.; HRISTOV, Alexander N. Amino acid nutrition of dairy cows: invited review. **Animal Bioscience**, v. 39, n. 8, p. 260271, 2026. DOI: https://doi.org/10.5713/ab.260271

MITCHELL, K. E. et al. Assessing milk response to different combinations of branched-chain volatile fatty acids and valerate in Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, v. 106, n. 6, p. 4018-4029, 2023. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2022-22545

NASEM - NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 8. ed. rev. Washington, DC: The National Academies Press, 2021. DOI: https://doi.org/10.17226/25806

NEWBOLD, C. J.; RAMOS-MORALES, E. Review: Ruminal microbiome and microbial metabolome: Effects of diet and ruminant host. Animal 14, s78–s86. 2020. DOI: https://doi.org/10.1017/s1751731119003252

NICHOLS, K. et al. Unlocking the limitations of urea supply in ruminant diets by considering the natural mechanism of endogenous urea secretion. **Animal**, v. 16, p. 100537, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100537

OLIVEIRA, M.; COSTA, C.; FERNANDES, T. Graduate Student Literature Review: Concepts and challenges of amino acid supply and nitrogen metabolism in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 7, p. 6906-6916, 2025.

Park, K., Clark, K. L., Firkins, J. L., Kleinschmit, D. H., Socha, M. T., & Lee, C. (2025). Effects of isobutyrate and 2-methylbutyrate at different levels of rumen degraded protein on ruminal nutrient digestibility, microbial protein synthesis, and milk production in lactating cows. *Journal of Dairy Science*. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2025-26507

SELEEM, Mohammed S. et al. Overview of Encapsulated Lysine and Methionine and Their Impacts on Transition Cow Performance and Health. **Animal Research and One Health**, v. 4, n. 2, p. 145-166, 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/aro2.70027

TAN, Peng et al. Amino acids metabolism by rumen microorganisms: Nutrition and ecology strategies to reduce nitrogen emissions from the inside to the outside. **Science of the Total Environment**, v. 800, p. 149596, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149596

WEI, Zihai et al. The effects of non-fiber carbohydrate content and forage type on rumen microbiome of dairy cows. **Animals**, v. 11, n. 12, p. 3519, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/

ani11123519
XU, Chengzhi et al. Absorption of food-derived peptides: Mechanisms, influencing factors, and enhancement strategies. **Food Research International**, v. 197, p. 115190, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115190
Zhang, J., Zheng, N., Shen, W., Zhao, S., & Wang, J. (2020). Synchrony degree of dietary energy and nitrogen release influences microbial community, fermentation, and protein synthesis in a rumen simulation system. *Microorganisms*, *8*(2), 231. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms8020231
ZHANG, Zhenbin et al. Dietary crude protein and protein solubility manipulation enhances intestinal nitrogen absorption and mitigates reactive nitrogen emissions through gut microbiota and metabolome reprogramming in sheep. **Animal Nutrition**, v. 18, p. 57-71, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.04.003
Zhao, Y., Tan, Z., He, Z., Wu, J., & Jiao, J. (2026). Gastrointestinal microbial nitrogen metabolic landscape underlies nitrogen utilization efficiency of goats fed distinct dietary protein sources. *Microbiome*. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-026-02398-6
ZHAO, Yechan et al. Gastrointestinal microbial nitrogen metabolic landscape underlies nitrogen utilization efficiency of goats fed distinct dietary protein sources. **Microbiome**, 2026. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-026-02398-6

CAPÍTULO 27

USO DE LEVEDURAS VIVAS NA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES: EFEITOS SOBRE A FERMENTAÇÃO RUMINAL E O DESEMPENHO PRODUTIVO

Marcela Rodrigues de Oliveira[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[2];
[2]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Rodolfo Henrique Silva Pereira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Silva Siqueira[5];
[5]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Michel Guilherme Candido de Lima[7];
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0559850863250422
Isabella Mariano Machado[8].
[8]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: As leveduras vivas podem favorecer a fermentação ruminal e o aproveitamento dos nutrientes em pequenos ruminantes. Sua ação está relacionada à modulação da atividade microbiana, manutenção da anaerobiose, estímulo de bactérias celulolíticas e utilizadoras de lactato, além de alterações na produção de ácidos graxos voláteis e na utilização do nitrogênio. Esses mecanismos podem favorecer a degradação da fibra, minimizar o acúmulo de lactato e contribuir para a estabilidade do ambiente ruminal. Os efeitos da suplementação também podem repercutir sobre consumo, digestibilidade e desempenho produtivo. Em caprinos e ovinos, respostas positivas sobre digestibilidade, ganho de peso e eficiência alimentar têm sido relatadas, embora os resultados sejam variáveis. Este capítulo foi elaborado a partir de uma revisão de literatura sobre a utilização de *Saccharomyces cerevisiae* na nutrição de caprinos e ovinos, com buscas no Portal de Periódicos CAPES e PubMed e utilização

do Elicit como ferramenta de apoio. A suplementação com *Saccharomyces cerevisiae* apresenta potencial para melhorar o ambiente ruminal, a digestibilidade e o desempenho de pequenos ruminantes. Entretanto, a variabilidade dos resultados reforça a necessidade de estudos que definam níveis de inclusão adequados em diferentes dietas e condições de produção.
PALAVRAS-CHAVE: Caprino. Ovino. *Saccharomyces cerevisiae*.

USE OF LIVE YEAST IN SMALL RUMINANT NUTRITION: EFFECTS ON RUMINAL FERMENTATION AND PRODUCTIVE PERFORMANCE

ABSTRACT: Live yeasts may favor ruminal fermentation and nutrient utilization in small ruminants. Their action is associated with the modulation of microbial activity, maintenance of anaerobic conditions, stimulation of cellulolytic and lactate-utilizing bacteria, as well as changes in volatile fatty acid production and nitrogen utilization. These mechanisms may enhance fiber degradation, minimize lactate accumulation, and contribute to the stability of the ruminal environment. The effects of supplementation may also influence feed intake, digestibility, and productive performance. In goats and sheep, positive responses in digestibility, weight gain, and feed efficiency have been reported, although results are variable. This chapter was developed based on a literature review on the use of *Saccharomyces cerevisiae* in goat and sheep nutrition, with searches conducted in the CAPES Journals Portal and PubMed, using Elicit as a supporting tool. Supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* has the potential to improve the ruminal environment, digestibility, and performance of small ruminants. However, the variability in the reported results highlights the need for studies to establish appropriate inclusion levels under different dietary and production conditions.
KEYWORDS: Goat. *Saccharomyces cerevisiae*. Sheep.

INTRODUÇÃO

Dietas com alta inclusão de concentrado e, consequentemente, maior disponibilidade de carboidratos rapidamente fermentescíveis são frequentemente utilizadas em sistemas intensivos de produção de pequenos ruminantes, como estratégia para atender às elevadas demandas nutricionais dos animais (Huang et al., 2023; Monjezi et al., 2022; Zheng et al., 2024). Entretanto, a rápida fermentação desses substratos pode intensificar a produção e o acúmulo de ácidos graxos voláteis e lactato, promovendo redução do pH ruminal (Mao; Wang, 2025).

Essas alterações no ambiente ruminal podem comprometer a integridade da barreira epitelial, modificar a composição da microbiota e elevar a concentração de lipopolissacarídeos, contribuindo para o desenvolvimento de respostas inflamatórias e para o comprometimento da saúde gastrointestinal dos animais (Chen et al., 2023; Zhang et al., 2025). Diante desses desafios, a inclusão de aditivos alimentares nas dietas tem sido utilizada como estratégia para modular a fermentação ruminal, minimizar a ocorrência de

distúrbios metabólicos e favorecer o aproveitamento dos nutrientes e o desempenho animal (Evci et al., 2025).

Entre esses aditivos, destaca-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, utilizada como estratégia nutricional para favorecer a estabilidade ruminal (Evci et al., 2025; Mohammad, 2022). Estudos têm demonstrado que os efeitos das leveduras vivas no ambiente ruminal estão relacionados, principalmente, à modulação da microbiota e das condições fermentativas, favorecendo o crescimento de microrganismos benéficos, incluindo bactérias celulolíticas e utilizadoras de lactato. Além disso, a suplementação com *Saccharomyces cerevisiae* pode favorecer a integridade do epitélio ruminal (Mavrommatis et al., 2025). Em conjunto, esses efeitos podem contribuir para a estabilização do pH, maior produção de ácidos graxos voláteis e melhor digestibilidade da fibra (Baker et al., 2022; Xue et al., 2022).

Os efeitos da suplementação com leveduras vivas podem se estender ao aproveitamento dos nutrientes e ao desempenho produtivo dos animais. Estudos com ovinos demonstraram melhora na digestibilidade dos nutrientes, no ganho de peso e na eficiência alimentar, mesmo sem aumento no consumo, além de efeitos positivos sobre a produção e a composição do leite em animais lactantes (Sun et al., 2022; Zhou et al., 2025; Hamdon et al., 2026). Entretanto, as respostas à suplementação com leveduras vivas podem variar em função das condições experimentais, características da dieta, nível de suplementação e categoria animal, tornando importante a compreensão dos seus mecanismos de ação e de seus efeitos sobre a fermentação ruminal, o aproveitamento dos nutrientes, o desempenho e a saúde de ovinos e caprinos. Embora vários autores estejam investigando a eficácia da inclusão de leveduras na dieta dos ruminantes há décadas, ainda existem muitas lacunas de pesquisa que precisam ser preenchidas (Amin; Mao., 2021)

OBJETIVO

Objetivou-se revisar os principais efeitos da suplementação com leveduras vivas *Saccharomyces cerevisiae* na nutrição de caprinos e ovinos, com ênfase nos mecanismos de ação no ambiente ruminal e seus reflexos sobre a fermentação ruminal, digestibilidade dos nutrientes, consumo, desempenho produtivo e saúde dos animais.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura, de natureza básica, abordagem qualitativa e caráter descritivo, realizada por meio de pesquisa bibliográfica. Para a elaboração deste capítulo de livro, foram consultados artigos científicos relacionados à utilização de leveduras vivas *Saccharomyces cerevisiae* na nutrição de caprinos e ovinos. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos CAPES, e no PubMed, além da utilização da plataforma Elicit como ferramenta de apoio à busca de literatura cientifica.

Foram empregados termos relacionados a *Saccharomyces cerevisiae*, leveduras

vivas, fermentação ruminal, microbiota ruminal, digestibilidade, consumo, desempenho produtivo e saúde de ovinos e caprinos. Foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos, selecionados de acordo com sua pertinência ao tema e contribuição para a compreensão dos mecanismos de ação e dos efeitos da suplementação com leveduras vivas sobre as respostas ruminais, nutricionais, produtivas e relacionadas à saúde dos animais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Mecanismos de ação e efeitos sobre a fermentação ruminal

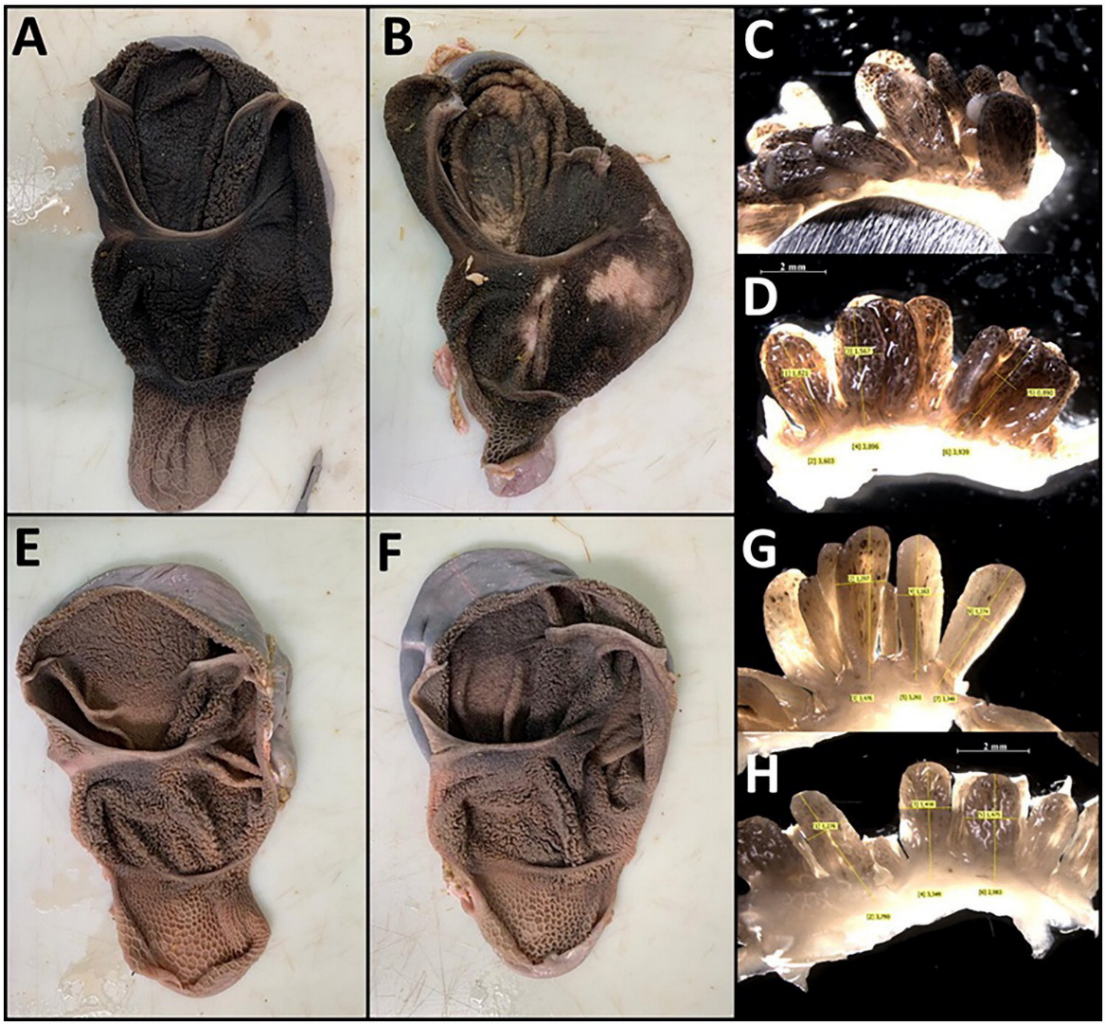
A ação das leveduras vivas (LV), especialmente *Saccharomyces cerevisiae* (SC), no rúmen está relacionada principalmente à modulação do ambiente fermentativo e da atividade microbiana, favorecendo condições adequadas para o desenvolvimento e a atividade dos microrganismos envolvidos na degradação dos componentes da dieta (Zhang et al., 2022; Zhang et al., 2023; Liu et al., 2024). A inclusão de LV na dieta de ruminantes pode contribuir para a manutenção do equilíbrio ruminal, reduzindo o acúmulo de alguns produtos da fermentação, como lactato e nitrogênio amoniacal, dependendo das condições da dieta (Fróes et al., 2024), além de favorecer o desenvolvimento e a atividade de grupos bacterianos envolvidos na degradação dos componentes da dieta.

Entre os mecanismos relacionados à suplementação com SC, destaca-se o estímulo de grupos bacterianos envolvidos na degradação da fibra. O aumento do crescimento de bactérias celulolíticas e da atividade de enzimas relacionadas à degradação dos componentes fibrosos pode favorecer a utilização dos carboidratos estruturais e modificar os produtos resultantes da fermentação ruminal (Wang et al., 2023). Nesse processo, os ácidos graxos voláteis (AGV) constituem os principais produtos da fermentação microbiana dos carboidratos e representam importante fonte de energia para os ruminantes.

Em caprinos, a suplementação com SC tem sido associada ao aumento da produção de AGV totais e, particularmente, de propionato, demonstrando que a levedura pode alterar o perfil dos produtos finais da fermentação ruminal (Ogbuewu; Mbajiorgu, 2023). Respostas semelhantes têm sido observadas em ovinos. Em cordeiros, alterações nos parâmetros fermentativos foram observadas após a suplementação com SC (Han et al., 2026; Hamdon et al., 2026), reforçando sua capacidade de modular a fermentação ruminal em diferentes espécies de pequenos ruminantes. O aumento da disponibilidade de AGV pode favorecer o aproveitamento energético da dieta, uma vez que são absorvidos pelo epitélio ruminal e posteriormente utilizados em diferentes vias metabólicas

Além das alterações no ambiente fermentativo, a suplementação com leveduras vivas pode influenciar o desenvolvimento da mucosa ruminal. Hassan et al. (2025) observaram diferenças nas características das papilas ruminais de cordeiros suplementados com levedura viva em comparação ao grupo controle (Figura 1).

Figura 1: Aspectos da mucosa e das papilas ruminais de cordeiros com 12 semanas de idade alimentados com dieta controle (A, B, C e D) ou suplementados (E, F, G e H) com levedura viva (*Saccharomyces cerevisiae*) da 2ª à 8ª semana de idade (desmame).



Fonte: Hassan et al. (2025).

Outro mecanismo atribuído às LV envolve a manutenção de condições favoráveis para a atividade da microbiota anaeróbia. Embora o rúmen seja predominantemente anaeróbio, pequenas quantidades de oxigênio podem ser introduzidas durante a ingestão de alimentos e água. A capacidade de SC de consumir esse oxigênio residual contribui para a redução do potencial de oxirredução e para a manutenção de condições de anaerobiose mais favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos ruminais, incluindo bactérias envolvidas na degradação da fibra (Fróes et al., 2024).

Paralelamente, SC pode favorecer a atividade de microrganismos utilizadores de lactato, contribuindo para limitar seu acúmulo no ambiente ruminal. Esse mecanismo pode auxiliar na redução de oscilações acentuadas do pH, sobretudo em dietas com elevada proporção de carboidratos rapidamente fermentescíveis, nas quais a produção de ácidos ocorre de forma mais intensa (Baker al., 2022). Dessa forma, a ação das leveduras sobre o metabolismo do lactato constitui um dos mecanismos pelos quais esses microrganismos podem contribuir para a manutenção de condições ruminais mais favoráveis à fermentação.

Os efeitos das LV também podem alcançar o metabolismo do nitrogênio no rúmen. O estímulo da atividade microbiana pode favorecer a utilização de nitrogênio amoniacal disponível no ambiente ruminal e sua incorporação à proteína microbiana, contribuindo para maior eficiência de utilização do nitrogênio (Wang et al., 2023). Entretanto, essa resposta não ocorre de maneira uniforme, uma vez que análises conjuntas realizadas em caprinos não demonstraram efeito significativo da suplementação com SC sobre a concentração ruminal de NH_3-N (Ogbuewu; Mbajiorgu, 2023).

Dessa forma, os efeitos de SC sobre a fermentação ruminal resultam da interação de diferentes mecanismos, que incluem a modulação da microbiota, o favorecimento da anaerobiose, o estímulo da atividade de bactérias celulolíticas e de microrganismos consumidores de lactato, além de alterações na produção de AGV e na utilização do nitrogênio. Em conjunto, essas modificações podem favorecer a eficiência dos processos fermentativos e o aproveitamento dos nutrientes, contribuindo para explicar os efeitos positivos sobre consumo, digestibilidade e desempenho relatados em pequenos ruminantes suplementados com leveduras vivas.

Efeitos sobre consumo, digestibilidade e desempenho produtivo

As modificações promovidas pelas LV no ambiente ruminal podem favorecer a utilização dos nutrientes e, consequentemente, o desempenho produtivo dos animais, principalmente por proporcionar condições favoráveis à atividade microbiana e à degradação dos componentes da dieta (Xiao et al., 2016; Amin; Mao, 2021; Wang et al., 2023). Entretanto, essas respostas não ocorrem de maneira uniforme e podem variar de acordo com a dose, viabilidade e forma de apresentação da levedura, composição da dieta, duração da suplementação e características inerentes ao animal, como espécie, idade e estado fisiológico.

Os efeitos sobre o consumo de matéria seca (CMS) apresentam considerável variabilidade entre os estudos, e melhorias no desempenho nem sempre são acompanhadas por maior ingestão de alimento. Em cabras lactantes, a suplementação SC foi associada a aumento moderado da produção de leite, mesmo sem alterações significativas no CMS e nos componentes do leite (Ogbuewu; Mbajiorgu, 2022). Da mesma forma, em cabras em crescimento, a suplementação com SC ativa favoreceu o ganho médio diário e a conversão alimentar sem promover alterações significativas no CMS (Ogbuewu; Mbajiorgu, 2023). Esses resultados indicam que parte dos benefícios produtivos da suplementação pode decorrer de maior eficiência na utilização dos nutrientes ingeridos, e não necessariamente do aumento do consumo.

Em ovinos, as respostas sobre consumo e desempenho também parecem ser influenciadas pelo nível de inclusão da levedura. A suplementação com 3 e 5 g/animal/dia de SC melhorou a conversão alimentar em 25,2 e 26,9%, respectivamente, além de promover aumento no ganho médio diário (GMD) e no peso final (PF) dos cordeiros (Gloria-Trujillo et al., 2022). Da mesma forma, a inclusão de LV em níveis entre 0,31 e 0,36% da

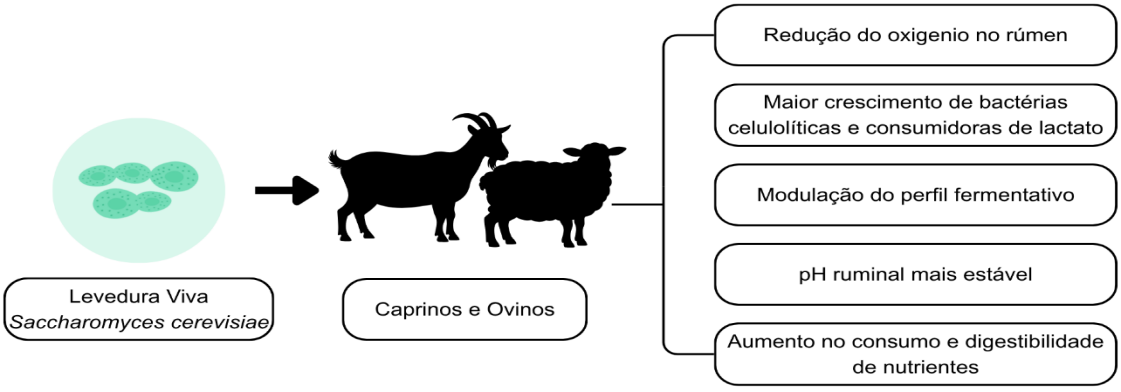
matéria seca da dieta favoreceu o consumo de nutrientes, a absorção de nitrogênio e a disponibilidade e metabolizabilidade da energia em ovinos alimentados com dieta contendo elevada proporção de concentrado. Entretanto, níveis superiores a 0,36% apresentaram respostas desfavoráveis, evidenciando que o aumento da dose não resulta necessariamente em benefícios adicionais (Feitosa et al., 2025).

Além dos efeitos sobre o consumo, alterações na digestibilidade constituem uma importante via pela qual a suplementação com SC pode favorecer o desempenho. Em cordeiros Farafra, embora o consumo não tenha sido alterado, a suplementação aumentou o GMD e o PF, acompanhados por aumento linear na digestibilidade da matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta e fibra em detergente neutro em resposta aos níveis crescentes de SC (Handom et al., 2026). Dessa forma, a maior disponibilidade de nutrientes digestíveis pode contribuir para que quantidades semelhantes de alimento ingerido sejam utilizadas de maneira mais eficiente.

Esse comportamento também foi observado em cordeiros suplementados com LV, nos quais o CMS permaneceu inalterado, enquanto o GMD e a EA foram favorecidos. Nesse caso, a digestibilidade da proteína bruta aumentou de 59,59 para 66,96% e a da fibra em detergente neutro de 57,29 para 61,99%, enquanto as digestibilidades da matéria seca e da fibra em detergente ácido não foram alteradas (Han et al., 2026). Esses resultados demonstram que os efeitos das leveduras sobre a digestibilidade também podem ser específicos para determinadas frações da dieta.

De modo geral, os efeitos de SC estão relacionados à modulação da microbiota, manutenção da anaerobiose, estímulo de bactérias celulolíticas e consumidoras de lactato e alterações na produção de AGV e utilização do nitrogênio. Essas modificações podem favorecer a digestibilidade e a eficiência de utilização dos nutrientes, contribuindo para o desempenho dos pequenos ruminantes mesmo sem aumento do consumo. Entretanto, as respostas variam conforme a dose, o produto, a dieta e a categoria animal. Os principais mecanismos de ação e seus possíveis efeitos nos pequenos ruminantes estão sintetizados na Figura 2.

Figura 2: Síntese dos principais mecanismos de ação e efeitos da suplementação com leveduras vivas (*Saccharomyces cerevisiae*) em pequenos ruminantes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Efeitos sobre saúde e metabolismo

Além dos efeitos sobre a fermentação ruminal e o desempenho produtivo, a suplementação com leveduras vivas pode influenciar a saúde e o metabolismo de caprinos e ovinos. Esse aspecto torna-se relevante principalmente em animais alimentados com dietas contendo elevada proporção de concentrado, uma vez que alterações acentuadas na fermentação podem comprometer o ambiente ruminal e a integridade da barreira gastrointestinal (Chen et al., 2023; Mao; Wang, 2025; Zhang et al., 2025).

Nesse contexto, a modulação do ambiente ruminal promovida pela levedura pode estar associada a condições mais favoráveis à integridade do epitélio ruminal. Em cordeiros, a suplementação com levedura viva promoveu alterações na fermentação e na comunidade microbiana ruminal, acompanhadas por respostas na histologia do rúmen (Mavrommatis et al., 2025). Esses resultados sugerem que os efeitos da suplementação podem se estender à interface entre o ambiente ruminal e o animal.

Além das respostas locais, efeitos sistêmicos também têm sido relatados. A suplementação com levedura viva foi associada a alterações em indicadores imunológicos em cabritos (Zhang et al., 2023) e ao estado metabólico hepático de ovelhas em lactação (Zhou et al., 2025). Dessa forma, as evidências disponíveis indicam que os benefícios potenciais das leveduras vivas podem ultrapassar a fermentação ruminal, embora sejam necessários mais estudos para compreender seus efeitos sobre a saúde e o metabolismo em diferentes condições nutricionais e fisiológicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação com *Saccharomyces cerevisiae* apresenta potencial para favorecer o ambiente ruminal, a digestibilidade dos nutrientes e o desempenho produtivo de pequenos ruminantes, além de contribuir para a saúde ruminal e o metabolismo animal. Entretanto, os resultados encontrados na literatura ainda são variáveis, indicando que seus efeitos estão diretamente relacionados às condições em que a suplementação é realizada. Dessa forma, são necessários mais estudos para estabelecer níveis adequados de inclusão e compreender a resposta das leveduras em diferentes composições de dietas, categorias animais e condições de produção.

REFERÊNCIAS

AMIN, A. B.; MAO, S. Influence of yeast on rumen fermentation, growth performance and quality of products in ruminants: a review. **Animal Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 31-41, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.10.005

BAKER, L. M. *et al.* The effects of dietary yeast and yeast-derived extracts on rumen microbiota and their function. **Animal Feed Science and Technology**, v. 294, 115476, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115476

CHEN, M. *et al.* A high-concentrate diet induces colonic inflammation and barrier damage in Hu sheep. **Journal of Dairy Science**, v. 106, n. 12, p. 9644-9662, 2023. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2023-23359

EVCI, Ş. et al. Effects of ionophore and yeast addition to the diet on starch digestion and rumen and blood parameters in sheep with subacute rumen acidosis. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v. 49, n. 1, p. 19-26, 2025. DOI: https://doi.org/10.55730/1300-0128.4366.

FEITOSA, T. R. M. *et al.* Active yeast supplementation on nutritional parameters of ewe lambs fed a high-concentrate diet. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 1, p. 267-280, 2025. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n1p267

FRÓES, R. *et al.* Effects of yeast and exogenous fibrolytic enzyme additives on lamb performance and feed efficiency. **Tropical Animal Health and Production**, v. 56, n. 7, 235, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-024-04095-8

GLORIA-TRUJILLO, A. *et al.* Performance and carcass characteristics of lambs fed diets supplemented with different levels of *Saccharomyces cerevisiae*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, e20200281, 2022. https://doi.org/10.37496/rbz5120200281

HAMDON, H. A.; KHOLIF, A. E.; KASSAB, A. Y.; HARBY, A. A.; SOLIMAN, A. S. Influence of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on rumen fermentation characteristics, nutrient digestibility, and growth performance of Farafra lambs under desert conditions. **Discover Applied Sciences**, v. 8, n. 6, 690, 2026. DOI:https://doi.org/10.1007/s42452-026-08694-y

HAN, B. et al. Effects of active dry yeast on production performance, meat quality, and rumen microecology in lambs. **Animals**, v. 16, n. 8, 1228, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/ani16081228

HASSAN, M. et al. Effects of dietary supplementation of pre-weaned lambs with live yeast on rumen fermentation, gut development, performance, and blood health indicators. **Italian Journal of Animal Science**, v. 24, n. 1, p. 2653-2669, 2025. DOI: https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2596280

HUANG, Y. *et al.* Feeding regimens affecting carcass and quality attributes of sheep and goat meat—a comprehensive review. **Animal Bioscience**, v. 36, n. 9, p. 1314, 2023. DOI: https://doi.org/10.5713/ab.23.0051

LIU, H. *et al.* Effects of active dry yeast supplementation in in vitro and in vivo nutrient digestibility, rumen fermentation, and bacterial community. **Animals**, v. 14, n. 19, 2916, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14192916

MAO, J.; WANG, L. Rumen acidosis in ruminants: a review of the effects of high-concentrate diets and the potential modulatory role of rumen foam. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 12, 1595615, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1595615

MAVROMMATIS, A. *et al.* The impact of probiotic live yeast in a barley grain-based diet on rumen microbial communities, fermentation, and histology of artificially reared lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 322, 116269, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116269

MOHAMMAD, S. F. Impact on ruminant performance of feed additives. **International Journal of Health Sciences**, v. 6, n. S6, p. 10066-10077, 2022. DOI https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS6.12629

MONJEZI, Y. *et al.* Effects of concentrate starch level and free-choice provision of straw on performance, feeding behaviour and feed sorting of fattening lambs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 256, 105773, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105773

OGBUEWU, I. P.; MBAJIORGU, C. A. Meta-analysis of *Saccharomyces cerevisiae* on enhancement of growth performance, rumen fermentation and haemato-biochemical characteristics of growing goats. **Heliyon**, v. 9, n. 3, e14178, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14178

OGBUEWU, I. P.; MBAJIORGU, C. A. Meta-analytic effect of *Saccharomyces cerevisiae* on dry matter intake, milk yield and components of lactating goats. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 1014977, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1014977

SUN, X. *et al.* Agglomerated live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplemented to pelleted total mixed rations improves the growth performance of fattening lambs. **Livestock Science**, v. 258, 104855, 2022. DOI:https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104855

WANG, X. et al. Effects of supplementing a yeast culture in a pelleted total mixed ration on fiber degradation, fermentation parameters, and the bacterial community in the rumen of sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 296, 115565, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115565

XIAO, J. X. *et al.* Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. **Journal of**

Dairy Science, v. 99, n. 7, p. 5401-5412, 2016. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2015-10563

XUE, L. *et al.* The low dose of *Saccharomyces cerevisiae* is beneficial for rumen fermentation (both in vivo and in vitro) and the growth performance of heat-stressed goats. **Microorganisms**, v. 10, n. 10, 1877, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms10101877

ZHANG, J. *et al.* Active dry yeast supplementation benefits ruminal fermentation, bacterial community, blood immunoglobulins, and growth performance in young dairy goats, but not for intermittent supplementation. **Animal Nutrition**, v. 13, p. 289-301, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.02.001

ZHANG, L. *et al.* Role of the rumen epithelium and associated changes under high-concentrate diets. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 6, 2573, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms26062573

ZHANG, X. *et al.* Ruminal pH pattern, fermentation characteristics and related bacteria in response to dietary live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation in beef cattle. **Animal Bioscience**, v. 35, n. 2, p. 184, 2022. DOI: https://doi.org/10.5713/ab.21.0200

ZHENG, K. *et al.* High-concentrate diet decreases lamb fatty acid contents by regulating bile acid composition. **Food Chemistry: X**, v. 24, 101871, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101871

ZHOU, S. *et al.* Live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) improves growth performance and liver metabolic status of lactating Hu sheep. **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 4, p. 3700-3715, 2025. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2024-25829

CAPÍTULO 28

FONTES E PROCESSAMENTO DO AMIDO NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES: EFEITOS SOBRE DIGESTIBILIDADE, FERMENTAÇÃO RUMINAL E DESEMPENHO

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[1];
[1]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Marcela Rodrigues de Oliveira[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Rodolfo Henrique Silva Pereira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Silva Siqueira[5];
[5]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7].
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: O amido é uma importante fonte de energia na alimentação de ruminantes, e seu aproveitamento é influenciado pela fonte, pelas características dos grãos e pelo tipo de processamento utilizado. Este capítulo teve como objetivo reunir e discutir informações sobre as principais fontes de amido e os métodos de processamento dos grãos, destacando seus efeitos sobre a digestão, a fermentação ruminal e o desempenho animal. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura, com consulta a artigos científicos disponíveis no PubMed, Portal de Periódicos CAPES e Elicit, priorizando estudos publicados nos últimos dez anos. Milho, sorgo, trigo e cevada apresentam diferenças na disponibilidade e na degradabilidade do amido, que podem ser modificadas pelo processamento. Métodos como moagem, laminação, floculação e processamento de grãos com alta umidade podem aumentar sua disponibilidade e modificar o local e a extensão da digestão. Entretanto, o aumento excessivo da fermentabilidade pode reduzir o pH ruminal e interferir na digestão da fibra. Assim, a escolha da fonte e do processamento deve considerar as características do grão e da dieta, buscando melhorar o aproveitamento energético sem comprometer o

ambiente ruminal.

PALAVRAS-CHAVE: Amido. Processamento de grãos. Fermentação ruminal.

STARCH SOURCES AND PROCESSING IN RUMINANT NUTRITION: EFFECTS ON DIGESTIBILITY, RUMINAL FERMENTATION, AND PERFORMANCE

ABSTRACT: Starch is an important energy source in ruminant nutrition, and its utilization is influenced by the starch source, grain characteristics, and processing method. This chapter aimed to review and discuss the main starch sources used in ruminant diets and grain processing methods, highlighting their effects on digestion, ruminal fermentation, and animal performance. A literature review was conducted using scientific articles available in PubMed, the CAPES Journal Portal, and Elicit, prioritizing studies published within the last ten years. Corn, sorghum, wheat, and barley differ in starch availability and degradability, which can be modified by processing. Methods such as grinding, rolling, steam flaking, and high-moisture grain processing can increase starch availability and alter the site and extent of digestion. However, excessive ruminal fermentability may reduce ruminal pH and impair fiber digestion. Therefore, the choice of starch source and processing method should consider grain and dietary characteristics to improve energy utilization without compromising the ruminal environment.

KEYWORDS: Starch. Grain processing. Ruminal fermentation.

INTRODUÇÃO

Os custos com a alimentação constituem a maior parcela de investimento nos sistemas de produção de ruminantes, o que exige a adoção contínua de estratégias nutricionais capazes de maximizar a eficiência biológica dos rebanhos. Nesse cenário, o amido desponta como um componente vital, visto que é a principal matriz energética presente nos concentrados e grãos de cereais fornecidos aos animais.

Embora o milho e o sorgo dominem a formulação das dietas, opções como trigo, cevada e aveia também agregam valor considerável ao aporte de carboidratos. Vale destacar, no entanto, que o teor bruto de amido em um alimento não garante sua pronta disponibilidade no trato gastrointestinal. Fatores intrínsecos ao grão, como a arquitetura do endosperma, a interação física entre os grânulos de amido e a matriz proteica, além da razão amilose/amilopectina determinam o quão acessível esse nutriente será à degradação. Assim, as tecnologias de processamento (físico, químico ou térmico) assumem um papel transformador na digestibilidade (Gómez et al., 2016). Estudos recentes demonstram que a utilização do amido pelos ruminantes pode variar de acordo com sua fonte e com as características físicas dos grãos, sendo o processamento um dos fatores capazes de modificar sua disponibilidade e digestibilidade (Shipandeni et al., 2023; Albornoz et al., 2024).

Grande parte do amido ingerido sofre fermentação pelos microrganismos ruminais,

culminando na síntese de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), que sustentam a demanda energética do ruminante. A fração não degradada no rúmen (amido bypass) segue para o intestino delgado, onde a hidrólise enzimática disponibiliza glicose diretamente ao animal. Por conseguinte, a manipulação do local e da extensão dessa digestão, seja via escolha do cereal ou pelo método de processamento (moagem, laminação, floculação ou reidratação), é uma ferramenta poderosa para ditar a resposta metabólica e produtiva do rebanho. Dessa forma, o local e a extensão da digestão do amido estão relacionados tanto às características da fonte utilizada quanto ao processamento ao qual o alimento foi submetido (Albornoz et al. 2024).

Outro ponto importante é a forma como esses alimentos são fornecidos aos animais. Processamentos como moagem, laminação, floculação, reidratação e ensilagem dos grãos podem modificar sua estrutura física e aumentar a exposição dos grânulos de amido à ação microbiana e enzimática. A redução do tamanho das partículas, por exemplo, pode aumentar a digestibilidade ruminal e total do amido, embora seus efeitos sobre a fermentação e a digestão da fibra também devam ser considerados (Nunes et al., 2020; Shipandeni et al., 2023).

A resposta ao processamento também pode variar entre as fontes de amido. Milho e sorgo, por exemplo, apresentam diferenças na estrutura e na disponibilidade do amido, fazendo com que a intensidade do processamento influencie de maneira distinta sua utilização. Em vacas leiteiras, Shipandeni et al. (2023) observaram que a redução do tamanho das partículas aumentou a digestibilidade ruminal do amido e reduziu seu fluxo para os compartimentos posteriores, enquanto os efeitos sobre o pH e a fermentação foram diferentes entre dietas contendo milho ou sorgo.

OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo reunir e discutir informações sobre as principais fontes de amido utilizadas na alimentação de ruminantes e os diferentes métodos de processamento dos grãos, destacando seus efeitos sobre a disponibilidade, a digestão e o aproveitamento do amido, bem como suas implicações na fermentação ruminal e no desempenho animal.

METODOLOGIA

Para a construção deste arcabouço teórico, conduziu-se uma revisão crítica da literatura utilizando as plataformas PubMed, Portal de Periódicos CAPES e Elicit. O delineamento da busca distanciou-se de uma abordagem generalista, priorizando ensaios in vivo e in vitro que investigassem a relação direta entre a estrutura físico-química dos grãos (milho, sorgo, trigo e cevada) e sua degradabilidade ruminal. Foram priorizados artigos científicos publicados nos últimos dez anos, com ênfase em estudos recentes realizados com ruminantes. Trabalhos anteriores a esse período foram utilizados quando necessários para fundamentar conceitos consolidados sobre a digestão e o aproveitamento do amido.

As informações selecionadas foram organizadas de acordo com as principais fontes de amido, os métodos de processamento dos grãos e seus efeitos sobre a digestibilidade, a fermentação ruminal e o desempenho animal.

.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fontes de amido na alimentação de ruminantes

O amido é um dos principais carboidratos utilizados como fonte de energia nas dietas de ruminantes, sendo encontrado principalmente nos grãos de cereais. Entre as fontes mais utilizadas estão milho, sorgo, trigo e cevada, que apresentam diferenças quanto à concentração, estrutura e disponibilidade do amido. Essas características influenciam a velocidade de sua degradação no rúmen e, consequentemente, a quantidade de amido que alcança o intestino para digestão pós-ruminal (Moharrery et al., 2014; NASEM, 2021; Shipandeni et al., 2023). Além disso, a fonte utilizada, também promove alterações como o tipo de endosperma, proporção entre amilose e amilopectina, tamanho das partículas e método de processamento também interferem no aproveitamento desse nutriente (NASEM, 2021).

O milho é uma das principais fontes energéticas utilizadas na alimentação de ruminantes devido ao seu elevado teor de amido e à ampla disponibilidade. Entretanto, a digestibilidade desse amido pode variar de acordo com as características do grão e com a forma como ele é fornecido. A estrutura do endosperma e a associação dos grânulos de amido com a matriz proteica podem limitar o acesso dos microrganismos e das enzimas digestivas, fazendo com que o processamento exerça importante influência sobre sua degradabilidade e aproveitamento (Nunes et al., 2020; Shipandeni et al., 2023). Em estudo comparando milho e sorgo com diferentes tamanhos de partículas, Shipandeni et al. (2023) observaram maior digestibilidade ruminal e no trato total quando os grãos foram finamente moídos.

O sorgo também apresenta importância na alimentação de ruminantes e pode ser utilizado como alternativa ao milho. Apesar do elevado teor de amido, sua disponibilidade pode ser limitada pela estrutura do grão e pela interação dos grânulos de amido com proteínas do endosperma. Dessa forma, diferenças na digestibilidade entre milho e sorgo não estão relacionadas apenas às características do amido isoladamente, mas também às estruturas que dificultam seu acesso pela microbiota e pelas enzimas digestivas. Por essa razão, o processamento assume papel importante no aproveitamento do sorgo pelos ruminantes (Shipandeni et al., 2023).

O trigo e a cevada também são fontes de amido utilizadas na alimentação de ruminantes, embora sua participação nas dietas varie de acordo com a disponibilidade de cada região e o custo. O amido desses cereais apresenta, elevada degradabilidade ruminal quando comparado ao milho e ao sorgo. Uma meta-análise sobre a digestão do amido em vacas leiteiras demonstrou efeito da fonte sobre sua digestibilidade, com o trigo apresentando elevada digestão ruminal e no trato total (Moharrery et al., 2014).

Assim, embora a rápida fermentação possa favorecer a disponibilidade de energia para os microrganismos ruminais, o nível de inclusão dessas fontes deve ser considerado na formulação das dietas, principalmente pelo seu potencial de promover fermentação rápida (Moharrery et al., 2014; NASEM, 2021).

Além da fonte utilizada, o processamento e o tamanho das partículas são fatores importantes para determinar o local e a extensão da digestão do amido. A redução do tamanho das partículas aumenta a superfície disponível para ação microbiana e enzimática e pode favorecer a digestibilidade ruminal e total. Shipandeni et al. (2023), por exemplo, observaram aumento da digestibilidade ruminal do amido de 83,43 para 87,18% com a redução do tamanho das partículas, além de maior digestibilidade do amido no trato total. Entretanto, os autores também observaram redução na digestibilidade ruminal da fibra, demonstrando que o aumento da disponibilidade do amido deve ser considerado em conjunto com seus possíveis efeitos sobre a fermentação ruminal.

Dessa forma, as diferenças entre as fontes de amido devem ser consideradas na formulação das dietas, uma vez que a quantidade de amido presente no alimento não representa, isoladamente, sua disponibilidade para o animal. A interação entre fonte, características estruturais do grão e processamento determina a velocidade e o local de digestão e, consequentemente, pode modificar o aproveitamento dos nutrientes e a resposta dos animais (Moharrery et al., 2014; Shipandeni et al., 2023)

Processamento das fontes de amido

O processamento dos grãos é utilizado na alimentação de ruminantes tem como objetivo de aumentar a disponibilidade dos nutrientes e favorecer o aproveitamento do amido. Os métodos empregados promovem alterações físicas e, em alguns casos, estruturais nos grãos, aumentando a superfície de contato e facilitando o acesso dos microrganismos ruminais e das enzimas digestivas aos grânulos de amido (Nunes et al., 2020; Shipandeni et al., 2023). A intensidade desses efeitos depende tanto do método utilizado quanto das características da fonte de amido

Entre os métodos de processamento estão aqueles realizados predominantemente por ação mecânica, como quebra, moagem e laminação a seco, e os que associam umidade ou calor, como laminação a vapor, floculação, extrusão e ensilagem de grãos com alta umidade. A moagem reduz o tamanho das partículas e aumenta a área disponível para colonização microbiana, elevando a degradação ruminal do amido. Shipandeni et al. (2023), ao avaliarem milho e sorgo com diferentes granulometrias, observaram que a redução do tamanho das partículas aumentou a digestibilidade ruminal do amido de 83,43 para 87,18%, além de aumentar sua digestibilidade no trato total.

A resposta ao processamento, entretanto, varia de acordo com o tipo de grão. Milho e sorgo apresentam características estruturais que podem limitar o acesso ao amido e, por isso, respondem à redução do tamanho das partículas ou a métodos mais intensos de processamento. No estudo de Shipandeni et al. (2023), os efeitos da granulometria

sobre o pH e a concentração de ácidos graxos voláteis foram mais pronunciados nas dietas contendo sorgo do que naquelas com milho, demonstrando que fonte de amido e processamento devem ser considerados de forma conjunta.

Nos métodos que envolvem calor e umidade, as alterações na estrutura do amido podem ser ainda mais pronunciadas. A floculação a vapor, promove gelatinização do amido e alterações na matriz proteica que envolve seus grânulos, aumentando sua disponibilidade para fermentação. Estudos comparando diferentes formas de processamento do milho demonstram que a floculação e a extrusão podem aumentar a degradabilidade do amido em relação ao grão apenas moído (Han et al., 2022). Trotta et al. (2024) demonstraram que características do processo de floculação, como a densidade dos flocos, também interferem na digestibilidade e na fermentação ruminal, indicando que não apenas o método, mas também a intensidade do processamento influencia o aproveitamento do grão.

A utilização de milho com alta umidade representa outra estratégia para aumentar a disponibilidade do amido. Nesse caso, a combinação entre umidade, armazenamento e fermentação pode promover alterações na estrutura do grão e favorecer seu aproveitamento. Em bovinos em terminação, Coulson et al. (2023) demonstraram que a forma de moagem do milho seco e do milho com alta umidade influenciou a digestão dos nutrientes e a eficiência de utilização da dieta, reforçando a importância da interação entre o método de conservação e o processamento físico do grão.

Apesar dos benefícios, o aumento da disponibilidade ruminal do amido deve ser considerado com cautela. Processamentos mais intensos podem aumentar rapidamente a fermentação do amido, alterando o pH e o perfil fermentativo do rúmen, ocasionando distúrbios gastrointestinais. Além disso, Shipandeni et al. (2023) observaram que a redução do tamanho das partículas, embora aumentem a digestibilidade ruminal do amido, reduziu a digestibilidade ruminal da fibra em detergente neutro. Assim, a escolha do processamento deve considerar não apenas a maximização da digestão do amido, mas também seus efeitos sobre a fermentação ruminal e o aproveitamento dos demais componentes da dieta.

Assim, o processamento é uma importante ferramenta para modificar a disponibilidade e o local de digestão do amido para os ruminantes. A escolha do método mais adequado deve considerar a fonte de amido, as características estruturais do grão, a intensidade do processamento e a composição da dieta, buscando aumentar o aproveitamento energético sem comprometer o equilíbrio do ambiente ruminal (Shipandeni et al., 2023; Trotta et al., 2024).

Digestão e aproveitamento do amido pelos ruminantes

A digestão do amido nos ruminantes ocorre principalmente no rúmen, embora sua extensão e o local de digestão possam variar de acordo com a fonte, as características do grão, o nível de inclusão na dieta e o processamento utilizado (Shipandeni et al., 2023). No ambiente ruminal, o amido é inicialmente hidrolisado pela ação de enzimas produzidas pelos microrganismos, principalmente pelas bactérias amilolíticas. Os produtos dessa

degradação são utilizados durante a fermentação, resultando principalmente na formação de ácidos graxos de cadeia curta e no crescimento da biomassa microbiana, contribuindo para o suprimento energético e proteico do animal (Gómez et al., 2016; Nasem, 2021).

A digestão ruminal está diretamente relacionada à disponibilidade do amido para a microbiota. Grãos com maior resistência à degradação ou submetidos a processamentos menos intensos podem apresentar maior quantidade de amido escapando da fermentação ruminal, enquanto métodos que aumentam a exposição dos grânulos tendem a favorecer sua degradação no rúmen. Dessa forma, alterações no tamanho das partículas e na estrutura do grão podem modificar não apenas a digestibilidade total, mas também o local onde o amido é utilizado no trato gastrointestinal (Moharrery et al., 2014; Shipandeni et al., 2023).

A fração que escapa da fermentação ruminal segue para o intestino delgado, onde é submetida à digestão enzimática. Nesse processo, a α-amilase pancreática atua inicialmente sobre o amido, formando produtos que posteriormente são hidrolisados pelas enzimas presentes na borda em escova intestinal, permitindo a formação e a absorção de glicose (Trotta et al., 2022). Entretanto, diferentemente dos animais monogástricos, os ruminantes apresentam limitações na capacidade de digestão intestinal do amido, relacionadas à atividade enzimática, ao fluxo de amido que chega ao intestino, ao tempo de exposição e à capacidade de absorção dos produtos resultantes da digestão (Trotta et al., 2022).

Essa limitação ajuda a explicar por que o aumento da quantidade de amido que escapa do rúmen não resulta necessariamente em aumento proporcional de sua digestão no intestino delgado. Trotta et al. (2022) destacam que até 40% do amido ingerido pode escapar da fermentação ruminal em dietas à base de grãos, mas a capacidade de assimilação intestinal é limitada.

O amido que não é digerido no rúmen ou no intestino delgado pode alcançar o intestino grosso, onde é utilizado pela microbiota por meio da fermentação. Embora essa fermentação também resulte na produção de ácidos graxos de cadeia curta, o aproveitamento do amido nesse compartimento apresenta diferenças em relação à fermentação ruminal e à digestão enzimática no intestino delgado. Dessa forma, o aumento excessivo do fluxo de amido para as porções posteriores do trato gastrointestinal não representa necessariamente maior eficiência de utilização desse nutriente (Moharrery et al., 2014; Trotta et al., 2022).

A literatura demonstra de forma unânime que o milho, devido à sua densidade energética, é o pilar das dietas de confinamento e alta lactação; contudo, sua matriz proteica vítrea atua como uma barreira mecânica à microbiota. Para contornar esse obstáculo ecológico no rúmen, intervenções como a redução drástica da granulometria (moagem fina) têm se mostrado eficientes em elevar a taxa de degradação ruminal. Em contrapartida, o uso do trigo e da cevada exige cautela. Esses cereais possuem uma fermentabilidade naturalmente acelerada. Se não houver um controle rigoroso na taxa de inclusão, o rápido acúmulo de AGCC pode deflagrar quadros de acidose subclínica e comprometer severamente a digestão da fibra em detergente neutro (FDN) (Trotta et al.,

2022; Shipandeni et al., 2023).

Efeitos sobre a fermentação ruminal e o desempenho animal

A fonte de amido e a forma como o grão é processado podem modificar a fermentação ruminal e, consequentemente, as respostas produtivas dos animais. O aumento da disponibilidade do amido no rúmen favorece sua utilização pelos microrganismos e a produção de ácidos graxos de cadeia curta, especialmente propionato, importante precursor para a síntese hepática de glicose.

Entretanto, quando a fermentação ocorre de forma muito rápida, pode haver redução do pH ruminal e alterações na digestão da fibra, demonstrando que maior degradabilidade do amido nem sempre resulta, isoladamente, em melhor aproveitamento da dieta (Shipandeni et al., 2023; Dai et al., 2025). Essas respostas podem variar conforme a fonte de amido e a intensidade do processamento. Shipandeni et al. (2023), ao compararem milho e sorgo com diferentes tamanhos de partículas, observaram que a moagem fina aumentou a digestibilidade ruminal do amido e reduziu seu fluxo para os compartimentos posteriores. Entretanto, a maior disponibilidade do amido foi acompanhada por redução na digestibilidade ruminal da fibra em detergente neutro. Os autores supracitados, também observaram interação entre fonte e tamanho de partícula para o pH ruminal e a concentração de ácidos graxos voláteis, mostrando que milho e sorgo respondem de maneira diferente ao processamento.

O efeito sobre o desempenho também depende dessas interações. Em um mesmo estudo, a fonte de amido não alterou a produção de leite, embora as vacas alimentadas com grãos finamente moídos tenham apresentado maior produção quando comparadas àquelas que receberam grãos mais grosseiros (Shipandeni et al., 2023). Por outro lado, o consumo de matéria seca foi maior nas dietas contendo milho em relação às dietas com sorgo, enquanto o tamanho das partículas não alterou o consumo. Esses resultados reforçam que os benefícios do processamento não devem ser avaliados apenas pela digestibilidade do amido, mas em conjunto com consumo, fermentação e resposta produtiva (Shipandeni et al., 2023).

Além do processamento físico, a proporção de amido efetivamente degradado no rúmen também influencia tais respostas. Dai et al. (2025), ao avaliarem dietas com diferentes proporções de amido degradável no rúmen em vacas leiteiras, observaram redução do pH ruminal com o aumento dessa fração. A dieta com maior proporção de amido degradável também reduziu o teor de gordura do leite, enquanto a concentração de proteína microbiana foi maior no nível intermediário Dai et al. (2025). Esses resultados mostram que maximizar a fermentabilidade ruminal do amido não significa necessariamente obter a melhor resposta animal, sendo necessário buscar equilíbrio entre disponibilidade energética e manutenção das condições adequadas do ambiente ruminal.

Assim, os efeitos das fontes e do processamento do amido devem ser avaliados considerando a dieta como um todo. A escolha do grão, a granulometria e a intensidade do processamento determinam não apenas quanto amido será digerido, mas também

onde essa digestão ocorrerá e como o ambiente ruminal responderá. Assim, estratégias de processamento devem buscar melhorar o aproveitamento energético sem promover alterações fermentativas capazes de comprometer a digestão da fibra, o consumo ou o desempenho dos animais (Shipandeni et al., 2023; Dai et al., 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maximização do uso do amido na nutrição de ruminantes vai muito além da simples inclusão de grãos na dieta. Fica evidente que a interação entre a fonte botânica e o método de processamento dita o sítio de digestão e o volume de energia efetivamente absorvido. Contudo, o nutricionista deve estar atento ao tênue limite entre aumentar a disponibilidade energética e colapsar o ambiente ruminal. O sucesso produtivo, portanto, reside no ajuste fino entre a fermentabilidade do carboidrato, a efetividade da fibra e as exigências fisiológicas da categoria animal.

REFERÊNCIAS

ALBORNOZ, R. I.; RUSSO, V. M.; HO, C. K. M.; GIRI, K.; ALLEN, M. S.; LOCK, A. L.; WALES, W. J.; KNIGHT, M. I. Effects of concentrate feed starch source offered twice a day on feed intake and milk production of cows during the early postpartum period. **Animals**, v. 14, n. 24, 3622, 2024. DOI: 10.3390/ani14243622.

COULSON, C. A.; BOYD, B. M.; TROYER, B. C.; MCPHILLIPS, L. J.; NORMAN, M. M.; WOITA, N. M.; WILSON, H. C.; BUTTERFIELD, K. M.; SPORE, T. J.; ERICKSON, G. E. Impact of different corn milling methods for high-moisture and dry corn on finishing cattle performance, carcass characteristics, and nutrient digestion. **Journal of Animal Science**, v. 101, skac385, 2023. DOI: 10.1093/jas/skac385.

DAI, D.; KONG, F.; WANG, S.; LI, C.; SHEN, Y.; DONG, C.; WANG, S.; CHAI, S.; WANG, W.; LI, S. Effects of rumen-degradable starch on lactation performance, gastrointestinal fermentation, and plasma metabolomic in dairy cows. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 299, 140017, 2025. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.140017.

GÓMEZ, L. M.; POSADA, S. L.; OLIVERA, M. Starch in ruminant diets: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 29, n. 2, p. 77-90, 2016. DOI: 10.17533/udea.rccp.v29n2a01.

HAN, C.; GUO, Y.; CAI, X.; YANG, R. Starch properties, nutrients profiles, in vitro ruminal fermentation and molecular structure of corn processed in different ways. **Fermentation**, v. 8, n. 7, 315, 2022. DOI: 10.3390/fermentation8070315.

MOHARRERY, A.; LARSEN, M.; WEISBJERG, M. R. Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows: a meta-analysis. Animal Feed Science and Technology, v. 192, p. 1-14, 2014. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.03.001.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Nutrient requirements of dairy cattle. 8. ed. Washington, DC: **The National Academies Press**, 2021. DOI: 10.17226/25806.

NUNES, F. C.; COSTA, T. F.; GUIMARÃES, M. A. B.; TEIXEIRA, P. C.; SANTOS, L. P.; GUIMARÃES, K. C. Uso de milho processado em dietas de ruminantes: revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, e188963674, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3674.

SHIPANDENI, M. N. T.; PAULA, E. M.; ESPOSITO, G.; FACIOLA, A. P.; RAFFRENATO, E. Effects of starch sources varying in particle sizes on ruminal fermentation, nutrient flow, starch digestibility, and lactation performance of dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 101, skad147, 2023. DOI: 10.1093/jas/skad147.

TROTTA, R. J.; HARMON, D. L.; MATTHEWS, J. C.; SWANSON, K. C. Nutritional and physiological constraints contributing to limitations in small intestinal starch digestion and glucose absorption in ruminants. **Ruminants**, v. 2, n. 1, p. 1-26, 2022. DOI: 10.3390/ruminants2010001.

TROTTA, R. J.; KREIKEMEIER, K. K.; HARMON, D. L. Influence of flake density and starch retrogradation on in vitro gas production kinetics, digestibility, and ruminal fermentation characteristics of steam-flaked corn. **Journal of Animal Science**, v. 102, skae308, 2024. DOI: 10.1093/jas/skae308.

CAPÍTULO 29

GORDURA INERTE NA NUTRIÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES: ASPECTOS NUTRICIONAIS E METABÓLICOS

Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[1];
[1]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Marcela Rodrigues de Oliveira[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Rodolfo Henrique Silva Pereira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Silva Siqueira[5];
[5]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7].
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: A suplementação lipídica é uma estratégia utilizada na alimentação de ruminantes para aumentar a densidade energética das dietas e fornecer ácidos graxos envolvidos em diferentes processos metabólicos. Entretanto, a presença de lipídeos no ambiente ruminal pode interferir na microbiota e na fermentação, favorecendo o desenvolvimento de fontes com menor interação no rúmen, como as gorduras inertes. Este capítulo aborda a utilização dessas fontes na nutrição de pequenos ruminantes, considerando o metabolismo, a digestão e a absorção dos lipídeos, bem como seus efeitos sobre o consumo, a digestibilidade, o desempenho, o metabolismo e a reprodução. A literatura demonstra que as respostas à suplementação não são uniformes e variam conforme a fonte lipídica, o perfil de ácidos graxos, o nível de inclusão, a composição da dieta e a condição fisiológica dos animais. De modo geral, as gorduras inertes apresentam potencial para aumentar o aporte energético e favorecer o aproveitamento dos nutrientes, desde que sua utilização seja adequada às características da dieta e aos objetivos do sistema de produção.
PALAVRAS-CHAVE: Ácidos graxos. Ovinos e caprinos. Suplementação lipídica.

RUMEN-INERT FAT IN SMALL RUMINANT NUTRITION: NUTRITIONAL AND METABOLIC ASPECTS

ABSTRACT: Lipid supplementation is a nutritional strategy used in ruminant feeding to increase dietary energy density and provide fatty acids involved in several metabolic processes. However, the presence of lipids in the rumen may affect microbial populations and fermentation, which has encouraged the development of lipid sources with reduced ruminal interaction, such as rumen-inert fats. This chapter addresses the use of these fat sources in small ruminant nutrition, considering lipid metabolism, digestion, and absorption, as well as their effects on feed intake, nutrient digestibility, productive performance, metabolism, and reproduction. The literature indicates that responses to supplementation are not consistent across studies and vary according to the lipid source, fatty acid profile, inclusion level, diet composition, and physiological status of the animals. Overall, rumen-inert fats have the potential to increase dietary energy supply and improve nutrient utilization, provided that their use is properly adjusted to diet characteristics and the objectives of the production system.
KEYWORDS: Fatty acids. Sheep and goats. Lipid supplementation.

INTRODUÇÃO

A suplementação lipídica é uma ferramenta estratégica na nutrição de pequenos ruminantes, utilizada primordialmente para elevar a densidade calórica da ração sem a necessidade de aumentar o volume de carboidratos rapidamente fermentáveis. Muito além de meras fontes de calorias, os lipídeos atuam como precursores de ácidos graxos essenciais que modulam rotas metabólicas vitais, influenciando de forma direta o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (Souza et al., 2025). Em caprinos, estudos recentes demonstraram que a suplementação com fontes de gordura protegida pode modificar a digestibilidade dos nutrientes, o desempenho e o metabolismo lipídico dos animais (Liu et al., 2024; Souza et al., 2025).

O grande desafio dessa suplementação reside no ambiente ruminal. A inclusão excessiva de gorduras livres pode causar efeitos deletérios sobre a comunidade microbiana — especialmente bactérias celulolíticas —, prejudicando a digestão das frações fibrosas da dieta. Durante a passagem pelo rúmen, esses lipídeos sofrem lipólise e subsequente biohidrogenação, um mecanismo de defesa da microbiota que converte ácidos graxos insaturados em formas saturadas, alterando profundamente o perfil que chegará ao intestino para absorção (Toral et al., 2024). Além disso, a presença de ácidos graxos no rúmen pode interferir na fermentação e na comunidade microbiana, tornando a forma de fornecimento um aspecto importante na formulação das dietas (Jiao et al., 2024).

Para mitigar esse conflito ecológico, a indústria de nutrição desenvolveu as gorduras “inertes” ou protegidas. Entre as tecnologias mais difundidas na ovinocultura e caprinocultura estão os sais de cálcio de ácidos graxos (frequentemente derivados do óleo

de palma). Estes complexos apresentam baixa taxa de dissociação no pH ruminal normal, contornando a interação microbiana e garantindo que um perfil nobre de ácidos graxos alcance os compartimentos posteriores para absorção intestinal. No entanto, as respostas metabólicas e produtivas à suplementação dependem da composição da dieta, do nível de inclusão e da categoria animal (Jiao et al., 2024; Liu et al., 2024).

Estudos realizados em pequenos ruminantes demonstram que os efeitos da suplementação com gordura protegida de palma devem ser avaliados considerando as respostas ruminais, nutricionais e metabólicas dos animais. Em cordeiros, Simionatto et al. (2024) avaliaram diferentes níveis de gordura protegida à base de óleo de palma e não observaram comprometimento do consumo, da digestibilidade aparente, do balanço de nitrogênio e dos parâmetros ruminais. Em cabritos, Vilaça et al. (2022) demonstraram que a inclusão de níveis crescentes de gordura inerte de palma promoveu alterações em indicadores do metabolismo animal, evidenciando que as respostas à suplementação podem variar conforme o nível de inclusão e as condições nutricionais.

Diante disso, este capítulo aborda os principais aspectos relacionados à utilização da gordura inerte na nutrição de pequenos ruminantes, contemplando o metabolismo ruminal dos lipídeos, os processos de digestão e absorção intestinal e os efeitos da suplementação sobre a utilização dos nutrientes, o desempenho produtivo e o metabolismo de ovinos e caprinos.

OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo reunir e discutir conhecimentos sobre o uso da gordura inerte na alimentação de pequenos ruminantes, destacando sua utilização como fonte energética e suas implicações sobre o metabolismo, o aproveitamento dos nutrientes e o desempenho de ovinos e caprinos.

METODOLOGIA

A fim de elucidar as rotas metabólicas e as respostas fisiológicas à suplementação lipídica, estruturou-se uma revisão bibliográfica aprofundada nas bases PubMed, Portal de Periódicos CAPES e Elicit. Diferentemente de abordagens focadas apenas em desempenho, esta triagem priorizou estudos da última década voltados às particularidades da digestão de lipídeos em ovinos e caprinos. O escopo de busca incluiu descritores relacionados ao uso de sais de cálcio de óleo de palma, impactos na biohidrogenação ruminal e desdobramentos sobre a atividade reprodutiva e o metabolismo sérico.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Lipídeos e gorduras inertes na nutrição de pequenos ruminantes

Os lipídeos são utilizados na alimentação de ruminantes principalmente por seu elevado valor energético, constituindo uma alternativa para aumentar a densidade energética das dietas. Além dessa função, fornecem ácidos graxos envolvidos em diferentes processos

metabólicos, com possíveis reflexos sobre o aproveitamento dos nutrientes, o desempenho e a reprodução. Em pequenos ruminantes, as respostas à suplementação podem variar de acordo com a fonte lipídica, sua composição em ácidos graxos, o nível de inclusão e as características da dieta (Vilaça et al., 2022; Simionatto et al., 2024).

A suplementação lipídica pode ser particularmente interessante em períodos de maior exigência nutricional, como crescimento, gestação e lactação. Seus efeitos também podem alcançar a função reprodutiva. Em ovelhas Barki, Farrag et al. (2024) observaram alterações na atividade ovariana e no perfil de hormônios reprodutivos com o fornecimento de sais de cálcio de ácidos graxos. Durante a gestação, a suplementação com gordura protegida também tem sido relacionada a alterações no metabolismo materno e no desenvolvimento da progênie (Miranda et al., 2023). Esses resultados ampliam o interesse pelo uso de fontes lipídicas para além do seu papel como fonte de energia.

Entretanto, o fornecimento de lipídeos deve considerar sua interação com o ambiente ruminal. Ácidos graxos disponíveis no rúmen podem interferir na microbiota e nos processos fermentativos, dependendo principalmente de sua composição e da quantidade fornecida (Jiao et al., 2024). Uma alternativa para reduzir essa interação é o uso de gorduras inertes, que apresentam menor disponibilidade no rúmen e favorecem o fluxo de ácidos graxos para as etapas posteriores de digestão e absorção (Gomes et al., 2018; Toral et al., 2024).

Entre as formas utilizadas estão os sais de cálcio de ácidos graxos, produzidos pela associação de ácidos graxos de cadeia longa com cálcio. Essa forma busca reduz sua dissociação em condições ruminais e, consequentemente, sua interação com a microbiota. A proteção, no entanto, não é absoluta e pode variar de acordo com o pH ruminal, a composição da fonte e as características da dieta. Por isso, o termo “inerte” deve ser entendido como menor interação com o ambiente ruminal, e não como ausência completa de transformações nesse compartimento (Toral et al., 2024; Rodrigues et al., 2026).

O óleo de palma está entre as matérias-primas utilizadas na produção dessas fontes e apresenta principalmente os ácidos palmítico (C16:0) e oleico (C18:1). Em pequenos ruminantes, diferentes estudos têm utilizado fontes inertes ou protegidas à base de palma, demonstrando que seus efeitos dependem do nível de inclusão e da composição da dieta (Vilaça et al., 2022; Simionatto et al., 2024; Rodrigues et al., 2026). Dessa forma, compreender o comportamento dessas fontes no trato digestivo é importante para definir seu uso na alimentação de ovinos e caprinos.

Metabolismo, digestão e absorção dos lipídeos

Ao chegarem ao rúmen, os lipídeos da dieta passam por transformações que modificam o perfil de ácidos graxos antes de sua chegada ao intestino. Entre elas, destacam-se a lipólise e a biohidrogenação, processos associados à atividade da microbiota ruminal. Na lipólise, os lipídeos esterificados são hidrolisados, liberando ácidos graxos que podem seguir para a biohidrogenação. Nesse processo, parte dos ácidos graxos insaturados é convertida em intermediários e produtos mais saturados, fazendo com que o perfil lipídico

que deixa o rúmen seja diferente daquele originalmente consumido pelo animal (Toral et al., 2024).

A intensidade dessas transformações depende tanto das características da fonte lipídica quanto das condições do ambiente ruminal. Alterações na dieta e na microbiota podem modificar as rotas de biohidrogenação e, consequentemente, o perfil de ácidos graxos disponível para absorção. No caso das gorduras inertes, busca-se reduzir a interação dos ácidos graxos com a microbiota e favorecer sua passagem pelo rúmen. Essa proteção, entretanto, não é completa e pode variar conforme a composição da fonte e as condições ruminais (Toral et al., 2024; Simionatto et al., 2024).

Após deixarem o rúmen, os ácidos graxos seguem para o intestino delgado, onde ocorre a maior parte de sua digestão e absorção. A bile e os fosfolipídeos participam da solubilização dos ácidos graxos de cadeia longa, permitindo sua aproximação e absorção pelos enterócitos. No interior dessas células, os ácidos graxos podem ser novamente esterificados e incorporados às lipoproteínas, possibilitando seu transporte para os diferentes tecidos e utilização em processos como produção de energia, deposição corporal e síntese de componentes do leite (Bauchart, 1993; Doreau; Ferlay, 1994).

O aproveitamento dos lipídeos depende, portanto, não apenas da quantidade fornecida, mas também do perfil dos ácidos graxos, de sua passagem pelo ambiente ruminal e da eficiência de digestão e absorção intestinal. Para as gorduras inertes, esse conjunto de processos é particularmente importante, já que o objetivo é aumentar a disponibilidade pós-ruminal dos ácidos graxos sem comprometer a fermentação. Nos animais ruminantes, as respostas podem variar conforme a fonte lipídica, o nível de inclusão, a composição da dieta e até mesmo a espécie animal (Simionatto et al., 2024; Rodrigues et al., 2026).

Efeitos da gordura inerte em pequenos ruminantes

Ao analisar o impacto produtivo da gordura inerte, observa-se que as respostas descritas na literatura são heterogêneas. Enquanto alguns pesquisadores reportam um incremento substancial no consumo de nutrientes e na digestibilidade global (Alba et al., 2024; Liu et al., 2024), outros ensaios não apontam variações significativas (Simionatto et al., 2024) ou observam redução pontual no consumo, mas com melhora compensatória na conversão alimentar (Lima et al., 2026). Essa aparente contradição acadêmica é justificável: a eficácia do uso de sais de cálcio é multifatorial. Ela depende de variáveis críticas como a proporção volumoso/concentrado da dieta basal, o nível de inclusão do aditivo e, sobretudo, o desafio fisiológico do animal. É imperativo considerar que o aumento da densidade energética e da digestibilidade resulta em um melhor aproveitamento da dieta, sendo que matrizes e animais de alto desempenho tendem a apresentar respostas muito mais expressivas e eficientes à suplementação do que animais em mantença (Liu et al., 2024; Lima et al., 2026).

Além das respostas produtivas, a suplementação pode modificar o metabolismo dos animais. Em cabritos, Vilaça et al. (2022) observaram alterações em indicadores do

metabolismo energético e proteico com níveis crescentes de gordura inerte de palma. Durante a gestação, Miranda et al. (2023) também verificaram alterações no metabolismo materno de ovelhas suplementadas com gordura protegida, reforçando que a resposta às fontes lipídicas pode variar conforme o estado fisiológico e a demanda nutricional dos animais.

Os efeitos podem se estender à reprodução. Farrag et al. (2024), ao suplementarem ovelhas Barki com sais de cálcio de ácidos graxos, observaram alterações na atividade ovariana e no perfil hormonal, além de respostas relacionadas ao desempenho reprodutivo. Embora esses resultados indiquem potencial para o uso de fontes lipídicas em períodos reprodutivos, as respostas não devem ser generalizadas, pois dependem do perfil de ácidos graxos fornecido, da condição nutricional e da fase fisiológica dos animais (Miranda et al., 2023; Farrag et al., 2024).

As diferenças observadas entre os estudos reforçam que a resposta à suplementação com gordura inerte não depende apenas da presença da fonte lipídica na dieta. O nível de inclusão, o perfil de ácidos graxos, a relação volumoso:concentrado e o estado fisiológico dos animais podem modificar tanto o aproveitamento dos nutrientes quanto a resposta produtiva. Além disso, diferenças entre ovinos e caprinos, bem como entre animais em crescimento, gestação ou lactação, dificultam a definição de uma resposta única à suplementação. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados considerando as condições experimentais de cada estudo, especialmente quando se busca estabelecer recomendações para diferentes sistemas de produção (Miranda et al., 2023; Simionatto et al., 2024; Liu et al., 2024; Rodrigues et al., 2026).

De maneira geral, os estudos mostram que a gordura inerte pode contribuir para o aumento da densidade energética e modificar o aproveitamento dos nutrientes, o desempenho e o metabolismo de ovinos e caprinos. Entretanto, os resultados encontrados na literatura não são consistentes em todas as condições experimentais. Assim, sua utilização deve considerar principalmente a fonte e o nível de inclusão, a composição da dieta e categoria animal, buscando adequar a suplementação às exigências e aos objetivos produtivos (Vilaça et al., 2022; Simionatto et al., 2024; Liu et al., 2024; Lima et al., 2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As gorduras inertes representam um trunfo tecnológico indispensável para a formulação de dietas de alto desempenho na criação de pequenos ruminantes. A capacidade de entregar energia adensada diretamente no intestino, preservando a saúde fermentativa do rúmen, confere segurança nutricional à estratégia. No entanto, os achados bibliográficos alertam que não existe uma “receita de bolo”. A inclusão desses aditivos exige do profissional uma leitura acurada da matriz nutricional disponível e das reais demandas do lote, garantindo que o investimento se traduza efetivamente em conversão alimentar e ganho biológico.

REFERÊNCIAS

ALBA, H. D. R.; FREITAS JÚNIOR, J. E.; LEITE, L. C.; AZEVÊDO, J. A. G.; SANTOS, S. A.; PINA, D. S.; CIRNE, L. G. A.; RODRIGUES, C. S.; TOSTO, M. S. L.; BENTO, S. C.; GRIMALDI, A. B.; CARVALHO, G. G. P. Intake, digestibility, serum metabolites, and growth performance of male feedlot lambs fed different fat sources. **Livestock Science**, v. 286, 105530, 2024. DOI: 10.1016/j.livsci.2024.105530.

BAUCHART, D. Lipid absorption and transport in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 12, p. 3864-3881, 1993. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77728-0.

DOREAU, M.; FERLAY, A. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 3-4, p. 379-396, 1994. DOI: 10.1016/0377-8401(94)90039-6.

FARRAG, B.; EL-BAHRAWY, K. A.; SHEDEED, H. A.; EL-RAYES, M. A.-H. Effect of protected fatty acid supplementation on ovarian activity, reproductive hormone profiles and reproduction of Barki ewes under semiarid conditions. **Archives Animal Breeding**, v. 67, p. 111-122, 2024. DOI: 10.5194/aab-67-111-2024.

GOMES, L. C.; ALCALDE, C. R.; DAMASCENO, J. C.; RIGOLON, L. P.; POSSAMAI, A. P. S.; HYGINO, B. Concentrate containing calcium salts of fatty acids rich in polyunsaturated fatty acids can change rumen fermentation in grazing goats. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 6, p. 2621-2634, 2018. DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n6p2621.

JIAO, P.; WANG, Z.; ZHANG, X.; LU, X.; SUN, Q.; ZHAO, H.; XIN, H.; YANG, W.; LV, X.; XIE, X.; HOU, Y. Dietary supplementation of *Clostridium butyricum* and rumen protected fat alters immune responses, rumen fermentation, and bacterial communities of goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 314, 116014, 2024. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116014.

LIMA, C. L. S.; PINA, D. S.; ALBA, H. D. R.; ARAÚJO, M. L. G. M. L.; MATOS, S. C.; PINTO, L. F. B.; FREITAS JÚNIOR, J. E.; TOSTO, M. S. L.; AZEVÊDO, J. A. G.; SANTOS, S. A.; RODRIGUES, C. S.; CARVALHO, G. G. P. Effects of concentrate levels with or without protected fat on intake, digestibility, microbial protein synthesis, and performance in feedlot lambs. **Small Ruminant Research**, v. 256, 107710, 2026. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2026.107710.

LIU, H.; MAO, H.; WANG, W.; PENG, W.; MAO, K.; SUN, W.; YANG, Y.; WU, Q.; WANG, K.; ZENG, M.; HAN, J.; ZHOU, H. Comparison of average daily gain, apparent digestibility, rumen fermentation parameters and bacterial communities, and serum antioxidant indices in Leizhou goats fed with or without rumen-protected fat. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, 1518826, 2024. DOI: 10.3389/fvets.2024.1518826.

MIRANDA, A. S.; ANDRADE, M. A.; NASCIMENTO, K. B.; SANTOS, T. G.; LESSA, M. B.; GOMES, D. I.; OLIVEIRA, L. R. S.; LADEIRA, M. M.; GIONBELLI, T. R. S.; MEZZOMO, R.; ALVES, K. S.; GIONBELLI, M. P. Effect of supplementing rumen-protected fat during the second half of gestation on maternal performance and metabolism in ewes during pregnancy and subsequent lactation. **Animal Feed Science and Technology**, v. 304, 115754, 2023. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2023.115754.

RODRIGUES, H. P., FERREIRA, J. M. S., PEREIRA, M. I. B., TRAJANO, L. S., SOUZA, L. L., DOS SANTOS PINA, D., ... & AZEVÊDO, J. A. G. (2025). Levels of starch and supplementation with calcium salts of palm oil fatty acids in the diets of goats and sheep. **Small Ruminant Research**, v. 254, 107661, 2026. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2025.107661.

SIMIONATTO, M.; MAEDA, E. M.; SILVEIRA, M. F.; MACEDO, V. P.; PAULA, F. L. M.; HILL, J. A. G. Effect of adding different levels of palm oil-protected fat in the diet of lambs concerning rumen parameters. **Animal Feed Science and Technology**, v. 310, 115929, 2024. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.115929.

SOUZA, R.; ALCALDE, C. R.; DAMASCENO, J. C.; PASSETTI, L. C. G.; MOLINA, B. S. L.; HYGINO, B.; HORST, J. A.; SANTOS, G. T. Impact of doses of protected fat supplementation on milk composition and performance of lactating Saanen goats. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 739-756, 2025. DOI: 10.5433/1679-0359.2025v46n3p739.

TORAL, P. G.; HERVÁS, G.; FRUTOS, P. Invited review: Research on ruminal biohydrogenation—Achievements, gaps in knowledge, and future approaches from the perspective of dairy science. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 12, p. 10115-10140, 2024. DOI: 10.3168/jds.2023-24591.

VILAÇA, L. E. G.; OLIVEIRA, M. R.; SIQUEIRA, M. T. S.; SOUSA, L. F.; SCHULTZ, E. B.; MACEDO JUNIOR, G. L. Consumo e perfil metabólico de cabritos alimentados com gordura inerte de palma na ração. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 1-12, 2022. DOI: 10.35699/2447-6218.2022.41906.

CAPÍTULO 30

SUPLEMENTAÇÃO NUTRICIONAL PARA OVELHAS EM FINAL DE GESTAÇÃO

Rodolfo Henrique Silva Pereira[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Santos Siqueira[2];
[2]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Marcela Rodrigues de Oliveira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[5];
[5]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP, Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7];
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707
Marcos Borges Santa Rosa[8];
[8]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/6920158650548124
Camila Raineri[9].
[9]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/0752824652408153

RESUMO: A fase final da gestação é um período crítico na produção de ovinos, marcado pelo aumento das exigências nutricionais e pela redução da ingestão de matéria seca, especialmente em gestações múltiplas. Nesse contexto, a suplementação nutricional é importante para atender às demandas de energia, proteína e minerais, contribuindo para a manutenção da condição corporal e da saúde das matrizes. Este capítulo tem como objetivo abordar estratégias de suplementação para ovelhas no final da gestação e seus efeitos sobre as matrizes e os cordeiros. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases de dados científicas, priorizando estudos publicados nos últimos dez anos. Os trabalhos avaliados demonstram que o adequado planejamento nutricional pode favorecer o desenvolvimento

fetal, o peso ao nascer e o crescimento dos cordeiros, além de reduzir o risco de distúrbios metabólicos. Assim, a suplementação adequada às exigências nutricionais das ovelhas constitui uma estratégia importante para melhorar a eficiência produtiva dos sistemas de criação de ovinos.
PALAVRAS-CHAVE: Desempenho produtivo. Nutrição animal. Ovinos.

NUTRITIONAL SUPPLEMENTATION FOR EWES IN LATE GESTATION

ABSTRACT: Late gestation is a critical period in sheep production, characterized by increased nutritional requirements and reduced dry matter intake, particularly in cases of multiple pregnancies. In this context, nutritional supplementation is important to meet energy, protein, and mineral demands, thereby contributing to the maintenance of the ewes' body condition and health. This chapter aims to discuss supplementation strategies for ewes in late gestation and their effects on both the ewes and the lambs. A literature review was conducted using scientific databases, prioritizing studies published within the last ten years. The evaluated studies demonstrate that appropriate nutritional planning can enhance fetal development, birth weight, and lamb growth, while also reducing the risk of metabolic disorders. Thus, supplementation tailored to the ewes' nutritional requirements represents a key strategy for improving the productive efficiency of sheep farming systems.
KEYWORDS: Animal nutrition. Productive performance. Sheep.

INTRODUÇÃO

A alimentação representa um dos principais custos nos sistemas de produção animal, podendo comprometer significativamente a rentabilidade da atividade, especialmente em sistemas mais intensivos (Makkar, 2020; Wilkinson et al., 2021). Nesse contexto, o planejamento nutricional adequado é fundamental para equilibrar o desempenho produtivo dos animais e os custos da alimentação, contribuindo diretamente para a eficiência econômica do sistema. Assim, é indispensável que o nutricionista conheça e avalie diferentes estratégias nutricionais capazes de otimizar a utilização dos nutrientes, melhorar a eficiência alimentar e maximizar o desempenho produtivo dos animais (Moorby et al., 2021).

Além do aumento das exigências nutricionais, o final da gestação é marcado pelo intenso crescimento fetal e pela redução da ingestão de matéria seca, decorrente principalmente da maior ocupação da cavidade abdominal pelo útero e fetos. Dessa forma, especialmente em gestações múltiplas, a ingestão de nutrientes pode não acompanhar o aumento das demandas energéticas, favorecendo o balanço energético negativo e elevando o risco de distúrbios metabólicos, como a toxemia da gestação (Cannas et al., 2021; Ji et al., 2023).

A suplementação com concentrado no terço final da gestação pode melhorar o desempenho das ovelhas e de seus cordeiros, especialmente por favorecer o peso ao

nascer e o crescimento pré-desmama. Essas respostas podem contribuir para melhores índices reprodutivos no pós-parto e maior eficiência do sistema de produção, principalmente em ovelhas com gestação múltipla (Cannas et al., 2021; Kenyon et al., 2019).

OBJETIVO

Abordar os principais aspectos relacionados à suplementação nutricional de ovelhas no final da gestação, destacando as alterações nas exigências nutricionais, as estratégias de manejo alimentar e seus efeitos sobre o desempenho produtivo e reprodutivo das matrizes, bem como sobre o desenvolvimento e a sobrevivência dos cordeiros.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratório e descritivo, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. Foram consultados artigos científicos publicados em periódicos de relevância nas áreas de Ciência Animal, Nutrição de Ruminantes e Produção de Ovinos, utilizando as bases *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect*, *PubMed* e *Google Scholar*. As buscas foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2026, utilizando combinações de descritores em português e inglês, como: “sheep nutrition”, “ewe nutrition”, “late pregnancy”, “nutritional supplementation”, “concentrate supplementation”, “feed intake”, “energy requirements”, “protein requirements”, “lamb birth weight” e “pregnancy toxemia”.

Foram priorizados trabalhos publicados nos últimos dez anos, incluindo estudos clássicos relevantes. Os artigos foram analisados quanto à qualidade e relevância, considerando os efeitos da suplementação sobre as matrizes e os cordeiros. Os dados foram organizados de forma descritiva, buscando sintetizar as principais estratégias nutricionais para melhorar a eficiência produtiva na criação de ovinos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fisiologia da ovelha gestante

Durante os dois primeiros terços da gestação, ocorre a formação e diferenciação dos órgãos e tecidos, enquanto o crescimento fetal se intensifica no terço final. Nesse período, aproximadamente dois terços do desenvolvimento fetal ocorrem, resultando em aumento expressivo das exigências de energia e proteína das ovelhas, especialmente nas últimas seis semanas de gestação (Weaver, 2023). Assim, o manejo nutricional deve considerar o número de fetos e a condição corporal das matrizes, sendo recomendado manter escore de condição corporal próximo de 3,0 a 3,5 no período próximo ao parto (Barkley, 2025).

O rápido crescimento fetal no final da gestação aumenta a demanda por nutrientes, enquanto a capacidade de ingestão de matéria seca pode ser limitada pelo crescimento do útero e dos fetos. Quando essas demandas não são atendidas, aumenta o risco de perda de condição corporal, toxemia da gestação, baixo peso ao nascer e redução da sobrevivência dos cordeiros (Weaver, 2023; Ahmadzadeh-Gavahan et al., 2023).

A placenta exerce papel fundamental nesse processo, atuando na transferência de oxigênio e nutrientes entre a mãe e o feto. Seu desenvolvimento e eficiência são influenciados pela nutrição materna, podendo determinar a disponibilidade de nutrientes para o crescimento fetal. Alterações na formação e na função placentária podem, consequentemente, afetar o peso ao nascer e a sobrevivência dos cordeiros (Toschi; Baratta, 2021; Sferruzzi-Perri et al., 2023). Dessa forma, o adequado manejo nutricional durante toda a gestação, com maior atenção ao terço final, é essencial para atender às exigências maternas e favorecer o desenvolvimento fetal.

Além da quantidade de nutrientes fornecidos, o equilíbrio da dieta materna pode influenciar a eficiência placentária e, consequentemente, o desenvolvimento fetal. A placenta adapta sua estrutura e capacidade de transporte às demandas crescentes do feto, especialmente no terço final da gestação, quando ocorre o crescimento fetal mais acelerado. Em ovelhas, alterações na oferta de nutrientes durante a gestação podem modificar o desenvolvimento e a eficiência da placenta, repercutindo no peso ao nascer e no desempenho posterior dos cordeiros. Dessa forma, o manejo nutricional deve buscar não apenas atender às exigências da matriz, mas também proporcionar condições adequadas para o funcionamento da unidade materno-placentária-fetal (Johnson et al., 2023; Sferruzzi-Perri; Lopez-Tello; Salazar-Petres, 2023).

Toxemia da gestação

Os distúrbios metabólicos no pré-parto representam importante causa de perdas produtivas e econômicas na ovinocultura, podendo comprometer a saúde das matrizes e o desempenho e a sobrevivência dos cordeiros. No final da gestação, ocorre aumento expressivo das exigências energéticas, associado à redução da ingestão de matéria seca pela diminuição da capacidade ruminal decorrente do crescimento fetal. Dessa forma, o adequado manejo nutricional e o fornecimento de dietas de alta qualidade são fundamentais para atender às demandas das ovelhas nesse período (Mongini; Van Saun, 2023; Caruso et al., 2024).

A deficiência de energia durante o final da gestação pode levar à toxemia da gestação, distúrbio metabólico caracterizado por balanço energético negativo e intensa mobilização de reservas corporais. A elevada mobilização de gordura aumenta a produção de corpos cetônicos e pode provocar alterações metabólicas graves, especialmente em ovelhas com gestações múltiplas, podendo resultar em aborto, nascimento de cordeiros fracos e até morte da matriz (Ji et al., 2023; Mongini; Van Saun, 2023).

A ocorrência da toxemia da gestação está diretamente relacionada à capacidade da ovelha em atender às elevadas demandas energéticas do final da gestação. O risco é maior em matrizes com gestações múltiplas, excesso ou baixa condição corporal e aquelas submetidas à restrição alimentar. Nessa situação, a redução da disponibilidade de glicose favorece a mobilização de gordura corporal e o aumento da concentração de corpos cetônicos, comprometendo o metabolismo materno e o desenvolvimento fetal. Portanto,

estratégias de manejo que assegurem adequado consumo de energia, especialmente nas últimas semanas de gestação, são fundamentais para reduzir o risco da enfermidade e preservar o desempenho das matrizes e dos cordeiros (Mongini; Van Saun, 2023; Bayne, 2023).

Utilização de suplementação alimentar para ovelhas no pré-parto

Com o avanço do melhoramento genético e da seleção de ovinos para características produtivas, como crescimento, ganho de peso, eficiência alimentar e rendimento de carcaça, torna-se fundamental adequar o manejo nutricional ao potencial produtivo dos animais. Dessa forma, o fornecimento de dietas que atendam às exigências de energia, proteína e demais nutrientes é essencial para que o potencial genético seja plenamente expressado, favorecendo o desempenho e a eficiência dos sistemas de produção (Kaitholil et al., 2024; Costa et al., 2024).

Dietas fornecidas em quantidade insuficiente ou com desequilíbrio de nutrientes podem comprometer o desempenho, a saúde e a condição corporal dos ovinos. Portanto, o adequado balanceamento da dieta, considerando as exigências nutricionais e a qualidade dos alimentos fornecidos, é fundamental para que os animais expressem seu potencial genético e produtivo (Simões et al., 2021; Asín et al., 2021).

Os ovinos apresentam elevada capacidade de utilização de pastagens, porém a disponibilidade e a qualidade da forragem variam ao longo do ano, podendo limitar o aporte de nutrientes, especialmente no final da gestação. Nesse período, o aumento das exigências nutricionais, associado à redução da ingestão, torna a suplementação uma importante estratégia para atender às necessidades das ovelhas e favorecer o desempenho das crias (Keady et al., 2021; Campos et al., 2022).

A suplementação no final da gestação pode melhorar o peso e a condição corporal das matrizes (Tabela 1), além de favorecer o desempenho dos cordeiros. Estudos recentes demonstram efeitos positivos sobre o peso ao nascer, crescimento e eficiência produtiva, embora as respostas dependam do nível de suplementação e da qualidade da forragem disponível (Campos et al., 2022; Ahmadzadeh-Gavahan et al., 2023).

Siqueira et al. (2022), observaram que a suplementação com concentrado no terço final da gestacional, utilizando 300 ou 400 g, melhorou o escore de condição corporal de ovelhas mestiças Santa Inês x Dorper e o peso ao nascimento dos filhotes. A suplementação também pode contribuir para melhorar a produção de colostro e leite, favorecendo o crescimento dos cordeiros durante a fase inicial de vida (Silva et al., 2024).

Em sistemas de pastejo, estratégias de suplementação durante períodos de menor disponibilidade de forragem podem melhorar a condição corporal e o desempenho das ovelhas. Entretanto, o nível de suplementação deve ser ajustado às exigências nutricionais, à qualidade da pastagem e à condição corporal das matrizes, evitando tanto a deficiência quanto o excesso de nutrientes (Araújo et al., 2022; Keady et al., 2021).

A estratégia de suplementação deve ser planejada de forma individualizada,

considerando a condição corporal das matrizes, o número de fetos, a disponibilidade e qualidade da forragem e as exigências nutricionais do período. O objetivo não é apenas aumentar o consumo de nutrientes, mas evitar perdas excessivas de condição corporal e reduzir os efeitos do balanço energético negativo, garantindo condições adequadas para o desenvolvimento fetal e a preparação da glândula mamária para a lactação. Dessa forma, o fornecimento estratégico de concentrado pode contribuir para melhorar a eficiência produtiva e reprodutiva das matrizes e aumentar a viabilidade e o desempenho dos cordeiros, especialmente em sistemas de pastejo com limitações na oferta de nutrientes (Keady et al., 2021; Campos et al., 2022; Ahmadzadeh-Gavahan et al., 2023).

Tabela 1: Ganho médio diário (GMD) e ganho de peso total (GPT) das ovelhas do terço final da gestação.

Suplementação[1]	GMD - Gestação (kg/animal/dia)	GMD - Parto (kg/animal/dia)	GMD -Desmame (kg/animal/dia)	GPT (kg/animal)
Mistura múltipla (MM)	0,026[b]	−0,134[a]	−0,008[a]	−4,775[b]
0,4% do PV	0,045[b]	−0,176[a]	0,006[a]	−4,517[b]
0,8% do PV	0,079[a]	−0,174[a]	−0,009[a]	−1,188[a]
Valor de P	0,0021	0,2370	0,0043	0,0061

[1] MM = mistura múltipla fornecida ad libitum; 0,4% PV = suplemento fornecido na proporção de 0,4% do peso vivo; 0,8% PV = suplemento fornecido na proporção de 0,8% do peso vivo.

Nota: Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Campos et al. (2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação nutricional de ovelhas no final da gestação constitui uma importante estratégia para atender ao aumento das exigências de energia, proteína e minerais, especialmente em matrizes com gestações múltiplas e em períodos de baixa disponibilidade ou qualidade da forragem. O adequado planejamento alimentar contribui para a manutenção da condição corporal das ovelhas, favorece o desenvolvimento fetal e o desempenho dos cordeiros e pode reduzir a ocorrência de distúrbios metabólicos, como a toxemia da gestação. Portanto, a suplementação deve ser ajustada às exigências nutricionais, à condição corporal das matrizes, ao número de fetos e à qualidade da pastagem, buscando maior eficiência produtiva e reprodutiva e melhores resultados para os sistemas de produção de ovinos.

REFERÊNCIAS

AHMADZADEH-GAVAHAN, L.; HOSSEINKHANI, A.; PALANGI, V.; LACKNER, M.; PHILLIPS, C. J. C. Supplementary feed additives can improve lamb performance in terms of birth weight, body size, and survival rate. **Animals**, v. 13, n. 6, p. 993, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13060993.

ASÍN, J.; RAMÍREZ, G. A.; NAVARRO, M. A. et al. Nutritional wasting disorders in sheep.

Animals, v. 11, n. 2, p. 501, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ani11020501.
BARKLEY, M. **Monitor body condition scoring and nutrition throughout pregnancy**. University Park: Penn State Extension, 2025.
BAYNE, J. E. Pregnancy toxemia therapeutic options. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 39, n. 2, p. 293–305, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.02.003.
CAMPOS, N. R. F.; DIFANTE, G. S.; GURGEL, A. L. C. et al. Effect of supplementation of ewes in the final third of gestation on the development of their lambs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, e20210094, 2022. DOI: https://doi.org/10.37496/rbz5120210094.
CANNAS, A.; TEDESCHI, L. O.; ATZORI, A. S.; NUDDA, A. Review: Managing sheep and goats for sustainable high yield production. **Animal**, v. 15, 100293, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100293.
CARUSO, M. et al. Metabolic periparturient diseases in small ruminants: an update. **Applied Sciences**, v. 14, n. 21, p. 10073, 2024.
COSTA, R. L. D. et al. Compilations and updates on residual feed intake in sheep. **Tropical Animal Health and Production**, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-024-04018-7.
COSTA, R. L. D. et al. Effects of using different concentrate supplementation levels in diets of lambs fed tropical Aruana (*Megathyrsus maximus*) or Marandu (*Brachiaria brizantha*) grass: performance, digestibility, and costs of production. **Grasses**, v. 3, n. 1, p. 19–34, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/grasses3010003.
JI, X.; LIU, N.; WANG, Y.; DING, K.; HUANG, S.; ZHANG, C. Pregnancy toxemia in ewes: a review of molecular metabolic mechanisms and management strategies. **Metabolites**, v. 13, n. 2, p. 149, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/metabo13020149.
JOHNSON, G. A.; BAZER, F. W.; SEO, H.; BURGHARDT, R. C.; WU, G.; POHLER, K. G.; CAIN, J. W. Understanding placentation in ruminants: a review focusing on cows and sheep. **Reproduction, Fertility and Development**, v. 36, n. 2, p. 93–111, 2023. DOI: https://doi.org/10.1071/RD23119.
KEADY, T. W. J.; HANRAHAN, J. P.; McNAMARA, K. Effects of grass and maize silage feed value, offering soybean meal with maize silage, and concentrate feed level in late pregnancy, on ewe and lamb performance. **Animal**, v. 15, p. 100068, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100068.
KENYON, P. R.; ROCA FRAGA, F. J.; BLUMER, S.; THOMPSON, A. N. Triplet lambs and their dams: a review of current knowledge and management systems. New Zealand Journal of **Agricultural Research**, v. 62, n. 4, p. 399–437, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/00288233.2019.1616568.
KAITHOLIL, S. R. C.; MOONEY, M. H.; AUBRY, A.; REZWAN, F.; SHIRALI, M. Insights into the influence of diet and genetics on feed efficiency and meat production in sheep. **Animal Genetics**, v. 55, n. 1, p. 20–46, 2024. DOI: https://doi.org/10.1111/age.13383.
MOORBY, J. M. et al. New feeds and new feeding systems in intensive and semi-intensive forage-fed ruminant livestock systems. **Animal**, v. 15, suppl 1, p. 1002972021, 2021.

MAKKAR, H. P. S. Improving adoption of technologies and interventions for increasing supply of quality livestock feed in low- and middle-income countries. **Animal**, v. 14, supl. 2, p. S1–S8, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100289

MONGINI, A.; VAN SAUN, R. J. Pregnancy toxemia in sheep and goats. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 39, n. 2, p. 275–291, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.02.010.

SFERRUZZI-PERRI, A. N.; LOPEZ-TELLO, J.; SALAZAR-PETRES, E. Placental adaptations supporting fetal growth during normal and adverse gestational environments. **Experimental Physiology**, v. 108, n. 3, p. 371–397, 2023. DOI: https://doi.org/10.1113/EP090442.

SILVA, N. C. D., CABRAL FILHO, S. L. S., SANTOS, R. S. D., SILVA, C. J. D., CARDOSO, R. B., SILVA, B. D. M.; RIBEIRO, M. D. Supplementation strategies for ewes during gestation and lactation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, suppl 1, e20230686, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/0001-3765202420230686

SIMÕES, J.; ABECIA, J. A.; CANNAS, A.; DELGADILLO, J. A.; LACASTA, D.; VOIGT, K.; CHEMINEAU, P. Review: Managing sheep and goats for sustainable high yield production. **Animal**, v. 15, supl. 1, 100293, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100293.

SIQUEIRA, M. T. S. et al. Consumo e parâmetros produtivos de ovelhas gestantes suplementadas com concentrado. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 117–128, 2022. DOI: https://doi.org/10.32406/v5n1/2022/117-128/agrariacad.

SFERRUZZI-PERRI, A. N., LOPEZ-TELLO, J.; SALAZAR-PETRES, E. Placental adaptations supporting fetal growth during normal and adverse gestational environments. **Experimental Physiology**, v. 108, p. 371–397, 2023. https://doi.org/10.1113/EP090442.

TOSCHI, P.; BARATTA, M. Ruminant placental adaptation in early maternal undernutrition: an overview. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, 755034, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2021.755034.

WEAVER, A. **Late gestation management considerations**. Columbus: OSU Small Ruminant Team, 2023.

CAPÍTULO 31

SUPLEMENTAÇÃO LIPÍDICA E USO DE LISOFOSFOLIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

Marco Túlio Santos Siqueira[1];
[1]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Rodolfo Henrique Silva Pereira[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marcela Rodrigues de Oliveira[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[4];
[4]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Nathália de Lima Mendes[5];
[5]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isabella Mariano Machado[7];
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707
Marcos Borges Santa Rosa[8];
[8]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
https://lattes.cnpq.br/6920158650548124
Camila Raineri[9].
[9]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/0752824652408153

RESUMO: A suplementação lipídica constitui uma estratégia nutricional utilizada para aumentar a densidade energética das dietas de ruminantes, porém sua eficiência depende das características da fonte lipídica e dos processos de digestão e absorção dos ácidos graxos (AG). Este capítulo objetiva apresentar e discutir os principais aspectos relacionados à suplementação lipídica e ao uso de lisofosfolipídios na nutrição de ovinos, abordando o metabolismo, a digestão e a absorção dos lipídeos e os mecanismos de ação dos lisofosfolipídios. Foi realizada pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, natureza básica e caráter exploratório e descritivo, utilizando artigos científicos disponíveis

nas bases *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*. Foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos, complementados por trabalhos clássicos relevantes. A literatura demonstra que fontes lipídicas ruminalmente inertes podem aumentar o aporte energético com menor interferência sobre a fermentação ruminal, embora seu aproveitamento dependa da digestibilidade intestinal dos AG. Nesse contexto, os lisofosfolipídios apresentam potencial para favorecer a emulsificação, a formação de micelas e a utilização intestinal dos lipídeos. Entretanto, as respostas são variáveis e dependem da fonte lipídica, do perfil de AG's, da composição e dose do emulsificante e da categoria animal.
PALAVRAS-CHAVE: Emulsificantes. Lipídeos. Lisolecitina.

LIPID SUPPLEMENTATION AND THE USE OF LYSOPHOSPHOLIPIDS IN SHEEP NUTRITION

ABSTRACT: Lipid supplementation is a nutritional strategy used to increase the energy density of ruminant diets; however, its efficiency depends on the characteristics of the lipid source and the processes involved in fatty acid (FA) digestion and absorption. This chapter aims to present and discuss the main aspects related to lipid supplementation and the use of lysophospholipids in sheep nutrition, addressing lipid metabolism, digestion and absorption, as well as the mechanisms of action of lysophospholipids. A qualitative bibliographic review of a basic, exploratory, and descriptive nature was conducted using scientific articles available in the Web of Science, Scopus, SciELO, ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar databases. Studies published in the last ten years were prioritized and complemented by relevant classic studies. The literature indicates that rumen-inert lipid sources can increase energy supply with less interference with ruminal fermentation, although their utilization depends on the intestinal digestibility of FA. In this context, lysophospholipids have the potential to enhance emulsification, micelle formation, and intestinal lipid utilization. However, responses vary according to the lipid source, FA profile, emulsifier composition and dose, and animal category.
KEYWORDS: Emulsifiers. Lipids. Lysolecithin.

INTRODUÇÃO

A suplementação lipídica constitui uma importante estratégia nutricional para aumentar a densidade energética das dietas de ruminantes e pode contribuir para o desempenho produtivo e para a modulação da composição dos produtos de origem animal. Entretanto, os efeitos da inclusão de lipídeos dependem de fatores como nível de suplementação, perfil de ácidos graxos (AG) e forma de fornecimento, uma vez que determinadas fontes, especialmente aquelas ricas em AG insaturados (AGI), podem interferir na microbiota e na fermentação ruminal (Ponnampalam et al., 2024).

Nesse contexto, fontes lipídicas consideradas ruminalmente inertes têm sido

utilizadas com o objetivo de fornecer energia e AG com menor interferência sobre o ambiente ruminal. Entre elas, destacam-se produtos derivados do óleo de palma, caracterizados principalmente pela presença de ácido palmítico (C16:0) e, dependendo de sua composição e processamento, ácido oleico (C18:1 cis-9) (Dos Santos Neto; de Souza; Lock, 2021). Apesar das vantagens da suplementação lipídica, a utilização dos AG também depende de sua digestão e absorção intestinal, processos influenciados por características como comprimento da cadeia, grau de insaturação, fluxo intestinal e formação de micelas (Doreau; Ferlay, 1994).

Dessa forma, emulsificantes como os lisofosfolipídios têm despertado interesse na nutrição de ruminantes por suas propriedades anfifílicas e potencial para favorecer a emulsificação, formação de micelas e utilização intestinal dos lipídeos (Huo et al., 2019). A lisolecitina, obtida a partir da hidrólise enzimática da lecitina, contém diferentes lisofosfolipídios capazes de modificar as propriedades físico-químicas da fase lipídica e, potencialmente, aumentar a digestibilidade dos AG e a eficiência de utilização da energia da dieta (Huo et al., 2019; Porter et al., 2024). Entretanto, as respostas à suplementação são variáveis e dependem da composição da dieta, da fonte lipídica, da categoria animal e das características do emulsificante utilizado (HUO et al., 2019). O estudo de Huo et al. (2019), realizado com cordeiros, demonstrou que a suplementação com lisofosfolipídios alterou a digestibilidade dos nutrientes e a fermentação ruminal, mas não promoveu respostas consistentemente positivas sobre o desempenho.

Assim, compreender o metabolismo dos lipídeos e os fatores que limitam sua utilização pelos ruminantes é fundamental para avaliar o potencial dos lisofosfolipídios como estratégia nutricional (Doreau; Ferlay, 1994). A associação entre fontes lipídicas ruminalmente inertes e emulsificantes representa uma abordagem de interesse para otimizar a utilização dos AG e, consequentemente, a eficiência nutricional e o desempenho de ovinos (Dos Santos Neto; de Souza; Lock, 2021; Huo et al., 2019).

OBJETIVO

Apresentar e discutir os principais aspectos relacionados à suplementação lipídica e ao uso de lisofosfolipídios na nutrição de ovinos, abordando o metabolismo, a digestão e a absorção dos lipídeos, as particularidades das fontes lipídicas ruminalmente inertes e os mecanismos de ação dos lisofosfolipídios, bem como seus potenciais efeitos sobre a digestibilidade dos nutrientes, a eficiência de utilização da dieta e o desempenho animal.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratório e descritivo, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. A pesquisa foi realizada por meio da consulta a artigos científicos publicados em periódicos de reconhecida relevância nas áreas de Ciência Animal, Nutrição de Ruminantes e Metabolismo Animal. As buscas foram conduzidas nas bases de dados

Web of Science, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*, utilizando combinações de descritores em português e inglês, como: “suplementação lipídica”, “gordura protegida”, “gordura inerte”, “digestão de lipídeos”, “digestibilidade de ácidos graxos”, “lisolecitina”, “lisofosfolipídios”, “emulsificantes”, “ovinos”, “ruminantes”, “*fat supplementation*”, “*rumen-inert fat*”, “*rumen-protected fat*”, “*lipid digestion*”, “*fatty acid digestibility*”, “*lysolecithin*”, “*lysophospholipids*”, “*emulsifiers*”, “*sheep*” e “*ruminants*”, nos meses de julho e agosto de 2026.

Foram priorizados artigos científicos publicados, preferencialmente, nos últimos dez anos, sem excluir trabalhos clássicos considerados fundamentais para a compreensão do metabolismo, digestão e absorção de lipídeos em ruminantes. Os estudos foram selecionados considerando sua qualidade científica, pertinência ao tema e contribuição para a compreensão dos efeitos das fontes lipídicas e dos lisofosfolipídios sobre o metabolismo, a digestibilidade dos nutrientes, a eficiência de utilização da dieta e o desempenho animal, com ênfase em estudos realizados com ovinos.

As informações obtidas foram organizadas e analisadas de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura, com o propósito de sintetizar o conhecimento científico disponível sobre a suplementação lipídica e o uso de lisofosfolipídios na nutrição de ovinos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Suplementação lipídica na alimentação de ruminantes

Os lipídeos apresentam elevada densidade energética e sua inclusão nas dietas de ruminantes constitui uma estratégia para aumentar o aporte de energia sem a necessidade de elevar proporcionalmente a participação de carboidratos rapidamente fermentáveis. Além da contribuição energética, a suplementação lipídica pode modificar o perfil de ácidos graxos absorvidos, influenciar o metabolismo animal e alterar a composição lipídica da carne e do leite. Entretanto, seus efeitos dependem da quantidade fornecida, da composição em ácidos graxos e das características físico-químicas da fonte utilizada (Palmquist; Jenkins, 2017; Dos Santos Neto; de Souza; Lock, 2021).

A utilização de fontes lipídicas convencionais apresenta limitações relacionadas principalmente aos efeitos dos ácidos graxos livres sobre o ambiente ruminal. Após a ingestão, os lipídeos dietéticos são submetidos à lipólise microbiana, liberando ácidos graxos, especialmente insaturados, que podem exercer efeitos inibitórios sobre determinadas populações de microrganismos ruminais. Em níveis elevados de suplementação, essas alterações podem comprometer a digestão da fibra, modificar o padrão de fermentação e reduzir o consumo de matéria seca, limitando os benefícios decorrentes do aumento da densidade energética da dieta (Doreau; Ferlay, 1994; Jenkins, 1993; Rodrigues et al., 2019).

Nesse contexto, diferentes estratégias têm sido desenvolvidas para reduzir a interação dos lipídeos suplementares com a microbiota ruminal. As fontes denominadas

ruminalmente inertes ou protegidas são formuladas para apresentar menor reatividade no rúmen e permitir maior fluxo de ácidos graxos para o intestino. Entre elas encontram-se os sais de cálcio de ácidos graxos, obtidos pela associação dos grupos carboxila dos ácidos graxos com íons cálcio. Sua estabilidade depende das condições ruminais, especialmente do pH e da composição dos ácidos graxos, razão pela qual o termo "inerte" não deve ser interpretado como ausência completa de dissociação ou metabolismo no rúmen (Sukhija; Palmquist, 1990; Dos Santos Neto; De Souza; Lock, 2021).

Fontes derivadas do óleo de palma são frequentemente utilizadas na formulação desses suplementos devido à elevada participação de ácidos graxos de cadeia longa, particularmente o ácido palmítico (C16:0), embora sua composição varie conforme a matéria-prima e o processamento. O fornecimento dessas fontes pode aumentar o aporte de ácidos graxos ao intestino e reduzir alguns dos efeitos negativos associados à suplementação com óleos livres. Entretanto, a maior quantidade de lipídeos que alcança o intestino não implica necessariamente maior aproveitamento pelo animal, pois a digestibilidade intestinal varia entre os diferentes ácidos graxos (Dos Santos Neto; De Souza; Lock, 2021; Boerman; Lock, 2014).

De modo geral, a digestibilidade tende a ser influenciada pelo comprimento da cadeia carbônica, grau de insaturação, quantidade total de ácidos graxos que chega ao intestino e proporção entre ácidos graxos saturados e insaturados. Ácidos graxos saturados de cadeia longa apresentam menor solubilidade no ambiente intestinal e podem apresentar menor digestibilidade, particularmente quando fornecidos em maiores quantidades. Assim, estratégias destinadas a proteger os lipídeos dos efeitos ruminais devem considerar também a eficiência com que esses compostos serão posteriormente solubilizados e absorvidos no intestino (Andrews; Lewis, 1970; Boerman; Lock, 2014).

A resposta produtiva à suplementação lipídica é, portanto, resultado do equilíbrio entre o aumento da densidade energética da dieta, os efeitos da fonte lipídica sobre a fermentação ruminal e a capacidade de digestão e absorção dos ácidos graxos no intestino (Doreau; Ferlay, 1994; Palmquist; Jenkins, 2017). Essa última etapa assume especial importância quando são utilizadas fontes ricas em ácidos graxos saturados, constituindo um dos fundamentos para o emprego de emulsificantes com o objetivo de aumentar a eficiência de utilização dos lipídeos dietéticos (Boerman; Lock, 2014; Huo et al., 2019).

Metabolismo, digestão e absorção de lipídeos em ruminantes

A utilização dos lipídeos dietéticos pelos ruminantes envolve uma sequência de transformações que se inicia no rúmen e prossegue no intestino delgado. Diferentemente dos monogástricos, grande parte dos lipídeos ingeridos sofre intensa modificação pela microbiota ruminal antes de alcançar o intestino. Assim, a quantidade e o perfil dos ácidos graxos disponíveis para absorção podem diferir consideravelmente daqueles originalmente presentes na dieta (Jenkins, 1993; Doreau; Ferlay, 1994; Lourenço; Ramos-Morales; Wallace, 2010).

No rúmen, os lipídeos, predominantemente triacilgliceróis, glicolipídeos e fosfolipídios, são inicialmente submetidos à lipólise por enzimas microbianas. Esse processo promove a hidrólise das ligações éster e a liberação de ácidos graxos livres e glicerol ou outros componentes da fração polar. Os ácidos graxos insaturados liberados tornam-se substratos para a biohidrogenação ruminal, mecanismo pelo qual os microrganismos convertem parte das ligações insaturadas em ligações saturadas. Como consequência, embora as dietas possam conter proporções consideráveis de ácidos graxos insaturados, o fluxo que alcança o duodeno é caracterizado por elevada participação de ácidos graxos saturados, especialmente o ácido esteárico (C18:0) (Jenkins, 1993; Lourenço; Ramos-Morales; Wallace, 2010).

A biohidrogenação ocorre por meio de diferentes vias e envolve a formação de intermediários, cuja composição depende do perfil lipídico da dieta e das condições do ambiente ruminal. Além de reduzir a exposição dos microrganismos aos efeitos potencialmente tóxicos dos ácidos graxos insaturados, essas transformações modificam o perfil de ácidos graxos disponível para absorção e posterior incorporação aos tecidos e produtos de origem animal. Alterações no pH, na relação volumoso:concentrado e na quantidade e no tipo de lipídeo fornecido podem modificar essas vias e a extensão da biohidrogenação (Jenkins, 1993; Lourenço; Ramos-Morales; Wallace, 2010).

Ao deixarem o rúmen, os ácidos graxos encontram-se predominantemente na forma não esterificada e associados às partículas alimentares e aos microrganismos. No intestino delgado, sua absorção exige inicialmente a transferência da fase insolúvel para uma fase aquosa capaz de aproximá-los da superfície dos enterócitos. Esse processo representa um desafio particularmente importante para ácidos graxos saturados de cadeia longa devido à sua baixa solubilidade no meio intestinal (Bauchart, 1993; Doreau; Ferlay, 1994).

A bile desempenha papel fundamental nessa etapa. Os sais biliares e fosfolipídios presentes nas secreções biliares possuem propriedades anfifílicas e participam da emulsificação e solubilização dos produtos da digestão lipídica. A fosfatidilcolina, um dos principais fosfolipídios da bile, pode ser hidrolisada pela fosfolipase A_2 pancreática, originando lisofosfatidilcolina e ácido graxo livre. A lisofosfatidilcolina apresenta elevada capacidade de associação com os produtos da digestão lipídica e participa da formação de micelas mistas (BAUCHART, 1993).

As micelas permitem a incorporação de ácidos graxos e outros compostos lipossolúveis em estruturas compatíveis com o ambiente aquoso do lúmen intestinal, facilitando seu transporte através da camada de água adjacente à mucosa. Os componentes lipídicos são então disponibilizados aos enterócitos para absorção. Dessa forma, a eficiência da formação e estabilidade das micelas constitui uma etapa determinante da digestibilidade intestinal dos ácidos graxos (Bauchart, 1993; Doreau; Ferlay, 1994).

A digestibilidade dos lipídeos em ruminantes é influenciada por diversos fatores. Em geral, o aumento do grau de insaturação favorece a solubilização e a digestibilidade intestinal, enquanto ácidos graxos saturados de cadeia longa apresentam maior dificuldade

de incorporação às micelas. Além disso, o aumento do fluxo total de ácidos graxos para o intestino pode reduzir sua digestibilidade aparente, indicando que a capacidade de solubilização e absorção não aumenta necessariamente na mesma proporção que a oferta (Boerman et al., 2015).

Essas particularidades são especialmente relevantes quando fontes lipídicas ricas em ácido palmítico ou outros ácidos graxos saturados são utilizadas na dieta. Embora a proteção ou inertividade ruminal possa favorecer o fornecimento de lipídeos sem comprometer significativamente a fermentação, o benefício nutricional final depende da eficiência com que os ácidos graxos que alcançam o intestino são incorporados às micelas e absorvidos. Assim, a transferência dos lipídeos da fase insolúvel para a fase micelar pode representar um ponto limitante para sua utilização, constituindo a principal justificativa fisiológica para o emprego de emulsificantes exógenos na alimentação de ruminantes (BAUCHART, 1993; BOERMAN et al., 2015).

Lisofosfolipídios como estratégia para aumentar a utilização de lipídeos em ruminantes

A eficiência de utilização dos lipídeos dietéticos depende não apenas da quantidade de ácidos graxos que alcança o intestino, mas também de sua capacidade de dispersão no meio aquoso, incorporação às micelas e posterior absorção pelos enterócitos. Nesse contexto, emulsificantes exógenos têm sido estudados como estratégia nutricional para favorecer a digestão e a absorção intestinal de lipídeos, especialmente em dietas com maior concentração de gordura ou contendo fontes ricas em ácidos graxos saturados (Bauchart, 1993; Porter et al., 2024).

Entre os emulsificantes utilizados na alimentação animal destacam-se os derivados da lecitina. A lecitina corresponde a uma mistura de fosfolipídios, constituída principalmente por fosfatidilcolina, além de fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol e outros componentes. Por apresentarem regiões hidrofílicas e hidrofóbicas em sua estrutura, esses compostos possuem caráter anfifílico e podem atuar na interface entre as fases aquosa e lipídica, favorecendo a dispersão dos lipídeos no meio digestivo (Van Nieuwenhuyzen; Tomás, 2008).

A hidrólise enzimática dos fosfolipídios da lecitina, geralmente pela ação da fosfolipase A_2, promove a remoção de um dos ácidos graxos esterificados ao glicerol e origina os respectivos lisofosfolipídios. Entre eles estão a lisofosfatidilcolina, lisofosfatidiletanolamina, lisofosfatidilinositol e lisofosfatidilserina. A mistura resultante desse processo é frequentemente denominada lisolecitina e apresenta características físico-químicas distintas da lecitina original. A presença de apenas uma cadeia acila aumenta o caráter hidrofílico de diversos lisofosfolipídios, favorecendo sua atuação como surfactantes e sua participação na formação de estruturas micelares (Van Nieuwenhuyzen; Tomás, 2008).

No intestino delgado, os lisofosfolipídios podem favorecer a emulsificação e a incorporação dos produtos da digestão lipídica às micelas mistas, aumentando sua dispersão no conteúdo intestinal e facilitando o contato com a superfície absortiva. Esse mecanismo

é particularmente relevante para ácidos graxos saturados de cadeia longa, cuja baixa solubilidade pode limitar sua incorporação à fase micelar. Dessa forma, a suplementação com lisofosfolipídios tem sido proposta como estratégia para aumentar a digestibilidade dos lipídeos e, consequentemente, a eficiência de utilização da energia da dieta (Bauchart, 1993; Porter et al., 2024).

Além dos efeitos físico-químicos sobre emulsificação e formação de micelas, têm sido propostos efeitos dos lisofosfolipídios sobre a interface intestinal e o transporte de nutrientes. Entretanto, esses mecanismos são mais complexos e não devem ser interpretados simplesmente como um aumento generalizado da permeabilidade intestinal. A magnitude e a relevância desses efeitos dependem da composição do produto, da dose utilizada, da dieta e das condições fisiológicas do animal. Assim, a melhora da utilização dos lipídeos provavelmente resulta da combinação de diferentes mecanismos, com destaque para a solubilização e o transporte dos produtos da digestão lipídica (Van Nieuwenhuyzen; Tomás, 2008; Huo et al., 2019).

Em ruminantes, entretanto, a atuação dos lisofosfolipídios apresenta particularidades em relação aos animais monogástricos. Antes de alcançar o intestino, o aditivo pode interagir com o ambiente ruminal e com os componentes da dieta, enquanto o perfil de ácidos graxos que chega ao duodeno já foi profundamente modificado pela lipólise e biohidrogenação. Consequentemente, os efeitos observados dependem não somente da capacidade emulsificante do produto, mas também da fonte e do nível de gordura suplementada, do perfil de ácidos graxos que alcança o intestino e da própria estabilidade do aditivo ao longo do trato gastrointestinal (Huo et al., 2019; Porter et al., 2024).

Os resultados experimentais em ruminantes demonstram, por isso, respostas variáveis. A suplementação com lisofosfolipídios ou outros biossurfactantes pode aumentar a digestibilidade do extrato etéreo e, em determinadas condições, favorecer a digestibilidade de outros componentes da dieta e o desempenho animal. Entretanto, também são relatados estudos nos quais a suplementação não modifica o consumo, o ganho de peso, a eficiência alimentar ou parâmetros de fermentação ruminal. Essa variabilidade indica que os benefícios desses aditivos não são universais e dependem das condições em que são empregados (Huo et al., 2019; Porter et al., 2024).

A interação com a fonte lipídica merece especial atenção. Em dietas contendo fontes com elevada proporção de ácidos graxos saturados, como determinados produtos derivados do óleo de palma, a menor solubilidade intestinal desses compostos fornece uma justificativa fisiológica para o uso de emulsificantes. Entretanto, a resposta depende da quantidade de gordura que efetivamente alcança o intestino e da composição do suplemento. Assim, a associação entre fontes lipídicas ruminalmente inertes e lisofosfolipídios pode ser nutricionalmente interessante, mas sua eficácia deve ser avaliada considerando conjuntamente a digestibilidade dos ácidos graxos, o consumo e a resposta produtiva dos animais (Huo et al., 2019; Porter et al., 2024).

Nesse sentido, os lisofosfolipídios devem ser compreendidos como moduladores

potenciais da eficiência de utilização dos lipídeos, e não como aditivos capazes de promover invariavelmente melhorias no desempenho. A caracterização da fonte lipídica, do perfil de ácidos graxos, da composição e dose do emulsificante e da categoria animal é fundamental para interpretar as respostas à suplementação. Em ovinos, a disponibilidade ainda limitada e a heterogeneidade dos estudos reforçam a necessidade de compreender em quais condições a associação entre fontes lipídicas e lisofosfolipídios pode efetivamente aumentar a digestibilidade e converter o maior aporte energético da dieta em benefícios produtivos (Huo et al., 2019; Porter et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação lipídica constitui uma estratégia relevante para aumentar a densidade energética das dietas de ruminantes, porém sua eficiência depende das características da fonte utilizada e das transformações sofridas pelos lipídeos ao longo do trato gastrointestinal. Embora fontes ruminalmente inertes possam reduzir a interação dos ácidos graxos com a microbiota ruminal, o aproveitamento energético final permanece condicionado à eficiência de digestão e absorção intestinal, especialmente para ácidos graxos saturados de cadeia longa.

Nesse contexto, os lisofosfolipídios apresentam potencial para favorecer a utilização dos lipídeos por suas propriedades emulsificantes e participação nos processos de solubilização e formação de micelas. Entretanto, as respostas observadas em ruminantes são variáveis e dependem de fatores como composição e nível da fonte lipídica, perfil de ácidos graxos, características e dose do emulsificante e categoria animal. Assim, a associação entre fontes lipídicas ruminalmente inertes e lisofosfolipídios constitui uma estratégia nutricional promissora, mas seus benefícios devem ser avaliados considerando as condições específicas de utilização e seus efeitos sobre a digestibilidade, eficiência de utilização dos nutrientes e desempenho dos animais.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, R. J.; LEWIS, D. The utilization of dietary fats by ruminants: II. The effect of fatty acid chain length and unsaturation on digestibility. **The Journal of Agricultural Science**, v. 75, n. 1, p. 45–51, 1970.

BAUCHART, D. Lipid absorption and transport in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 12, p. 3864–3881, 1993. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77728-0.

BOERMAN, J. P.; FIRKINS, J. L.; ST-PIERRE, N. R.; LOCK, A. L. Intestinal digestibility of long-chain fatty acids in lactating dairy cows: a meta-analysis and meta-regression. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 12, p. 8889–8903, 2015. DOI: 10.3168/jds.2015-9592.

BOERMAN, J. P.; LOCK, A. L. Intestinal digestibility of long-chain fatty acids in lactating dairy cows: a meta-analysis and meta-regression. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 11, p. 6537–6550, 2014. DOI: 10.3168/jds.2014-8172.

DOREAU, M.; FERLAY, A. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. **Animal**

Feed Science and Technology, v. 45, n. 3–4, p. 379–396, 1994. DOI: 10.1016/0377-8401(94)90039-6.
DOS SANTOS NETO, J. M.; DE SOUZA, J.; LOCK, A. L. Effects of calcium salts of palm fatty acids on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows: a meta-analysis and meta-regression. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 9, p. 9752–9768, 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19936.
HUO, Q. et al. Dietary supplementation of lysophospholipids affects feed digestion in lambs. **Animals**, v. 9, n. 10, p. 805, 2019. DOI: 10.3390/ani9100805.
JENKINS, T. C. Lipid metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 12, p. 3851–3863, 1993. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77727-9.
LOURENÇO, M.; RAMOS-MORALES, E.; WALLACE, R. J. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1008–1023, 2010. DOI: 10.1017/S175173111000042X.
PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T. C. A 100-year review: fat feeding of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 12, p. 10016–10050, 2017. DOI: 10.3168/jds.2017-12924.
PORTER, N. H. et al. Effects of saturated fatty acids with lysophospholipids on production and nutrient digestibility in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 7, p. 4524–4536, 2024. DOI: 10.3168/jds.2023-24457.
RODRIGUES, J. P. P. et al. Effects of soybean oil supplementation on performance, digestion and metabolism of early lactation dairy cows fed sugarcane-based diets. **Animal**, v. 13, n. 6, p. 1198–1207, 2019. DOI: 10.1017/S1751731118002781.
SUKHIJA, P. S.; PALMQUIST, D. L. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 7, p. 1784–1787, 1990. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(90)78858-3.
VAN NIEUWENHUYZEN, W.; TOMÁS, M. C. Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 110, n. 5, p. 472–486, 2008. DOI: 10.1002/ejlt.200800041.

CAPÍTULO 32

RELAÇÃO MATERNO-FILIAL E SOBREVIVÊNCIA NEONATAL EM OVINOS: PARTICULARIDADES DA RAÇA SANTA INÊS

Marco Túlio Santos Siqueira[1];
[1]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Rodolfo Henrique Silva Pereira[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marcos Borges Santa Rosa[3];
[3]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
https://lattes.cnpq.br/6920158650548124
Geovana Lopes Nascimento[4];
[4]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/6231932914730356
Camila Raineri[5].
[5]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/0752824652408153

RESUMO: A sobrevivência neonatal de cordeiros representa um importante desafio para os sistemas de produção de ovinos e está diretamente relacionada à interação estabelecida entre a ovelha e sua cria no período perinatal. Este capítulo objetiva apresentar e discutir os principais aspectos relacionados ao comportamento materno-filial e à sobrevivência neonatal em ovinos Santa Inês, abordando fatores maternos, perinatais, ambientais e de manejo. Foi realizada pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, natureza básica e caráter exploratório e descritivo, utilizando artigos científicos disponíveis nas bases *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*. Foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos, complementados por trabalhos clássicos relevantes. A literatura demonstra que o estabelecimento precoce do vínculo mãe-cria, o vigor neonatal e a ingestão de colostro são fundamentais para a sobrevivência dos cordeiros. Essas respostas são moduladas pela experiência e nutrição maternas, tamanho da prole, peso ao nascimento, características do parto, genótipo, condições ambientais e práticas de manejo. Em ovinos Santa Inês, as evidências indicam adequada expressão dos cuidados maternos e capacidade de adaptação neonatal às condições tropicais. Assim, a integração entre características maternas, neonatais e ambientais e práticas de manejo adequadas é fundamental para favorecer a sobrevivência e o bem-estar dos cordeiros.
PALAVRAS-CHAVE: Bem-estar animal. Comportamento materno. Mortalidade neonatal.

MATERNAL–OFFSPRING BEHAVIOR AND NEONATAL SURVIVAL IN SANTA INÊS

ABSTRACT: Neonatal lamb survival represents an important challenge for sheep production systems and is directly related to the interaction established between the ewe and her offspring during the perinatal period. This chapter aims to present and discuss the main aspects related to maternal–offspring behavior and neonatal survival in Santa Inês sheep, addressing maternal, perinatal, environmental, and management factors. A qualitative bibliographic review of a basic, exploratory, and descriptive nature was conducted using scientific articles available in the Web of Science, Scopus, SciELO, ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar databases. Studies published in the last ten years were prioritized and complemented by relevant classic studies. The literature demonstrates that early establishment of the ewe–lamb bond, neonatal vigor, and colostrum intake are essential for lamb survival. These responses are modulated by maternal experience and nutrition, litter size, birth weight, characteristics of parturition, genotype, environmental conditions, and management practices. In Santa Inês sheep, available evidence indicates adequate expression of maternal care and neonatal adaptation to tropical conditions. Thus, the integration of maternal, neonatal, and environmental characteristics with appropriate management practices is fundamental to promoting lamb survival and welfare.
KEYWORDS: Animal welfare. Maternal behavior. Neonatal mortality.

INTRODUÇÃO

O período perinatal constitui uma das fases mais críticas dos sistemas de produção de ovinos, uma vez que concentra grande parte dos riscos à sobrevivência dos cordeiros e exerce influência direta sobre a eficiência produtiva, econômica e o bem-estar dos animais (Bruce *et al*., 2020). A mortalidade neonatal e pré-desmame reduz o número de cordeiros disponíveis para comercialização ou reposição e aumenta os custos associados à manutenção das matrizes e às intervenções necessárias para o cuidado das crias.

Ao nascimento, os cordeiros enfrentam uma transição fisiológica abrupta do ambiente uterino para o meio externo e apresentam reservas energéticas relativamente limitadas, elevada relação entre superfície corporal e massa e dependência do colostro para aquisição de imunidade passiva e aporte inicial de nutrientes. Consequentemente, as primeiras horas após o parto são determinantes para sua sobrevivência, sobretudo quando condições ambientais adversas, baixo peso ao nascimento, reduzido vigor neonatal, dificuldades durante o parto ou inadequado comportamento materno comprometem a interação entre mãe e cria (Mota-Rojas *et al*., 2025).

Entre os principais eventos relacionados à sobrevivência neonatal estão a manutenção da temperatura corporal, a capacidade do cordeiro de levantar-se e localizar o úbere, a ingestão precoce de colostro e o estabelecimento do vínculo materno-filial. Esses eventos são interdependentes e influenciados por características maternas, neonatais, ambientais e de manejo (Plush *et al*., 2016). Dessa forma, compreender os mecanismos fisiológicos

e comportamentais envolvidos no período perinatal é fundamental para estabelecer estratégias capazes de reduzir a mortalidade e melhorar o bem-estar e a eficiência dos sistemas de produção de ovinos.

OBJETIVO

Apresentar e discutir os principais aspectos relacionados ao comportamento materno-filial e à sobrevivência neonatal em ovinos Santa Inês, abordando a interação entre a ovelha e o cordeiro, os fatores maternos e perinatais que modulam essa relação, a influência das condições ambientais e das práticas de manejo, bem como suas implicações para o bem-estar e a sobrevivência dos cordeiros em sistemas de produção.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratório e descritivo, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. A pesquisa foi realizada por meio da consulta a artigos científicos publicados em periódicos de reconhecida relevância nas áreas de Ciência Animal, Etologia, Bem-Estar Animal, Reprodução e Produção de Ovinos. As buscas foram conduzidas nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*, utilizando combinações de descritores em português e inglês, como: “comportamento materno”, “comportamento neonatal”, “relação mãe-cria”, “sobrevivência neonatal”, “mortalidade neonatal”, “vigor neonatal”, “colostro”, “termorregulação”, “ovelhas”, “cordeiros”, “Santa Inês”, “*maternal behavior*”, “*neonatal behavior*”, “*ewe-lamb bonding*”, “*maternal-offspring relationship*”, “*neonatal survival*”, “*lamb mortality*”, “*neonatal vigor*”, “*colostrum*”, “*thermoregulation*”, “*ewes*”, “*lambs*” e “*Santa Ines sheep*”, nos meses de julho e agosto de 2026.

Foram priorizados artigos científicos publicados, preferencialmente, nos últimos dez anos, sem excluir trabalhos clássicos considerados fundamentais para a compreensão do comportamento materno-filial e dos mecanismos relacionados à adaptação e à sobrevivência neonatal de cordeiros. Os estudos selecionados foram analisados quanto à qualidade científica, relevância para o tema e contribuição para a compreensão da interação entre ovelha e cordeiro, dos fatores maternos e perinatais, das condições ambientais e das práticas de manejo associadas ao estabelecimento do vínculo materno-filial, ao vigor e à sobrevivência neonatal, com especial atenção aos estudos realizados com ovinos Santa Inês e em condições tropicais.

Os dados obtidos foram organizados e analisados de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura, com o propósito de sintetizar o conhecimento científico disponível e fornecer uma visão atualizada sobre os fatores envolvidos no comportamento materno-filial e na sobrevivência neonatal de cordeiros, particularmente da raça Santa Inês.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Comportamento materno-filial e sobrevivência neonatal

A sobrevivência neonatal depende da rápida adaptação à vida extrauterina e do estabelecimento de uma interação eficiente entre mãe e cria. Nas primeiras horas após o parto, comportamentos expressos tanto pela ovelha quanto pelo cordeiro favorecem a formação do vínculo materno-filial, a ingestão de colostro e a manutenção da proximidade entre os animais. Assim, o sucesso dessa relação resulta da participação ativa de ambos, e falhas nos comportamentos maternos ou neonatais podem comprometer a sobrevivência da cria (Dwyer *et al*., 2016a).

O comportamento materno é desencadeado por alterações neuroendócrinas que ocorrem no final da gestação e durante o parto, associadas aos estímulos sensoriais provenientes do recém-nascido. Imediatamente após o nascimento, a ovelha direciona sua atenção ao cordeiro e manifesta comportamentos como limpeza corporal, vocalizações de baixa intensidade, permanência próxima à cria e facilitação do acesso ao úbere. Esses comportamentos estimulam a atividade neonatal e favorecem o estabelecimento da comunicação entre mãe e cria (Mora-Medina *et al*., 2016).

Concomitantemente, ocorre a formação de uma memória individual da cria. Nas primeiras horas após o parto, estímulos olfatórios desempenham papel central no reconhecimento do próprio cordeiro e no estabelecimento de um vínculo seletivo. Posteriormente, informações visuais e auditivas também permitem o reconhecimento à distância. Essa seletividade direciona os cuidados maternos e o acesso ao úbere preferencialmente às próprias crias (Mora-Medina *et al*., 2016; Agamy; Abdel-Moneim; Ashmawy, 2022).

O cordeiro, por sua vez, participa ativamente desse processo. Como os ovinos apresentam estratégia neonatal do tipo seguidora, o recém-nascido deve desenvolver rapidamente capacidade locomotora suficiente para levantar-se, aproximar-se da mãe, localizar o úbere e acompanhá-la (Alary, 2024). Estímulos táteis, térmicos e olfatórios auxiliam a busca pelo úbere, enquanto o comportamento da ovelha pode facilitar ou dificultar esse processo. A latência para ficar em pé e realizar a primeira mamada constitui, portanto, importante indicador do vigor neonatal e da eficiência das primeiras interações entre mãe e cria (Mota-Rojas *et al*., 2025).

A ingestão precoce de colostro representa um ponto crítico nessa sequência. Devido ao tipo de placenta dos ovinos, o cordeiro depende do colostro para aquisição de imunidade passiva. Além das imunoglobulinas e de outros componentes bioativos, o colostro fornece nutrientes e energia necessários às primeiras horas de vida, contribuindo para o metabolismo e a termorregulação. A sucção também participa do estabelecimento da preferência do cordeiro por sua própria mãe e da consolidação do vínculo materno-filial (Farooq *et al*., 2024).

Fatores maternos e perinatais que modulam a relação mãe-cria

A expressão do comportamento materno-filial é determinada pela interação entre características da ovelha, do ambiente gestacional, do parto e do neonato. Entre os principais fatores envolvidos destacam-se experiência materna, estado nutricional, genótipo, tamanho da prole, peso ao nascimento e ocorrência de distocia. Esses fatores podem exercer efeitos simultâneos sobre o comportamento da matriz, o vigor neonatal e, consequentemente, a sobrevivência dos cordeiros (Rocha *et al*., 2018).

A experiência materna influencia a expressão dos cuidados após o parto. Ovelhas primíparas podem apresentar maior variabilidade e atraso na manifestação de comportamentos maternos, incluindo menor intensidade de limpeza da cria, dificuldades durante as tentativas de mamada e maior ocorrência de rejeição ou agressividade. Em comparação, multíparas geralmente apresentam respostas maternas mais consistentes, embora os efeitos da paridade possam interagir com raça, características da cria e condições de criação (Wang *et al*., 2021).

A nutrição durante a gestação também exerce papel importante, tanto pela manutenção da matriz quanto por seus efeitos sobre o desenvolvimento fetal. A restrição nutricional pode alterar a expressão dos cuidados maternos e reduzir o peso e o vigor dos cordeiros ao nascimento. Esses efeitos são particularmente importantes no final da gestação, período de rápido crescimento fetal e elevada demanda nutricional. Uma meta-análise demonstrou que a restrição nutricional nessa fase reduz significativamente o peso dos cordeiros ao nascimento, enquanto restrições ocorridas anteriormente apresentam menor efeito quando a oferta adequada de nutrientes é posteriormente restabelecida (Roca Fraga *et al*., 2018).

O tamanho da prole modifica essas relações. Ovelhas gestando múltiplos fetos apresentam maior demanda nutricional e precisam distribuir os recursos disponíveis entre as crias. Consequentemente, cordeiros provenientes de partos múltiplos apresentam, em média, menor peso ao nascimento e podem demonstrar menor vigor. Após o parto, a matriz também precisa direcionar seus cuidados a mais de uma cria, enquanto os cordeiros competem pelo acesso ao úbere e ao colostro. O efeito do tamanho da prole sobre a sobrevivência resulta, portanto, da interação entre desenvolvimento fetal, peso ao nascimento, vigor neonatal e capacidade materna (Dwyer *et al*., 2016b).

O peso ao nascimento apresenta relação não linear com a sobrevivência. Cordeiros excessivamente leves possuem menores reservas energéticas, maior relação entre superfície corporal e massa e menor capacidade de responder aos desafios ambientais. Em contrapartida, pesos elevados podem aumentar o risco de desproporção feto-pélvica e distocia. Partos prolongados ou difíceis, por sua vez, podem provocar hipóxia e lesões no neonato, comprometendo sua capacidade de levantar, localizar o úbere e mamar, além de dor e exaustão poderem interferir no comportamento materno imediatamente após o nascimento (Jacobson *et al*., 2020).

O genótipo constitui outro componente relevante, uma vez que diferenças entre raças e linhagens podem ocorrer no comportamento materno, temperamento, prolificidade, peso

ao nascimento, facilidade de parto e vigor neonatal (Dwyer *et al*., 2016b). Parte dessas diferenças reflete a história de seleção e as condições ambientais nas quais os animais foram desenvolvidos. Seus efeitos devem, portanto, ser interpretados em interação com o sistema de produção e o ambiente ao qual os animais estão expostos.

Ambiente, manejo e bem-estar no período perinatal

As condições ambientais e as práticas de manejo exercem influência direta sobre a capacidade da ovelha e do cordeiro de estabelecerem uma relação eficiente. Nas primeiras horas após o nascimento, desafios ambientais podem comprometer a termorregulação e o vigor neonatal, enquanto práticas inadequadas de manejo podem interferir no comportamento materno e na ingestão de colostro. Consequentemente, a mortalidade neonatal representa simultaneamente uma fonte de perdas produtivas e um importante problema de bem-estar animal (Dwyer *et al*., 2016a).

Ao nascimento, a exposição da superfície corporal úmida ao ambiente promove rápida perda de calor. Para manter a temperatura corporal, o cordeiro depende do aumento da produção metabólica de calor, incluindo a termogênese associada ao tecido adiposo marrom. A eficiência dessa resposta depende das reservas energéticas, do peso e vigor neonatal e da ingestão de colostro. Baixas temperaturas tornam-se particularmente prejudiciais quando associadas ao vento e à precipitação, podendo aumentar substancialmente a demanda energética e o risco de hipotermia, especialmente em cordeiros leves ou pouco vigorosos (Dwyer et al., 2016a).

Embora grande parte do conhecimento sobre mortalidade neonatal tenha sido produzida em regiões de clima temperado e enfatize a exposição ao frio, temperaturas elevadas e intensa radiação solar também podem representar desafios em sistemas tropicais. Assim, a importância relativa do frio ou do calor depende das condições climáticas, do genótipo, das características individuais e da disponibilidade de recursos ambientais que permitam aos animais responder ao desafio térmico (Santos *et al*., 2023).

A oferta de ambiente apropriado para a parição constitui uma importante estratégia de manejo. Em sistemas ao ar livre, abrigos, quebra-ventos e áreas naturalmente protegidas podem reduzir a exposição às intempéries e favorecer a permanência da ovelha próxima às crias. Da mesma forma, em ambientes quentes, a disponibilidade de sombra permite reduzir a exposição direta à radiação solar. O manejo deve incluir ainda identificação das matrizes próximas ao parto, supervisão das parições, assistência criteriosa em casos de distocia e avaliação do vigor e da ingestão de colostro pelos cordeiros (Masters *et al*., 2023).

A intervenção humana deve, contudo, ser direcionada às situações em que seus benefícios superem o risco de perturbar as primeiras interações entre mãe e cria. Embora indispensável diante de distocia, hipotermia, baixo vigor ou falha na ingestão de colostro, a manipulação desnecessária pode interferir no estabelecimento do vínculo. O manejo perinatal deve, portanto, conciliar a expressão dos comportamentos naturais com a identificação precoce dos animais que necessitam de assistência (Jacobson *et al*., 2024).

Sob uma perspectiva contemporânea, o bem-estar envolve não somente saúde e funcionamento biológico, mas também as experiências dos animais. O Modelo dos Cinco Domínios integra aspectos relacionados à nutrição, ambiente físico, saúde e interações comportamentais e considera suas consequências sobre o estado mental (Mellor *et al*., 2020). No período perinatal, ingestão insuficiente de colostro, desconforto térmico, dor associada à distocia e separação materna exemplificam condições capazes de comprometer simultaneamente a sobrevivência e o bem-estar dos cordeiros.

Particularidades de ovinos Santa Inês em sistemas tropicais

A raça Santa Inês possui particular importância para a produção de ovinos no Brasil e representa um recurso genético adaptado às condições tropicais (Azambuja Ribeiro; González-García, 2016). Diferentemente de grande parte das raças utilizadas nos estudos clássicos sobre comportamento materno e sobrevivência neonatal, desenvolvidos predominantemente em regiões temperadas, a Santa Inês é uma raça deslanada amplamente utilizada em sistemas brasileiros de produção de carne. Dessa forma, estudos com esse genótipo permitem avaliar a relação materno-filial sob condições distintas daquelas em que grande parte do conhecimento sobre o tema foi originalmente produzido.

Em estudo envolvendo 216 ovelhas Santa Inês e 306 cordeiros, as matrizes iniciaram rapidamente o contato com as crias e apresentaram baixa ocorrência de comportamentos antagônicos. Os cordeiros levaram, em média, aproximadamente 21 minutos para ficar em pé e 46 minutos para realizar a primeira mamada. A intensidade dos cuidados maternos esteve associada à agilidade dos cordeiros, enquanto crias provenientes de partos múltiplos ou prolongados apresentaram menor vigor neonatal (Raineri, 2008).

Evidências mais recentes reforçam a influência conjunta do genótipo e das características reprodutivas sobre a interação mãe-cria. Comparações entre Santa Inês e Dorper em ambiente semiárido equatorial demonstraram diferenças em componentes do comportamento materno, incluindo menor duração do parto e maior frequência de vocalizações maternas de baixa intensidade em Santa Inês. O tamanho da prole também modificou diferentes componentes do cuidado materno (Fonsêca *et al*., 2024). Em cruzamentos entre Santa Inês e Dorper, por outro lado, foram observadas respostas maternas semelhantes entre diferentes composições genéticas, indicando que a relação entre genótipo e habilidade materna não deve ser interpretada de maneira isolada (Oliveira *et al*., 2025).

A termorregulação neonatal constitui aspecto particularmente relevante nos sistemas tropicais. Em ambiente semiárido equatorial, cordeiros Santa Inês recém-nascidos mantiveram a temperatura retal relativamente estável durante as primeiras 24 horas de vida diante de ampla variação da temperatura ambiental. Entretanto, durante os períodos de maior carga térmica alguns animais apresentaram hipertermia moderada e aumentaram a utilização de áreas sombreadas (Fonsêca *et al*., 2024). Esses resultados demonstram que adaptação ao ambiente tropical não significa ausência de susceptibilidade aos desafios

térmicos, mas envolve a utilização eficiente de mecanismos fisiológicos e comportamentais para manutenção da homeotermia.

Assim, estudos com Santa Inês ampliam a compreensão do comportamento materno-filial para sistemas tropicais e demonstram que características de adaptação devem ser consideradas em conjunto com tamanho da leitegada, parto, vigor neonatal, cruzamento e ambiente. A eficiência materna deve ser compreendida não apenas pela prolificidade ou desempenho produtivo das crias, mas pela capacidade da matriz de produzir cordeiros viáveis, estabelecer rapidamente o vínculo materno-filial e proporcionar condições adequadas para sua sobrevivência e desenvolvimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sobrevivência neonatal de cordeiros resulta de uma interação complexa entre comportamento materno, vigor da cria, características do parto, ambiente e manejo. O estabelecimento rápido do vínculo materno-filial e a ingestão precoce de colostro constituem eventos centrais desse processo, mas sua eficiência depende das condições fisiológicas e nutricionais da matriz, do desenvolvimento fetal, do tamanho da prole e da capacidade do neonato de responder aos desafios encontrados após o nascimento.

Nesse contexto, estratégias destinadas a reduzir a mortalidade não devem concentrar-se em um único fator, mas na identificação dos conjuntos mãe-cria de maior risco e na adequação das condições de parição às necessidades dos animais. Em sistemas tropicais, os resultados obtidos com ovinos Santa Inês reforçam a importância de considerar a interação entre adaptação genética e ambiente, uma vez que mesmo animais adaptados permanecem susceptíveis a desafios perinatais. A integração entre seleção, nutrição, manejo da parição e condições ambientais representa, portanto, uma abordagem fundamental para conciliar sobrevivência neonatal, bem-estar e eficiência produtiva.

REFERÊNCIAS

AGAMY, R.; ABDEL-MONEIM, A. Y.; ASHMAWY, G. M. **Visual cue and maternal behavior of sheep: a review**. Egyptian Journal of Animal Production, v. 59, n. 5, p. 11-17, 2022. DOI: https://doi.org/10.21608/EJAP.2022.245050

ALARY, J. **The olfactory communication between the ewe and the lamb through inguinal wax and its application in optimizing neonatal adaptation in farming**. 2024. Tese de Doutorado. Université Bourgogne Franche-Comté.

AZAMBUJA RIBEIRO, E. L.; GONZÁLEZ-GARCÍA, E. **Indigenous sheep breeds in Brazil: potential role for contributing to the sustainability of production systems**. Tropical animal health and production, v. 48, n. 7, p. 1305-1313, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-016-1109-3

BRUCE, M.; YOUNG, J. M.; MASTERS, D. G.; REFSHAUGE, G.; THOMPSON, A. N.; KENYON, P. R.; BEHRENDT, R.; LOCKWOOD, A.; MILLER, D. W.; JACOBSON, C. **The impact of lamb and ewe mortality associated with dystocia on Australian and New**

Zealand sheep farms: a systematic review, meta-analysis and bio-economic model. Preventive Veterinary Medicine, v. 196, p. 105478, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105478

DWYER, C. M.; CONINGTON, J.; CORBIERE, F.; HOLMØY, I. H.; MURI, K.; NOWAK, R.; ROOKE, J.; VIPOND, J.; GAUTIER, J.-M. **Invited review: Improving neonatal survival in small ruminants: science into practice**. Animal, v. 10, n. 3, p. 449–459, 2016. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731115001974

DWYER, C. M.; CONINGTON, J.; CORBIERE, F.; HOLMØY, I. H.; MURI, K.; NOWAK, R.; ROOKE, J.; GAUTIER, J. M. **Invited review: Improving neonatal survival in small ruminants: Science into practice**. animal, v. 10, n. 3, p. 449-459, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1017/S1751731115001974

FAROOQ, U.; AHMED, S.; LIU, G.; JIANG, X.; YANG, H.; DING, J.; ALI, M. **Biochemical properties of sheep colostrum and its potential benefits for lamb survival: a review**. Animal Biotechnology, v. 35, n. 1, p. 2320726, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/10495398.2024.2320726

FONSÊCA, V. F. C.; MORAIS, L. K. C.; SARAIVA, E. P.; SOUSA, W. H.; PIMENTA FILHO, E. C.; SANTOS, J. D. C.; XAVIER NETA, G. C.; UNGERFELD, R.; FREITAS-DE-MELO, A. **Ewe-lamb bond at birth and during lactation in an equatorial semi-arid environment is better in a native than in an introduced breed**. Applied Animal Behaviour Science, v. 278, 106362, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106362

JACOBSON, C.; CLUNE, T.; BESIER, S.; BARBER, S.; ABBOTT, K. A. **Disorders of ewes in pregnancy and lactation, abortion, prenatal and perinatal diseases of lambs**. Sheep veterinary practice. CRC Press, Boca Raton, p. 157-185, 2024.

JACOBSON, C.; BRUCE, M.; KENYON, P. R.; LOCKWOOD, A.; MILLER, D.; REFSHAUGE, G.; MASTERS, D. G. **A review of dystocia in sheep**. Small Ruminant Research, v. 192, 106209, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106209

MASTERS, D. G.; BLACHE, D.; LOCKWOOD, A. L.; MALONEY, S. K.; NORMAN, H. C.; REFSHAUGE, G.; HANCOCK, S. N. **Shelter and shade for grazing sheep: implications for animal welfare and production and for landscape health**. Animal Production Science, v. 63, n. 7, p. 623-644, 2023. DOI: https://doi.org/10.1071/AN22225

MELLOR, D. J.; BEAUSOLEIL, N. J.; LITTLEWOOD, K. E.; McLEAN, A. N.; McGREEVY, P. D.; JONES, B.; WILKINS, C. **The 2020 Five Domains Model: Including Human–Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare**. Animals, v. 10, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/ani10101870

MORA-MEDINA, P.; ORIHUELA-TRUJILLO, A.; ARCH-TIRADO, E.; ROLDAN-SANTIAGO, P.; TERRAZAS, A.; MOTA-ROJAS, D. **Sensory factors involved in mother-young bonding in sheep: a review**. Veterinární medicína, v. 61, n. 11, p. 595, 2016. DOI: https://doi.org/ 10.17221/255/2014-VETMED

MOTA-ROJAS, D.; BIENBOIRE-FROSINI, C.; BETTENCOURT, A. F.; VILLANUEVA-GARCÍA, D.; DOMÍNGUEZ-OLIVA, A.; ÁLVAREZ-MACÍAS, A.; FISCHER, V.; MORA-MEDINA, P.;

OLMOS-HERNÁNDEZ, A.; HERNÁNDEZ-AVALOS, I.; MARTINEZ-BURNES, J.; ABD EL-AZIZ, A.; ORIHUELA, A.; GRANDIN, T. **Failure in the mother-young communication in domestic mammals: endocrine and behavioral aspects**. Frontiers in Veterinary Science, v. 12, p. 1589916, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1589916

OLIVEIRA, F. M. M.; FURTADO, D. A.; SOUSA, W. H.; LOPES NETO, J. P.; OLIVEIRA, A. G.; ARRUDA, T. R.; SILVA, R. S.; LEITE, L. L.; BARBARI, M.; RIBEIRO, N. L. **Characterization of maternal-filial behavior in the postpartum period of Santa Inês sheep**. Semina: Ciências Agrárias, v. 46, n. 4, p. 1277–1288, 2025. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n4p1277

PLUSH, K. J.; BRIEN, F. D.; HEBART, M. L.; HYND, P. I. **Thermogenesis and physiological maturity in neonatal lambs: a unifying concept in lamb survival**. Animal Production Science, v. 56, n. 4, p. 736-745, 2016. DOI: https://doi.org/10.1071/AN15099

RAINERI, C. **Perfil do comportamento materno-filial de ovinos da raça Santa Inês e sua influência no desempenho dos cordeiros ao desmame**. 2008. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008. DOI: https://doi.org/10.11606/D.74.2008.tde-17022009-091055

ROCA FRAGA, F. J.; LAGISZ, M.; NAKAGAWA, S.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; BLAIR, H. T.; KENYON, P. R. **Meta-analysis of lamb birth weight as influenced by pregnancy nutrition of multiparous ewes**. Journal of Animal Science, v. 96, n. 5, p. 1962–1977, 2018. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/sky072

ROCHA, A. M.; SILVA, T. P. D.; SEJIAN, V.; COSTA TORREÃO, J. N.; MARQUES, C. A. T.; BEZERRA, L. R.; ARAÚJO, M. J.; SARAIVA, L. A.; GOTTARDI, F. P. **Maternal and neonatal behavior as affected by maternal nutrition during prepartum and postpartum period in indigenous sheep**. Journal of Veterinary Behavior, v. 23, p. 40-46, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.10.007

SANTOS, J. D. C.; Saraiva, E. P.; Pimenta Filho, E. C.; Neta, G. C. X.; Morais, L. K. C.; Teti, H. S.; Fidelis, S. S. **Neonatal mortality of lambs in production systems in a semi-arid environment: main risk factors**. The Journal of Agricultural Science, v. 161, n. 3, p. 438-449, 2023. DOI: https://doi.org/10.1017/S0021859623000291

WANG, H.; HAN, C.; LI, M.; LI, F.; YANG, Y.; WANG, Z.; LV, S. **Effects of parity, litter size and lamb sex on maternal behavior of Small Tail Han sheep and their neuroendocrine mechanisms**. Small Ruminant Research, v. 202, 106451, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106451

CAPÍTULO 33

CAPRINOCULTURA EXTENSIVA NO SEMIÁRIDO ANGOLANO: CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO, PRÁTICAS DE MANEJO E LIMITAÇÕES PRODUTIVAS

Suca Francisco Pedro[1];
[1]Departamento de Engenharia de Biossistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2121160040732937
Kamila de Lima Santos[2];

[2]Laboratório Multidisciplinar de Práticas Sustentáveis, Instituto de Nutrição, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (LAMPS/INU/UERJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
http://lattes.cnpq.br/3584329512664042

Ronilson Martins Silva[3];
[3]Departamento de Zootecnia (ZAZ), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.
http://lattes.cnpq.br/2905929579262261
Fernanda de Fátima da Silva Devechio[4];
[4]Departamento de Zootecnia (ZAZ), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.
http://lattes.cnpq.br/2167811056562057
Marcelo Machado De Luca de Oliveira Ribeiro[5].

[5]Departamento de Engenharia de Biossistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8936602531876332

RESUMO: A caprinocultura contribui para o sustento de comunidades agropastoris do sul de Angola. Este estudo caracterizou sistemas extensivos de produção caprina em Omulova, município de Namacunde, província do Cunene. Entre agosto e setembro de 2024, foram avaliados 265 caprinos pertencentes a cinco produtores, mediante observação direta e entrevistas semiestruturadas. Os rebanhos apresentaram caprinos locais e animais com características fenotípicas associadas às raças Saanen e Boer. O manejo baseava-se no pastoreio diário em vegetação natural, com suplementação de feno adquirido na Namíbia durante a seca, enquanto o abastecimento hídrico dependia de chimpacas alimentadas pelas chuvas. Foram relatados vacinação anual, controle seletivo de verminoses e ocorrências sanitárias de natureza infecciosa e parasitária. Secas prolongadas, limitações na assistência veterinária, custos de insumos, furtos e dificuldades de comercialização constituíram os principais entraves. Os resultados destacam a importância da segurança hídrica, produção local de forragem, assistência veterinária e organização dos produtores.

PALAVRAS-CHAVE: Sanidade animal. Segurança hídrica. Pequenos ruminantes.

EXTENSIVE GOAT FARMING IN THE ANGOLAN SEMI-ARID REGION: CHARACTERIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS, MANAGEMENT PRACTICES, AND PRODUCTION CONSTRAINTS

ABSTRACT: Goat farming contributes to the livelihoods of agropastoral communities in southern Angola. This study characterized extensive goat production systems in Omulova, Namacunde municipality, Cunene Province. Between August and September 2024, 265 goats belonging to five farmers were evaluated through direct observation and semi-structured interviews. The herds comprised local goats and animals showing phenotypic characteristics associated with the Saanen and Boer breeds. Management was based on daily grazing on natural vegetation, supplemented with hay purchased from Namibia during the dry season, while water supply depended on rain-fed chimpacas. Farmers reported annual vaccination, selective control of gastrointestinal parasites, and health problems of infectious and parasitic nature. Prolonged droughts, limited veterinary assistance, input costs, livestock theft, and marketing difficulties were the main constraints. The findings highlight the importance of improving water security, local forage production, veterinary assistance, and farmer organization.
KEYWORDS: Animal health; Water security; Small ruminants.

INTRODUÇÃO

A caprinocultura é relevante nos sistemas pecuários de regiões áridas e semiáridas pela capacidade dos animais de explorar pastagens naturais e vegetação arbustiva para produção de carne, leite e outros produtos (Lebbie, 2004; Morand-Fehr *et al.*, 2004; Moradi *et al.,* 2026). A rusticidade, a seletividade alimentar e a tolerância ao calor e à restrição hídrica favorecem sua adaptação a esses ambientes (Alexandre; Mandonnet, 2005). Entretanto, secas, baixa qualidade da dieta, enfermidades e limitações de manejo podem comprometer o desempenho e a sobrevivência dos rebanhos (Nair *et al.*, 2021; Mugoti *et al.*, 2025). Em pequenas unidades rurais, os caprinos contribuem para a segurança alimentar, geração de renda e disponibilidade de ativos comercializáveis, especialmente em comunidades agropastoris (Lebbie, 2004; Peacock, 2005; Athumani *et al.,* 2026). Essa contribuição está diretamente relacionada às condições de alimentação, sanidade, reprodução e comercialização (Airs *et al.*, 2023; Peacock; Sherman, 2010).

No sul de Angola, a pecuária ocorre sob elevada variabilidade das chuvas e secas recorrentes, com impactos particularmente importantes nas regiões mais áridas (Mateus *et al.*, 2024). No Cunene, a escassez de água e pastagem afeta diretamente os sistemas agropastoris, situação agravada pelo evento El Niño de 2023–2024 (FAO, 2024). Embora os caprinos apresentem características favoráveis à exploração de ambientes semiáridos, a dependência de pastagens naturais e fontes hídricas sazonais aumenta a vulnerabilidade

durante estiagens prolongadas (Alexandre; Mandonnet, 2005; Kawas; Andrade-Montemayor; Lu, 2010). A redução da disponibilidade de forragem também pode comprometer a condição corporal, a reprodução e a sanidade dos animais (Inman; Hobbs; Tsvuura, 2020; Mugoti *et al.*, 2025). Além das limitações ambientais, aspectos relacionados ao manejo reprodutivo, sanidade, instalações, registros zootécnicos, assistência veterinária e comercialização influenciam a eficiência dos sistemas extensivos (Morand-Fehr *et al.*, 2004; Alexandre; Mandonnet, 2005). Apesar da relevância socioeconômica da caprinocultura no Cunene, permanecem escassas as informações sistematizadas sobre os sistemas de produção em Omulova, particularmente quanto às práticas de manejo e às principais limitações enfrentadas pelos produtores.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar os sistemas extensivos de produção de caprinos na região de Omulova em Angola, considerando a composição e os grupos raciais dos rebanhos, as instalações, o manejo alimentar, reprodutivo e sanitário, bem como os principais desafios relatados pelos produtores.

METODOLOGIA

Área de estudo e amostragem

O estudo foi realizado em Omulova, município de Namacunde, província do Cunene, Angola, entre 10 de agosto e 14 de setembro de 2024. Foram avaliados cinco sistemas extensivos de produção caprina, totalizando 265 animais. Os produtores foram selecionados por amostragem não probabilística por conveniência, considerando a proximidade das unidades e a disponibilidade para participação.

Coleta de dados

Em cada unidade produtiva, foram realizadas observações diretas dos animais, instalações e práticas de manejo, complementadas por entrevista semiestruturada com 14 perguntas sobre composição e características raciais do rebanho, alimentação, instalações, manejo, reprodução, sanidade, deslocamento para pastagens, dificuldades produtivas e contribuição para o sustento familiar. Foram registrados a composição dos rebanhos por categoria, os grupos raciais informados, o sistema de criação, as fontes de alimento e água, as instalações e as práticas de manejo alimentar, reprodutivo e sanitário. A identificação racial baseou-se nos relatos dos produtores e nas características fenotípicas observadas, sendo considerada presumida na ausência de registros genealógicos ou análises genéticas. As enfermidades mencionadas pelos produtores foram registradas como ocorrências sanitárias relatadas ou suspeitas clínicas, sem atribuição de diagnóstico definitivo.

Análise dos dados

Os dados foram analisados no Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond,

WA, EUA) por estatística descritiva, utilizando frequências absolutas e relativas, média e amplitude. Não foram realizadas análises inferenciais devido ao caráter exploratório e à amostragem por conveniência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição dos rebanhos e grupos raciais

Foram avaliados 265 caprinos em cinco unidades produtivas, com rebanhos de 48 a 61 animais e média de 53 animais por unidade (Tabela 1). Do total, 120 eram machos (45,3%), 80 fêmeas adultas (30,2%) e 65 crias (24,5%). A categoria de machos incluiu reprodutores adultos e animais jovens destinados à venda ou ao abate. Caprinos locais do grupo Crioula estiveram presentes nos cinco rebanhos, enquanto animais com características fenotípicas associadas às raças Saanen e Boer foram observados em três unidades cada.

A coexistência desses grupos caracteriza rebanhos fenotipicamente heterogêneos, compatíveis com sistemas de cruzamento entre caprinos locais e raças especializadas. Embora a introdução de raças especializadas possa favorecer atributos leiteiros ou cárneos, a manutenção de características adaptativas dos genótipos locais é particularmente relevante em ambientes semiáridos (Peacock; Sherman, 2010; Silva *et al.,* 2026). Nesse contexto, os caprinos locais representam um importante componente dos sistemas de produção, sobretudo pela associação entre adaptação ambiental, tolerância ao calor e capacidade de utilização de recursos alimentares variáveis (Morand-Fehr *et al.*, 2004; Moradi *et al.,* 2026).

Tabela 1: Composição dos rebanhos caprinos avaliados em Omulova, Namacunde, Angola.

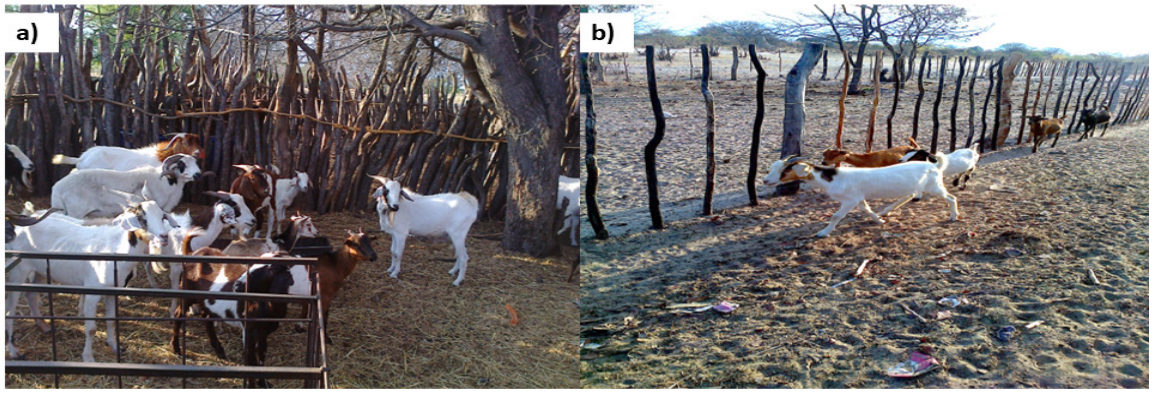
Produtor	Total	Machos[1]	Fêmeas	Crias	Grupos raciais relatados
P1	52	24	16	12	Crioula e Saanen
P2	61	27	18	16	Crioula e Boer
P3	48	22	15	11	Crioula, Saanen e Boer
P4	55	25	17	13	Crioula e Boer
P5	49	22	14	13	Crioula e Saanen
Total	265	120	80	65	Crioula, Saanen e Boer

[1]A categoria inclui reprodutores adultos e machos jovens destinados à venda ou ao abate.

Fonte: dados da pesquisa.

A valorização desses genótipos deve considerar conjuntamente adaptação, fertilidade, sobrevivência, longevidade e desempenho produtivo (Nair *et al.*, 2021; Peacock; Sherman, 2010). A diversidade fenotípica observada nos rebanhos é ilustrada na Figura 1a.

Figura 1: a) Diversidade fenotípica e agrupamento de diferentes categorias de caprinos em curral de uma unidade produtiva avaliada em Omulova; **b)** caprinos em deslocamento diário nas proximidades de um cercado rústico durante o período seco, em Omulova.



Sistema de criação, alimentação e água

Todos os produtores adotavam sistema extensivo, com pastoreio diário em vegetação natural e retorno dos rebanhos a uma base fixa, não caracterizando transumância. Esse manejo favorece o aproveitamento de recursos vegetais distribuídos na paisagem, mas mantém forte dependência da disponibilidade sazonal de forragem e água. A Figura 1b ilustra o deslocamento diário dos caprinos durante o período seco. A alimentação baseava-se predominantemente em pastagens naturais e, durante a seca, todos os produtores forneciam feno adquirido na República da Namíbia, evidenciando a relevância da suplementação diante da escassez sazonal e, simultaneamente, a dependência de insumos externos. Essa condição é particularmente relevante para categorias de maior exigência nutricional, como fêmeas no final da gestação ou em lactação e crias em crescimento (Teixeira *et al.,* 2024). Em savanas semiáridas, a sazonalidade das chuvas e da vegetação influencia diretamente a disponibilidade alimentar e a saúde dos caprinos (Mugoti *et al.*, 2025). Embora a capacidade de ramoneio favoreça o aproveitamento de folhas, brotos, frutos e arbustos, a redução da biomassa e da qualidade da vegetação durante a seca pode limitar a oferta de proteína e energia digestível (Kawas; Andrade-Montemayor; Lu, 2010). Esse efeito assume maior importância em animais com elevada demanda fisiológica, cujas exigências de energia, proteína e minerais são superiores às de adultos em manutenção (Teixeira *et al.*, 2024). Nesse contexto, o fornecimento generalizado de feno observado nas unidades produtivas constitui a principal estratégia alimentar adotada pelos produtores para enfrentar a restrição forrageira sazonal.

O estresse térmico constitui um fator relevante para o desempenho dos caprinos, mesmo em animais adaptados a ambientes semiáridos, podendo reduzir o consumo, alterar o comportamento e aumentar a demanda hídrica, com reflexos produtivos e reprodutivos (Danso *et al.*, 2024; Teixeira *et al.*, 2024). Nas unidades estudadas, o abastecimento de água dependia de chimpacas comunitárias, abastecidas principalmente durante o período chuvoso, padrão compatível com as estruturas hídricas utilizadas no Cunene (Francés *et al.*, 2024). Essa dependência da precipitação evidencia a vulnerabilidade hídrica dos

sistemas durante a estiagem, quando a disponibilidade de água se torna mais limitada. Em ambientes semiáridos, restrições hídricas podem afetar o consumo e as respostas fisiológicas dos caprinos (Alamer, 2006; Mugoti *et al.,* 2025), enquanto a concentração dos animais em pontos de água pode intensificar a degradação do solo e da vegetação adjacente (Piemontese *et al.*, 2024).

Instalações e organização das categorias

Todos os sistemas apresentavam curral ou cercado, abrigo coberto e áreas destinadas ao fornecimento de feno e água, utilizadas para recolhimento e proteção dos caprinos após o pastoreio. Essas estruturas favorecem o manejo e a proteção contra a elevada radiação solar, aspecto relevante em ambientes quentes, nos quais o estresse térmico pode alterar o comportamento, a frequência respiratória, o consumo de alimento e a ingestão de água (Danso *et al.*, 2024). Durante as visitas, machos, fêmeas e crias permaneciam agrupados, sem separação visível por sexo, idade ou finalidade produtiva. Embora essa organização simplifique o manejo diário, pode limitar a alimentação diferenciada, o acompanhamento de categorias vulneráveis e o controle reprodutivo, além de favorecer a competição por feno e água. Assim, a infraestrutura observada assegurava funções básicas de abrigo e contenção, enquanto o agrupamento das categorias constituía uma característica relevante do manejo nas unidades estudadas.

Manejo reprodutivo

Segundo os produtores, os reprodutores eram introduzidos junto às fêmeas em períodos específicos, evidenciando controle temporal dos acasalamentos. Contudo, a ausência de registros sobre o período de monta, composição dos lotes e genealogia limitou a avaliação da concentração de partos, fertilidade e consanguinidade. Em sistemas extensivos, a estação de monta pode favorecer a sincronização dos nascimentos com períodos de maior disponibilidade alimentar, contribuindo para maior eficiência reprodutiva (Fatet; Pellicer-Rubio; Leboeuf, 2011; Mugoti *et al.*, 2025). Nesse contexto, a adequação do manejo reprodutivo depende das condições sazonais e das características do rebanho, enquanto parâmetros como a relação macho:fêmea variam conforme fatores relacionados aos animais e ao sistema de criação.

Manejo sanitário

Os produtores relataram vacinação anual e controle seletivo das verminoses gastrintestinais, além de problemas atribuídos à pleuropneumonia contagiosa caprina (PPCC), peste dos pequenos ruminantes (PPR), verminoses, sarna e outros ectoparasitas, linfadenite caseosa e afecções dos cascos. Entre os sinais clínicos mencionados destacaram-se tosse, dificuldade respiratória, febre, secreção nasal, alterações orais, diarreia, emagrecimento, prurido, lesões cutâneas, abscessos e claudicação. Entretanto, esses sinais apresentam baixa especificidade e podem estar associados a diferentes

enfermidades. Assim, os relatos de PPCC e PPR representam percepções dos produtores, e não diagnósticos confirmados, uma vez que sua confirmação depende de métodos diagnósticos específicos (WOAH, 2024a; WOAH, 2024b). O tratamento seletivo das parasitoses gastrintestinais relatado pelos produtores é consistente com estratégias destinadas a reduzir o uso indiscriminado de anti-helmínticos e a pressão de seleção para resistência. Nesse contexto, critérios como FAMACHA e condição corporal são amplamente empregados na identificação de animais prioritários para tratamento, embora o FAMACHA seja direcionado principalmente à avaliação de anemia associada à hemoncose (Embrapa, 2024). A vigilância clínica também assume relevância nesses sistemas, particularmente diante da diversidade de sinais relatados e das limitações diagnósticas, favorecendo a identificação precoce de alterações sanitárias no rebanho (Alavedra *et al.*, 2025).

Importância socioeconômica, dificuldades e necessidades

Os cinco produtores relataram que a caprinocultura contribuía para o sustento familiar por meio do fornecimento de alimento, geração de renda e reserva patrimonial. Essa multifuncionalidade é consistente com sistemas africanos de pequena escala, nos quais os caprinos contribuem para nutrição, liquidez e resiliência das famílias rurais (Airs *et al.*, 2023). As secas prolongadas foram apontadas como a principal limitação, associadas ao rápido secamento das pastagens naturais e à redução da água armazenada nas chimpacas. Esse resultado é coerente com os impactos da seca de 2023–2024 no sul de Angola, marcada por escassez de água e pastagem e perdas pecuárias (FAO, 2024). Também foram relatados acesso limitado à assistência veterinária, ausência de laboratórios próximos e elevado custo de medicamentos adquiridos na Namíbia, em consonância com limitações dos serviços de saúde animal reconhecidas no sul de Angola (FAO, 2025). Furtos de animais, dificuldades de transporte e limitações na comercialização formal também foram mencionados. Entre as principais necessidades, os produtores destacaram furos profundos com bombagem mecânica ou solar, ampliação das campanhas de vacinação, estabelecimento de campos locais de forragem, maior acesso a medicamentos e fortalecimento de cooperativas. Esses resultados representam as percepções dos cinco produtores avaliados e evidenciam a centralidade da disponibilidade hídrica, alimentação, sanidade e acesso ao mercado para a sustentabilidade desses sistemas.

Implicações para o desenvolvimento da caprinocultura local

Segurança hídrica e reservas forrageiras

A principal prioridade é reduzir a vulnerabilidade conjunta de água e alimento. Furos associados à bombagem solar e a bebedouros adequados podem ampliar a segurança hídrica, embora a concentração dos animais junto aos pontos de água possa aumentar a pressão sobre os recursos locais (Piemontese *et al.*, 2024). A manutenção das chimpacas e a proteção contra contaminação complementam essa estratégia. A produção e conservação local de forragens no período chuvoso podem reduzir a dependência de feno externo e

fortalecer a disponibilidade alimentar na seca. Reservas estratégicas destinadas às categorias de maior exigência nutricional, especialmente fêmeas gestantes e lactantes, crias e animais debilitados, podem reduzir a vulnerabilidade nos períodos críticos.

Organização zootécnica, reprodução e sanidade

A divisão dos currais por categoria animal, associada a registros individuais ou por grupos, favorece o manejo alimentar e sanitário, o controle reprodutivo e a comercialização. A introdução e a substituição planejadas de reprodutores de origem conhecida também podem limitar acasalamentos entre aparentados. O manejo sanitário integra vacinação, vigilância clínica, isolamento de animais doentes, higiene das instalações e controle seletivo de parasitoses (Alavedra *et al.,* 2025). A assistência veterinária, o diagnóstico e a atuação de agentes comunitários fortalecem a detecção precoce, o tratamento e o monitoramento sanitário, mantendo os Serviços Veterinários como referência para doenças de notificação.

Organização coletiva e comercialização

A organização em cooperativas ou associações pode fortalecer a produção por meio de compras coletivas de insumos, assistência técnica compartilhada e comercialização coordenada, além de favorecer o transporte, a negociação de preços, a comunicação sobre furtos e a coordenação sanitária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de produção caprina avaliados em Omulova, Angola, caracterizaram-se pelo manejo extensivo, dependente de pastagens naturais, fontes hídricas sazonais e suplementação com feno no período seco. A seca, a escassez de água e pastagem, a dependência externa de insumos, os furtos e as dificuldades de comercialização foram os principais desafios relatados. Os resultados evidenciam sistemas adaptados às condições locais, porém vulneráveis à sazonalidade climática e às limitações de gestão produtiva, sanitária e reprodutiva. A organização do rebanho, a conservação de forragem, a segurança hídrica e os registros zootécnicos destacam-se como componentes relevantes para maior estabilidade produtiva. Embora restritos aos cinco sistemas avaliados, os achados caracterizam a produção caprina em Omulova e fornecem uma base técnica para o fortalecimento sustentável da atividade.

REFERÊNCIAS

AIRS, P. M.; VENTURA-CORDERO, J.; GWIRIRI, L. C.; TINSLEY, J. H. I.; MVULA, W.; LEE, M. R. F.; VAN WYK, J. A.; NALIVATA, P. C.; TAKAHASHI, T.; MORGAN, E. R.; SAFALAOH, A. C. L. Goat health and management for improved smallholders' livelihoods in central Malawi: a socioeconomic analysis of rural households. **Small Ruminant Research**, v. 229, 107114, 2023. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2023.107114.

ALAMER, M. Physiological responses of Saudi Arabia indigenous goats to water

deprivation. **Small Ruminant Research**, v. 63, n. 1–2, p. 100–109, 2006. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.02.004.

ALAVEDRA, M.; MOURA, D.; CENCI-GOGA, B.; SARAIVA, S.; SILVA, F.; PIRES, I.; SARAIVA, C.; COELHO, A. C.; GARCÍA-DÍEZ, J. Biosecurity practices in Portuguese small ruminant farms: current status and future directions. **Veterinary Sciences,** v. 12, n. 4, 334, 2025. DOI: 10.3390/vetsci12040334.

ALEXANDRE, G.; MANDONNET, N. Goat meat production in harsh environments. **Small Ruminant Research**, v. 60, n. 1–2, p. 53–66, 2005. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.06.005.

ATHUMANI, P. C.; MRAMBA, R. P.; NGUMBA, J. A.; NGONGOLO, K.; MMBAGA, N. E.; NCHIMBI, H. Y. Smallholder goat production and management practices in Dodoma, a semi-arid region of Tanzania. **BMC Agriculture**, v. 2, art. 22, 2026. DOI: 10.1186/s44399-026-00046-w.

DANSO, F.; IDDRISU, L.; LUNGU, S. E.; ZHOU, G.; JU, X. Effects of heat stress on goat production and mitigating strategies: a review. **Animals**, v. 14, n. 12, 1793, 2024. DOI: 10.3390/ani14121793.

EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS. Controle parasitário seletivo e manejo da resistência anti-helmíntica em pequenos ruminantes. Sobral: **Embrapa Caprinos e Ovinos**, 2024. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1165738/1/CNPC-2024-Controle-parasitario-seletivo-e-manejo-da.pdf. Acesso em: 12 abr. 2026.

FAO–FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Angola: El Niño impact assessment highlights, May 2024. **Rome**: FAO, 2024. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/bitstreams/1d9273d9-4c3a-4627-9b87-b12400511461/download. Acesso em: 08 dez. 2025.

FAO–FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO, in collaboration with the Institute of Veterinary Services (ISV), strengthens the capacity of 112 livestock handlers and community facilitators in southern Angola to boost resilience and improve community animal health services. Luanda: **FAO Angola**, 5 ago. 2025. Disponível em: https://www.fao.org/angola/news/detail/fao--in-collaboration-with-the-institute-of-veterinary-services-%28isv%29--strengthens-the-capacity-of-112-livestock-handlers-and-community-facilitators-in-southern-angola-to-boost-resilience-and-improve-community-animal-health-services/en. Acesso em: 18 nov. 2025.

FATET, A.; PELLICER-RUBIO, M.-T.; LEBOEUF, B. Reproductive cycle of goats. **Animal Reproduction Science**, v. 124, n. 3–4, p. 211–219, 2011. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2010.08.029.

FRANCÉS, A. P.; RAMALHO, E. C.; MONTEIRO SANTOS, F.; LLORENTE, J. M.; MATEUS, T.; MARTÍN-BANDA, R.; CUERVO, I.; GARCÍA LOBÓN, J. L.; DALA, V.; DITUTALA, M.; FAMOROSA, A.; VICTORINO, A. M. Contribution of the time domain electromagnetic method to the study of the Kalahari transboundary multilayered aquifer systems in Southern Angola. **Hydrogeology Journal**, v. 32, p. 1709–1727, 2024. DOI: 10.1007/s10040-024-02822-x.

INMAN, E. N.; HOBBS, R. J.; TSVUURA, Z. No safety net in the face of climate change:

the case of pastoralists in Kunene Region, Namibia. **Plos One**, v. 15, n. 9, e0238982, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0238982.

KAWAS, J. R.; ANDRADE-MONTEMAYOR, H.; LU, C. D. Strategic nutrient supplementation of free-ranging goats. **Small Ruminant Research**, v. 89, n. 2–3, p. 234–243, 2010. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2009.12.050.

LEBBIE, S. H. B. Goats under household conditions. **Small Ruminant Research,** v. 51, n. 2, p. 131–136, 2004. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2003.08.015.

MATEUS, N. P. A.; MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; DIOGO, A. M.; ANTÓNIO, J. F. Spatial–temporal characterization of droughts in Angola. **International Journal of Climatology**, v. 44, n. 2, p. 370–392, 2024. DOI: 10.1002/joc.8329.

MORADI, M.; NI, M.; BEASLEY, A. M.; HOFFMAN, L. C.; CHAVES, A. V.; MEALE, S. J. In vitro dietary analysis of tropical browses and pasture consumed by goats. **Scientific Reports**, v. 16, 11079, 2026. DOI: 10.1038/s41598-026-41322-8.

MORAND-FEHR, P.; BOUTONNET, J. P.; DEVENDRA, C.; DUBEUF, J. P.; HAENLEIN, G. F. W.; HOLST, P.; MOWLEM, L.; CAPOTE, J. Strategy for goat farming in the 21st century. **Small Ruminant Research,** v. 51, n. 2, p. 175–183, 2004. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2003.08.013.

MUGOTI, A.; NYAMUKANZA, C.; MUNENGWA, A.; MOYO, S.; CHIKUMBA, N. Effects of climate change on goat production and mitigatory measures in semiarid savanna ecosystems. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v. 22, n. 1, 2513899, 2025. DOI: 10.1080/1943815X.2025.2513899.

NAIR, M. R. R.; SEJIAN, V.; SILPA, M. V.; FONSÊCA, V. F. C.; COSTA, C. C. M.; DEVARAJ, C.; KRISHNAN, G.; BAGATH, M.; NAMEER, P. O.; BHATTA, R. Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock species. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, n. 12, p. 2229–2240, 2021. DOI: 10.1007/s00484-021-02179-w.

PEACOCK, C. Goats—A pathway out of poverty. **Small Ruminant Research**, v. 60, n. 1–2, p. 179–186, 2005. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.06.011.

PEACOCK, C.; SHERMAN, D. M. Sustainable goat production: some global perspectives. **Small Ruminant Research**, v. 89, n. 2–3, p. 70–80, 2010. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2009.12.029.

SILVA, W. S. T.; SILVEIRA, R. M. F.; LEITE, J. H. G. M.; BERMEJO, L. A.; KRUPIJ, A. T.; FAÇANHA, D. A. E. Morphological and physiological adaptive profiles of Spanish and Brazilian goat breeds in arid environments. **Tropical Animal Health and Production**, v. 58, 213, 2026. DOI: 10.1007/s11250-026-05007-8.

TEIXEIRA, I. A. M. A.; HÄRTER, C. J.; VARGAS, J. A. C.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, M. H. M. R. Review: update of nutritional requirements of goats for growth and pregnancy in hot environments. **Animal**, v. 18, n. 2, 101219, 2024. DOI: 10.1016/j.animal.2024.101219.

WOAH–WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. Contagious caprine pleuropneumonia. **Paris**: WOAH, 2024a. Disponível em: https://www.woah.org/en/disease/

contagious-caprine-pleuropneumonia/. Acesso em: 12 ago. 2026.
WOAH–WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. Peste des petits ruminants. **Paris**: WOAH, 2024b. Disponível em: https://www.woah.org/en/disease/peste-des-petits-ruminants/. Acesso em: 28 jun. 2026.

ÁREA TEMÁTICA: SEGURANÇA ALIMENTAR

CAPÍTULO 34

FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS E O CONCEITO DE SAÚDE ÚNICA

Lucia Alves Pereira[1];
[1]Centro Universitário Internacional (Uninter), Curitiba, PR.
http://lattes.cnpq.br/0026821140702399
Lais Leal da Cunha[2].
[2]Centro Universitário Internacional (Uninter), Curitiba, PR.
http://lattes.cnpq.br/7481596458907843

RESUMO: Este trabalho mostra como a atuação do médico veterinário é essencial para interligar a produção animal, a segurança alimentar e a saúde pública, nos moldes da Saúde Única (*One Health*). Com a necessidade de aumentar o processo de criação animal para alimentar o mundo, a intensificação das fazendas e granjas gerou desafios sanitários bem complexos. É por isso que o texto analisa a implementação e uso da zootecnia de precisão e promoção do bem-estar animal como pilares da segurança alimentar. Essas ferramentas tecnológicas mitigam o estresse do lote, auxiliam na detecção precoce de enfermidades e são um guia e apoio ao veterinário na tomada de decisão rápida e eficiente. A pesquisa demonstra o perigo de uso indiscriminado de antibióticos nesses sistemas, ocasionando e facilitando o surgimento de resistência antimicrobiana (RAM) e produzindo resíduos nos produtos de origem animal, como a carne e no leite. A revisão da literatura mostra de forma clara e concisa, o papel primordial do veterinário na biosseguridade nas criações nas fazendas até a fiscalização nos abatedouros no serviço de inspeção, sendo determinante para evitar e controlar a disseminação de zoonoses e Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs).
PALAVRAS-CHAVE: Zootecnia de precisão. Saúde Única. Bem-Estar Animal.

TECHNOLOGICAL TOOLS AND THE ONE HEALTH CONCEPT

ABSTRACT: This study demonstrates how the veterinarian's role is essential to interconnect animal production, food safety, and public health, aligned with the One Health concept. As the global demand for food continues to increase, the intensification of animal production systems has created increasingly complex sanitary challenges. In this context, this review examines the implementation of Precision Livestock Farming (PLF) technologies and the promotion of animal welfare as key pillars of food safety. These technological tools help reduce stress in animal herds, enable the early detection of diseases, and support veterinarians in making rapid and effective decisions. The review also highlights the risks associated with the indiscriminate use of antibiotics in intensive production systems, which contributes to the emergence and spread of antimicrobial resistance (AMR) and may result in drug residues in animal-derived products such as meat and milk. Furthermore, the

literature emphasizes the central role of veterinarians throughout the production chain, from implementing on-farm biosecurity measures to overseeing slaughterhouse operations and inspection services. Their involvement is essential for preventing and controlling zoonotic diseases and Foodborne Diseases (FBDs), thereby safeguarding animal health, public health, and food safety.
KEYWORDS: Animal Welfare. Precision livestock farming. One Health.

INTRODUÇÃO

O setor produtivo vem enfrentando um árduo desafio frente à crescente demanda global por proteína animal. Essa busca incessante e contínua por eficiência nos sistemas de produção animal está intrinsecamente associada ao manejo sanitário de excelência e a promoção do bem-estar animal. A segurança alimentar tem seu início nas etapas primárias da criação animal e passa por vários estágios até alcançar as prateleiras e geladeiras de mercados para o consumo final sendo um longo caminho percorrido.

A zootecnia de precisão é uma ferramenta estratégia de gestão, um método de manejo que utiliza a tecnologia para otimizar a cadeia produtiva, reduzindo os danos ambientais e consequentemente auxiliando na preservação do meio ambiente conforme aponta BERNARDINI et al. (2014), que ainda acrescenta que esse combo de ações tecnológicas vai ao encontro das expectativas e exigências de consumidores que buscam a satisfação pessoal atreladas a sustentabilidade e boas práticas na criação animal e simultaneamente aumenta a lucratividade do produtor rural. Na visão de WATHES et al. (2008), a pecuária de precisão usa a tecnologia da engenharia de processos como recursos de otimização e controle, relacionados a softwares e automação como sensores inteligentes para melhorar o manejo dos lotes na prática do dia a dia.

Ao associar um manejo técnico-científico robusto a uma defesa sanitária perene que começa com a entrada de animais na propriedade, alinhando a tecnologia a rigorosos protocolos de vacinação, dietas bem balanceadas e um manejo humanizado alcançamos uma eficiência biológica que transforma a sanidade animal em um selo de distinção de diferencial competitivo. Esses conjuntos de manejos e práticas são corroborados por DÜPJAN E DAWKINS (2022) ao observarem que animais mantidos em condições que respeitam suas necessidades fisiológicas e a expressão de seu comportamento natural, apresentam respostas imunes muito mais fortes e resilientes. Ao menor sinal de qualquer anomalia precoce no comportamento individual ou do rebanho, a tecnologia torna-se uma parceira de excelência do médico veterinário na consolidação da Saúde Única, viabilizando o tratamento ou isolamento dos animais, reduzindo drasticamente a necessidade do uso de antibióticos no grupo e combatendo de frente a Resistência Antimicrobiana (RAM) no campo e evitando o surgimento de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs) e de zoonoses.

A proposta deste capítulo é demonstrar, que um manejo sanitário de alto nível e dentro dos parâmetros das boas práticas e tecnológico é o ponto principal na transição dos modelos tradicionais, que são reativos e se revelam improdutivos frente às novas e

crescentes demandas por proteína animal e colocam em risco a inocuidade alimentar, para os sistemas tecnificados e automatizados. Nessa corrente de pensamento, SILVA et al. (2007), preconiza a importância da modernização, como uma tendência global, em que as ferramentas de tecnologia organizam de maneira eficiente os sistemas e as operações das criações animais, além de aumentar a produtividade. Mais do que lucro e rentabilidade, a análise de PAIVA et al. (2016) reforça que a vantagem e benefício desse sistema é proteger a saúde coletiva, ao identificar animais doentes antecipadamente e assim a tecnologia e a atuação do médico veterinário em sintonia garantem o monitoramento contínuo e a vigilância do plantel, contribuindo para um bem maior que são o equilíbrio e a sustentabilidade da saúde pública.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é analisar e ressaltar o papel fundamental do médico veterinário na construção da segurança alimentar, desde a criação animal até o produto final que chega à mesa do consumidor. Ao usar as modernas técnicas de automação, manejo sanitário e promoção do bem-estar animal, esse profissional ajuda a prevenir zoonoses, atua nas inspeções sanitárias e controla as Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA), orienta o uso racional de medicamentos e a prevenção da resistência antimicrobiana, consolidando o médico veterinário como um ator essencial e imprescindível na segurança alimentar e no pilar da Saúde Única (*One Health*).

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa de literatura qualitativa focada no papel do médico veterinário na segurança alimentar sob a ótica da Saúde Única. A busca científica foi realizada nas bases PubMed, SciELO e Google Acadêmico, onde foram identificados inicialmente 65 artigos. Após a triagem por títulos e resumos, 30 estudos foram selecionados para leitura completa, resultando em 18 publicações finais que atenderam aos critérios de inclusão. Foram excluídos trabalhos duplicados, fora do tema ou sem correlação direta com a atuação veterinária. Por fim, os dados metodológicos foram extraídos para gerar uma síntese temática sobre zootecnia de precisão, controle de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA) e resistência antimicrobiana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos 18 artigos selecionados mostra que a garantia da segurança alimentar na produção moderna está intimamente ligada à presença do médico veterinário em todas as etapas da cadeia produtiva, usando ferramentas tecnológicas, manejo sanitário e promovendo o bem-estar animal.

A zootecnia de precisão impacta diretamente e positivamente o bem-estar animal, com uso de sensores inteligentes que monitoram o desempenho individual e realizam um controle preditivo. A coleta e o processamento de dados oriundos da automação geram

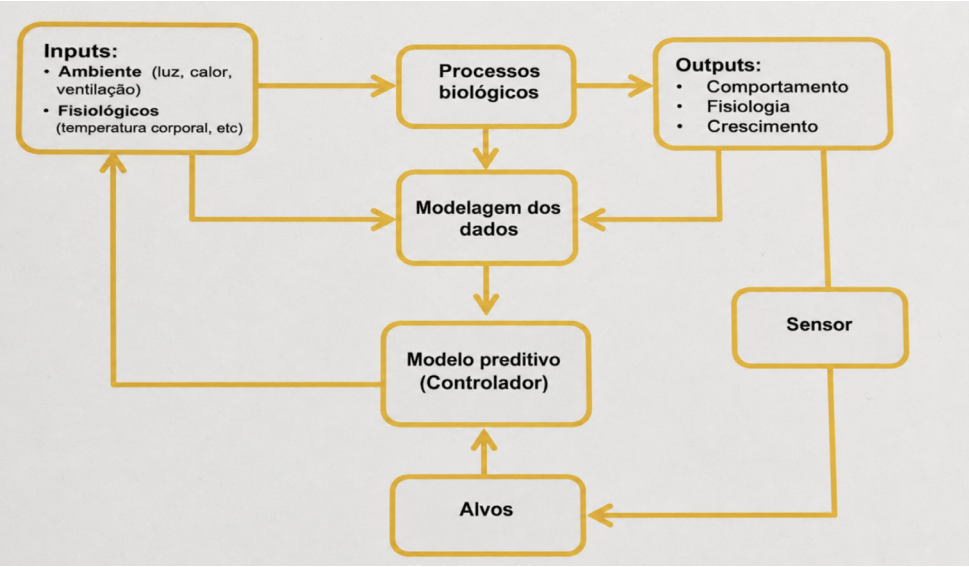
informações confiáveis que auxiliam a uma rotina de manejos mais eficientes, criando um sistema de defesa que associa sanidade e respeito aos animais. Como apontam SORENSEN et al. (2004), SILVA et al. (2007) Paiva et al. (2016), toda essa estrutura propícia ao médico veterinário uma vigilância constante e assertiva sobre os sistemas de produção, baseado em informações advindas de sensores inteligentes que analisam as variáveis ambientais (luz, calor. ruído), fisiológicas (temperatura corporal, frequência cardiaca e respiratoria) e comportamentais dos animais (locomoção e vocalização). EDAN et al. (2009) o que possibilita diagnosticar, tratar ou isolar animais visando evitar disseminação de doenças e zoonoses.

Na bovinocultura de corte a pasto, a principal vantagem da pecuária de precisão é o monitoramento individual e livre em tempo real dos animais, que culmina com a redução do estresse pela comodidade do não uso dos troncos de contenção devido a utilização de transponders em brincos com chips RFID, fornecendo dados como locomoção, peso e temperatura corporal (BORNE JUNIOR, 2015; AMARAL 2016) que são registrados quando os animais passam em pontos específicos com cochos de alimentação e água em que balanças automatizadas estão montadas de forma estratégica para a coleta desses parâmetros e permitem a intervenção do médico veterinário diante de qualquer alteração metabólica que comprometa a homeostase do animal e quando realizado em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite registros da origem dos produtos animais, como a carne, possibilitando a sua rastreabilidade e servindo de base confiável para a sua certificação e garantindo a segurança alimentar.

Na bovinocultura de leite, a tecnologia desempenha uma ação sanitária de relevância ao detectar a mastite subclínica de forma precoce através de câmeras de termografia de infravermelho que avaliam o úbere em busca de variações de calor, antes da manifestação de sintomas, permitindo tratamento adequado e individualizado por parte do médico veterinário garantindo a sanidade dos indivíduos do rebanho e a inocuidade do produto (REDAELLI et al., 2013; MARTELLO et al., 2017). Essa tecnologia permite um acompanhamento dos índices de doença que acometem a atividade leiteira mundial em que a mastite é detectada em 25,7% das vacas nos Estados Unidos em 26,1% no Brasil, desafiando a eficiência econômica e o bem-estar dos animais exigindo a participação ativa do médico veterinário (BORCHERS e BEWLEY, 2015).

O médico veterinário usa as ferramentas tecnológicas como um braço direito, que permite antecipar problemas e assim corrigir falhas na alimentação, alterações no metabolismo, disfunções comportamentais e desconfortos ambientais viabilizando a separação dos animais doentes antes mesmo dos sintomas aparecerem a olho nu. Sendo assim, tratar o animal de forma individual melhora o bem-estar, protege a qualidade da carne e do leite e garante a segurança alimentar como um compromisso ético da profissão, jogando junto com as metas da Saúde Única.

Figura 1 – Esquema dos componentes da Pecuária de Precisão para controle de processos biológicos.



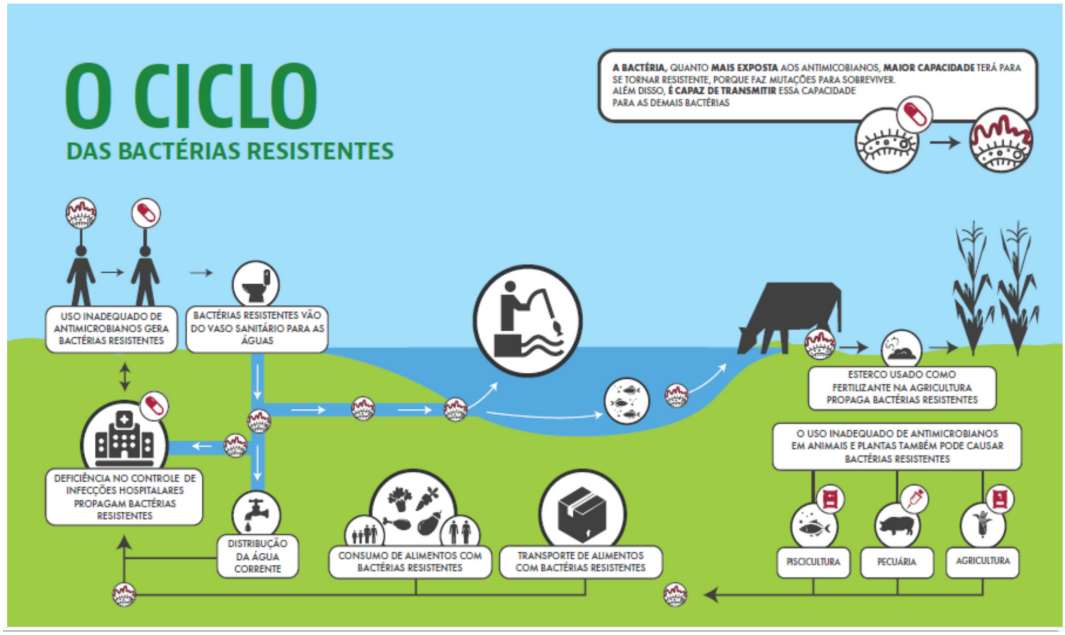
Fonte: BERNARDI et al. (2017), adaptado de WATHES et al. (2008)

A Resistência Antimicrobiana (RAM), uma questão de Saúde Única, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) é a capacidade dos microrganismos de mudarem seus arranjos em contato com antimicrobianos e tornar essas substâncias ineficazes e assim criar resistência (FAO, 2021). Nesse sistema intensificado e interligado da criação animal para atender a demanda por proteína, com alta taxa de lotação, manejos aversivos que comprometem a saúde e induzem ao estresse dos animais, em ambientes com higiene inapropriada, gerando um celeiro de doenças infecciosas e o uso do antimicrobianos se faz presente em uso terapêutico para tratamento de animais ou rebanhos com infecção bacteriana e controlar as doenças existentes, sendo essenciais para preservar o bem-estar animal, garantir a segurança dos alimentos e evitar zoonoses e em uso profilático sendo utilizado na prevenção de infecções em ambientes com alto risco, como por exemplo durante o período de secagem do leite das vacas, quando ocorre elevado nível de infecções intramamárias, ou durante a profilaxia cirúrgica para evitar infecções durante procedimentos invasivos e como antimicrobianos promotores de crescimento (APC), adicionados como suplementos nas rações em doses subterapêuticas para melhorar o desempenho ao alcançar ganho de peso, eficiência alimentar e gerar aumento de lucratividade ao produtor (HOELZER et al., 2018; ABRANTES; NOGUEIRA, 2021; MANKHOMWA et al., 2022).

No Brasil, o Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2020) limitou o uso dessas drogas como APC, como por exemplo: tetraciclina e sulfonamida entre outras, seguindo orientações da OMS. Segundo VAN BOECKEL et al. (2019), pesquisas evidenciam que países com média e baixa renda, como o Brasil, identificam a presença de RAM em animais destinados ao consumo e estão referendadas por pesquisas da USP que mostram que 70% de todos os antibióticos produzidos no mundo são destinados aos animais (SILVA et al., 2023).

A figura abaixo, demonstra a importância do controle da RAM para a segurança alimentar

Figura 2 - O ciclo das bactérias resistentes.



Fonte: Organização Pan-Americana de Saúde, 2020.

No Brasil foi criado o Plano de Ação Nacional de Prevenção e Controle da Resistência aos Antimicrobianos (PAN-BR 2018–2022) e via SIPEAGRO (Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários), uma plataforma digital, registra indústrias, distribuidores e receitas controladas, e dos Painéis de Inteligência de Negócios, que listam os antibióticos autorizados no país, mas o que se vê é uma vigilância falha no consumo de antibióticos nas fazendas e no monitoramento ativo da RAM em animais, e deixa o país sem dados públicos integrados (LOPES et al., 2026).

A RAM insurgente na produção animal é um desafio complexo que exige a intervenção do médico veterinário no uso da responsabilidade técnica e legal da prescrição correta de antimicrobianos (CFMV (2022) / Resolução nº 1461). Isso se dá através de diagnósticos precisos e uso de antibiogramas, combatendo o uso preventivo ou sem critério contribuindo para relatórios de vigilância da resistência bacteriana, intensificando a higiene e otimizando a biossegurança dos rebanhos, orientando produtores e trabalhadores rurais, e prescrevendo prebióticos e aditivos fitogênicos em substituição a antibióticos e consequentemente diminuindo doenças e dependência do uso de antimicrobianos na cadeia de produção, garantindo, a segurança alimentar e a Saúde Única (MENDONÇA et al., 2022; LOPES et al., 2026).

Com o aumento do consumo de alimentos de origem animal, cresce o risco de contaminações microbiológicas, químicas e físicas. Existem em torno de 250 diferentes Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA) identificadas e relacionadas a graves problemas de saúde pública e perdas econômicas (LIMA TAVARES et al., 2022). Segundo Silva (2015), às DTA ocorrem pelo consumo de alimentos contaminados, causadas por patógenos como parasitas, bactérias e vírus, presentes em alimentos e/ou água. Ressalta-se que muitas DTAs são originadas por zoonoses, como a toxoplasmose, brucelose e cisticercose

(BRASIL, 2016).

No intuito de minimizar os riscos e proteger a população, devido ao avanço da industrialização desses alimentos surgiu a necessidade da regulamentação da medicina veterinária no Brasil, consolidada pela Lei nº 5.517/1968 e pelo Decreto nº 64.704/1969. Respaldada pelo Decreto nº 23.133/1933, que define o médico-veterinário como o responsável legal por fiscalizar, inspecionar e certificar a cadeia produtiva, garantindo o bem-estar coletivo (SALES *et al.*, 2021) em conjunto com o MAPA, que monitora os alimentos de procedência animal da produção primária até a indústria, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que fiscaliza pontos de manipulação e comercialização, o Serviço de Inspeção Estadual (SIE) e o Serviço de Inspeção Municipal (SIM) , ambos responsáveis pela qualidade sanitária dos alimentos dentro dos limites dos seus estados e municípios, o que reforça a importância de políticas públicas integradas, voltadas à segurança alimentar (JACOB; AZEVEDO, 2020).

Em locais que processam e comercializam produtos de origem animal, os médicos veterinários atuam como Responsáveis Técnicos (RT), assegurando a qualidade para consumo humano. Ao exercer a inspeção e fiscalização sanitária, os RT garantem as condições higiênico-sanitárias das instalações, equipamentos e utensílios, atestando a segurança em toda a cadeia de manipulação de alimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, fica claro que o trabalho do médico veterinário é indispensável para proteger a Saúde Única, ao garantir a segurança alimentar em todas as etapas do processo, utilizando diversas ferramentas a seu dispor, conciliando produção, bem-estar animal e sustentabilidade. Observa-se que a atuação desse profissional constitui a verdadeira base para garantir que uma comida segura e de qualidade chegue à mesa das famílias, evidenciando que esse é o caminho obrigatório em direção à saúde. Muito além de combater zoonoses ou monitorar as fazendas, o médico veterinário assume a linha de frente na construção de um futuro saudável para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, J. A.; NOGUEIRA, J. M. R. Resistência bacteriana aos antimicrobianos: uma revisão das principais espécies envolvidas em processos infecciosos. *Revista Brasileira de Análises Clínicas*, v. 53, n. 3, p. 219-223, 2021.

AMARAL, J. B. *Uso de tecnologias de precisão e rastreabilidade na bovinocultura de corte a pasto*. 2016. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BERNARD, A. et al. Automated systems and precision livestock farming: tools for animal health and welfare monitoring. *Animal Production Science*, v. 57, n. 6, p. 1102-1115, 2017.

BERNARDI, A. C. de C.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; PEREZ, N. B.; INAMASU, R. Y. *Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação*. São Carlos:

Embrapa Pecuária Sudeste, 2017.
BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, genetic selection, and housing. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n. 10, p. 7383-7398, 2015.
BORNE JUNIOR, J. A. S. *Rastreabilidade bovina utilizando identificação por radiofrequência (RFID) integrada a Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº 1, de 13 de janeiro de 2020*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.
BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de utilização do Agromonitora: serviço para informar dados de venda de antimicrobianos de uso veterinário*. Brasília, DF, 2021.
BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Programa de vigilância e monitoramento da resistência aos antimicrobianos no âmbito da agropecuária*. Brasília, DF, 2021. 18 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-aprova-programa-de-vigilancia-da-resistencia-aos-antimicrobianos. Acesso em: 29 jun. 2026.
BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. *Manual de vigilância, prevenção e controle de zoonoses: normas técnicas e operacionais*. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.
CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA (CFMV). *Guia de orientação para o uso responsável de antimicrobianos na medicina veterinária*. Brasília: CFMV, 2022.
EDAN, Y.; HAN, S.; KONDO, N. Automation in agriculture. In: NOF, S. Y. (ed.). *Springer handbook of automation*. Dordrecht: Springer, 2009. p. 1095-1128.
HOELZER, K. et al. Antimicrobial drug use in food-producing animals and its associated impacts on animal health, welfare, and productivity. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2018.
JACOB, Michelle Cristine Medeiros; AZEVEDO, Elaine. Inspeção sanitária de produtos de origem animal: o debate sobre qualidade de alimentos no Brasil. *Saúde e Sociedade*, v. 29, n. 4, e190687, 2020.
LIMA TAVARES, P. de et al. A importância do médico veterinário na fiscalização higiênico-sanitária. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSULDEMINAS, 16.; SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS, 13., 2022, Pouso Alegre. *Anais [...]*. Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, 2022.
LOPES, J. K. et al. Veterinary antimicrobial monitoring systems in Brazil, the United Kingdom, and the Netherlands: a descriptive comparison to support system development in Brazil. *Science in One Health*, v. 5, art. 100154, p. 1-12, 2026.
MANKHOMWA, J. M. et al. Over-the-counter antimicrobial dispensing practices in veterinary medicine: Perspectives from smallholder livestock farmers. *PLOS ONE*, v. 17, n. 6, e0269376, 2022.

MARTELLO, L. S. et al. Infrared thermography as a tool to evaluate udder health and surface temperature in dairy cows. *International Journal of Biometeorology*, v. 61, n. 5, p. 895-902, 2017.
MENDONÇA, E. de et al. Aditivos fitogênicos e prebióticos como alternativas aos antimicrobianos promotores de crescimento na produção animal. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 45, n. 2, p. 115-128, 2022.
ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). *Plano de ação da FAO sobre a resistência aos antimicrobianos 2021-2025*. Roma: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/antimicrobial-resistance/resources/action-plans/en/\>. Acesso em: 23 jul. 2026
PAIVA, C. A. de et al. Zootecnia de precisão: ferramentas tecnológicas aplicadas ao manejo e à produção animal. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 2, p. 250-261, 2016.
PAIVA, C. A. V. et al. Pecuária leiteira de precisão. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (Ed.). *Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos*. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 307-323.
REDAELLI, V. et al. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal science: A review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, v. 55, n. 1, p. 1-12, 2013.
SALES, Tatiane Santana et al. A atuação do médico veterinário na garantia da qualidade dos produtos de origem animal: resumo expandido. In: *Anais da 21ª Jornada de Medicina Veterinária do Centro*. Editora Científica, 2024. ISBN 978-65-01-21973-8.
SILVA, I. J. O. et al. Aplicação dos conceitos de zootecnia de precisão no monitoramento ambiental da produção animal. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 10-22, 2007.
SILVA, Lvyson da Epifânio da. Diagnóstico de risco relacionado a doenças transmitidas por alimentos no Programa de Saúde da Família (PSF). *Ciência Veterinária nos Trópicos*, v. 18, n. 3, p. 13-17, 2015.
SILVA, R. A. et al. Consumo global de antimicrobianos na agropecuária e impactos na segurança alimentar. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 39, n. 4, 2023.
SORENSEN, J. T.; ROUSING, T.; KLAAS, I. C. Surveillance and management in dairy cattle after implementation of automatic milking: is the HACCP concept useful? In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ANIMAL HYGIENE, 2004, Saint-Malo, France. *Proceedings...* Saint-Malo: International Society for Animal Hygiene, 2004. p. 499-500.
SORENSEN, J. T. et al. Scenarios for the future use of precision livestock farming in animal welfare assessment. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 45, n. 1, p. 123-129, 2004.
VAN BOECKEL, T. P. et al. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. *Science*, v. 365, n. 6459, eaaw1944, 2019.
WATHES, C. M.; KRISTENSEN, H. H.; AERTS, J. M.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 64, n. 1, p. 2-10, nov. 2008.

CAPÍTULO 35

NITRITOS EM PRODUTOS CÁRNEOS ARTESANAIS ELABORADOS EM AÇOUGUES DE UBERLÂNDIA, MG

Iara Herculano de Lima Santos[1];
[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/4431620488745060
Elaine Alves dos Santos[2];
[2]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/7870619050486209
Fernanda Raghiante[3].
[3]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberlândia, MG.
https://lattes.cnpq.br/1258710253836494

RESUMO: O consumo de produtos cárneos artesanais contendo aditivos proibidos representa um grave risco à saúde pública. Este estudo objetivou pesquisar a presença de nitritos em produtos cárneos artesanais comercializados em açougues de Uberlândia, MG, verificando sua conformidade com o Decreto Municipal nº 13.013/2011 e a Resolução SES/MG nº 7.123/2020. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem qualiquantitativa, analisou amostras de linguiça suína, quibe e almôndega de estabelecimentos distribuídos pelas cinco regiões do município. Os testes qualitativos, realizados seguindo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz, revelaram que 70 % das amostras apresentaram positividade para nitritos, com destaque para a linguiça suína, que atingiu 90 % de irregularidade. Quibes e almôndegas apresentaram, cada um, 60 % de positividade. Tais resultados indicam um elevado índice de descumprimento das normas vigentes, que proíbem o uso de sais de cura em transformações artesanais no varejo. A presença desses aditivos sem controle técnico adequado eleva os riscos de intoxicações e patologias crônicas, como o câncer gastrointestinal. Conclui-se que há uma necessidade urgente de intensificar a fiscalização sanitária e promover ações educativas junto aos comerciantes para garantir a segurança alimentar da população.
PALAVRAS-CHAVE: Aditivos. Legislação. Saúde Pública.

NITRITES IN ARTISANAL MEAT PRODUCTS PRODUCED IN BUTCHER SHOPS IN UBERLÂNDIA, MG

ABSTRACT: The consumption of artisanal meat products containing prohibited additives poses a significant risk to public health. This study aimed to investigate the presence of

nitrites in artisanal meat products from butcheries in Uberlândia, MG, verifying compliance with Municipal Decree No. 13,013/2011 and State Resolution SES/MG No. 7,123/2020. The research, applied in nature with a qualiquantitative approach, analyzed samples of pork sausage, kibbeh, and meatballs from establishments across the city's five regions. Qualitative tests, conducted following the Instituto Adolfo Lutz methodology, revealed that 70 % of the samples were positive for nitrites, with pork sausage reaching a 90 % irregularity rate. Kibbeh and meatballs each showed 60 % positivity. These results indicate a high level of non-compliance with current regulations, which prohibit the use of curing salts in artisanal retail transformations. The presence of these additives without proper technical control increases the risks of intoxication and chronic pathologies, such as gastrointestinal cancer. In conclusion, there is an urgent need to intensify sanitary inspection and promote educational actions with local merchants to ensure food safety for the population.
KEYWORDS: Additives. Legislation. Public Health.

INTRODUÇÃO

As carnes são alimentos altamente perecíveis, cuja vida útil varia conforme as condições de armazenamento, como temperatura, umidade e controle microbiológico. Desde a Antiguidade, o ser humano tem buscado métodos para preservar as características sensoriais, nutricionais e sanitárias desses produtos, visando garantir a oferta contínua de alimentos, a segurança alimentar e, consequentemente, a sobrevivência da espécie. Dessa necessidade, surgiram diversas técnicas de conservação e transformação, que inicialmente eram rudimentares, como a salga, a defumação e a secagem ao sol e que, ao longo do tempo, evoluíram para processos tecnologicamente controlados. Atualmente, esses métodos são regulados por padrões técnicos rigorosos, que visam não apenas aumentar a durabilidade dos produtos cárneos, mas também assegurar sua qualidade e inocuidade durante toda a cadeia produtiva (Terra *et al*., 2022).

O uso de nitritos em alimentos está associado a diversos efeitos tóxicos, provenientes tanto do consumo dietético excessivo quanto da formação endógena de compostos nitrogenados reativos, os quais podem manifestar propriedades teratogênicas, carcinogênicas e mutagênicas. Entre os agravos mais relevantes à saúde, destaca-se a indução da metahemoglobinemia, condição clínica na qual o nitrito oxida o ferro da hemoglobina de seu estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}), comprometendo severamente a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. Adicionalmente, os nitritos podem interagir com aminas secundárias e terciárias no trato gastrointestinal para formar N-nitrosaminas, compostos de elevada toxicidade e comprovada ação carcinogênica, sistematicamente associados ao aumento do risco de neoplasias no sistema digestório (Stoś *et al*., 2025).

No município de Uberlândia, MG, o Decreto nº 13.013, de 2011 (Uberlândia, 2011), aprovou o regulamento das ações de Vigilância Sanitária em açougues, casas de carnes e estabelecimentos varejistas que comercializam carnes in natura e/ou transformadas.

De acordo com o artigo 7º dessa legislação, é proibido o uso de sal de cura, composto por nitrito e nitrato, na elaboração de produtos artesanais nesses estabelecimentos. É permitido apenas o uso de sal (cloreto de sódio), açúcar, vinagre, condimentos puros de origem vegetal e corantes naturais. Complementarmente, foi promulgada a Resolução Estadual SES/MG N.º 7123, de 27 de maio de 2020 (Minas Gerais, 2020), que estabelece o Regulamento Técnico de Boas Práticas para estabelecimentos que realizam comércio varejista de carnes, no âmbito do Estado de Minas Gerais, cujo artigo 92 também proíbe a adição de sal de cura aos produtos de transformação artesanal.

A proibição legal do uso de nitritos em produtos cárneos artesanais transformados em açougues, somada aos riscos à saúde pública associados ao uso indiscriminado ou inadequado desses aditivos e à escassez de dados oficiais sobre sua real incidência nesses alimentos, reforça a necessidade de estudos sistemáticos. Investigações que avaliem a presença de nitritos nestes produtos são essenciais para subsidiar ações de vigilância sanitária, promover a segurança dos consumidores e orientar práticas regulatórias e educativas junto aos comerciantes.

OBJETIVO

Pesquisar nitritos em produtos cárneos artesanais produzidos em açougues de Uberlândia, MG e verificar se estão de acordo com as legislações vigentes.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho seguiu uma abordagem qualiquantitativa, caracterizando-se como uma pesquisa de natureza aplicada. Quanto aos objetivos, o estudo apresentou caráter descritivo e exploratório, buscando verificar a conformidade de produtos cárneos artesanais com a legislação vigente. Em relação aos procedimentos, a investigação configurou-se como uma pesquisa experimental integrada a uma pesquisa de campo.

Foram selecionados 10 açougues distintos, distribuídos nas cinco regiões do município de Uberlândia, Minas Gerais (centro, zona oeste, zona leste, zona sul e zona norte), sendo dois estabelecimentos por região. De cada açougue, foram coletadas três unidades amostrais elaboradas de forma artesanal nos açougues, sendo elas: uma de linguiça suína, uma de quibe cru e uma de almôndega, totalizando 30 amostras, sendo 10 de cada produto cárneo. Cada unidade amostral foi de 150g. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos estéreis de polietileno de baixa densidade, armazenadas em caixas isotérmicas com gelo e transportadas ao Laboratório de Pesquisa em Físico-Química de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberlândia, MG, para a realização das análises.

A análise qualitativa da presença de nitrito nas amostras foi realizada conforme os métodos descritos por Lutz (2008), sendo conduzida em triplicata. Inicialmente, as amostras foram trituradas em liquidificador industrial de 2 litros (METVISA TA 2, Brusque–SC, Brasil),

previamente higienizado. Em seguida, alíquotas de 10 g de cada amostra foram pesadas, em triplicata, utilizando balança analítica com calibração automática (Bel Engineering, M214AIH, Monza, Itália), e transferidas para béqueres de vidro de 100 mL contendo 60 mL de água destilada. As misturas foram aquecidas em banho-maria a 65 °C por 60 minutos, com homogeneização ocasional por meio de bastão de vidro. Após esse processo, o material foi filtrado utilizando papel de filtro qualitativo. Do filtrado obtido, transferiram-se 10 mL para tubos de ensaio limpos e secos, aos quais foram adicionados 1 mL de solução de ácido sulfanílico a 0,5% e 1 mL de solução de cloreto de alfa-naftiletilenodiamina a 0,5 %. A formação de coloração rósea, de intensidade leve ou acentuada, indicou a presença de nitrito. Para o controle da reação, foram utilizados um controle negativo (10 mL de água destilada) e um controle positivo (10 mL de solução de nitrito de sódio a 1 %).

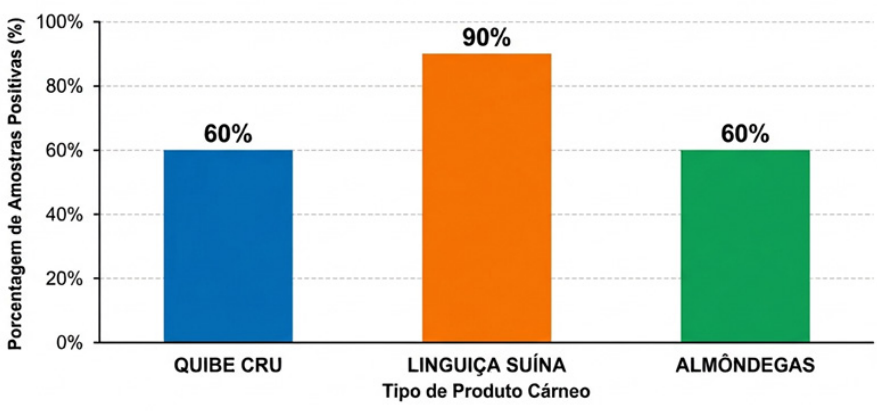
Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva para determinar a frequência de positividade do nitrito. A prevalência do analito foi calculada por meio da taxa percentual, estabelecendo a razão entre o número de amostras positivas e o total de amostras analisadas em cada categoria, com os resultados expressos em porcentagem (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos revelam um cenário preocupante de descumprimento das normas sanitárias vigentes em Uberlândia. A detecção de nitritos em produtos de fabricação artesanal indica que a maioria das amostras analisadas está em desacordo com o Decreto Municipal nº 13.013/2011(Uberlândia, 2011) e com a Resolução Estadual SES/MG nº 7.123/2020 (Minas Gerais, 2020), que proíbem expressamente o uso de sais de cura (nitritos e nitratos) em produtos elaborados nesses estabelecimentos.

As porcentagens de positividade para nitritos nos 3 tipos de amostras analisados, estão descritas no gráfico 1.

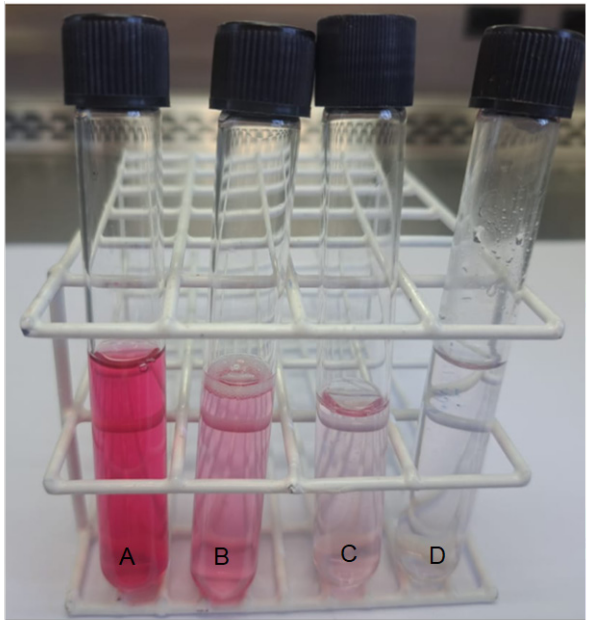
Gráfico 1. Porcentagem de amostras positivas para nitritos por tipo de produto cárneo.



Fonte: os autores (2026).

Os resultados obtidos neste estudo revelam um cenário de alta desconformidade sanitária em Uberlândia, com 70 % das amostras de produtos cárneos artesanais apresentando positividade para nitritos, o que viola diretamente as legislações vigentes, municipal e estadual. Essa proibição legal em estabelecimentos varejistas visa evitar o uso indiscriminado desses aditivos sem o controle tecnológico rigoroso presente na indústria, uma vez que a adição de sais de cura em produtos artesanais de açougue pode resultar em concentrações perigosas para a saúde pública. Na figura 2 é possível visualizar os testes positivos para os diferentes produtos cárneos analisados e o controle negativo.

Figura 2. Resultados do teste qualitativo para nitritos em produtos cárneos: tubos A, B e C positivos (linguiça suína, quibe cru e almôndega, respectivamente); tubo D, controle negativo.



Fonte: os autores (2026).

A elevada taxa de irregularidade, especialmente na linguiça suína (90 %), demonstra que o uso desses aditivos ainda é uma prática comum para garantir a cor rosada e a conservação do produto, mesmo em desacordo com as normas vigentes. Em pesquisas semelhantes realizadas no estado de São Paulo, observou-se que 53% das linguiças frescais comercializadas sem identificação de origem possuíam teores de nitrito acima do permitido pela legislação federal, evidenciando que a falta de fiscalização e o acesso facilitado a esses sais em mercados municipais contribuem para o uso errôneo (Tavella, 2023).

Do ponto de vista toxicológico, a presença de nitritos em alimentos é motivo de grande preocupação devido à sua capacidade de reagir com aminas secundárias e terciárias sob condições ácidas no estômago, formando N-nitrosaminas, que são compostos com alto potencial carcinogênico e mutagênico. O consumo frequente de carnes processadas contendo esses aditivos tem sido sistematicamente associado ao aumento da incidência

de carcinomas no trato gastrointestinal, particularmente o câncer colorretal (Deveci; Tek, 2024).

Além do risco de câncer, a ingestão aguda de altos teores de nitrito pode desencadear a metahemoglobinemia, uma condição clínica na qual o íon nitrito oxida o ferro da hemoglobina, impedindo o transporte eficiente de oxigênio para os tecidos corporais. Essa condição é particularmente perigosa em crianças e idosos, podendo causar sintomas que variam de cianose e hipóxia até o óbito em casos mais graves (Stoś *et al*., 2025).

A utilização clandestina desses sais em açougues artesanais é motivada por suas propriedades tecnológicas multifuncionais, que incluem uma ação antimicrobiana eficaz contra o desenvolvimento do *Clostridium botulinum* e a fixação da cor e do aroma característicos dos produtos curados. Contudo, as normas brasileiras vigentes restringem o uso desses aditivos apenas a produtos industrializados que operam sob inspeção sanitária oficial, exigindo que os limites residuais sejam monitorados com rigor para salvaguardar a saúde da população A literatura aponta que a produção de embutidos crus sem padrões de identidade definidos resulta em uma enorme variação na qualidade final, o que reforça a necessidade de maior rigor na fiscalização de produtos clandestinos (Andrade *et al*., 2025).

A literatura científica evidencia que embutidos fabricados sob a inspeção de órgãos fiscalizadores apresentam maior tendência de conformidade com os parâmetros legais, ao passo que produtos de procedência desconhecida ou elaborados artesanalmente sem fiscalização sanitária expõem os consumidores a riscos à saúde pela adição indiscriminada de aditivos (Tavella, 2023). O risco à saúde torna-se ainda mais evidente quando se analisa o cenário internacional, onde estimativas de exposição mostram que a ingestão diária aceitável de nitritos pode ser facilmente ultrapassada por grandes consumidores de carne processada, especialmente crianças. Pesquisas na Grécia demonstraram que mais de 15% das crianças de até 9 anos excedem os níveis seguros de ingestão de nitrito apenas através do consumo de carnes processadas, sugerindo a urgência de campanhas educativas e medidas regulatórias mais rígidas (Kotopoulou *et al*., 2022).

Nesse contexto, a fiscalização em Uberlândia deve focar não apenas na apreensão de produtos irregulares, mas também na orientação dos comerciantes sobre o perigo do uso desses sais. A legislação permite o uso apenas de ingredientes naturais como sal, açúcar, vinagre e condimentos vegetais puros, visando mitigar os riscos de intoxicação crônica acumulada ao longo da vida pela ingestão de conservantes químicos proibidos (Zhang *et al*., 2023).

Como alternativas tecnológicas para o futuro, o setor cárneo tem explorado métodos de *clean label* e o uso de extratos vegetais ricos em polifenóis, além de tecnologias não térmicas como a alta pressão hidrostática (HPP) e o plasma frio para garantir a segurança microbiológica sem a necessidade de aditivos sintéticos. Essas inovações buscam atender às exigências de um mercado consumidor cada vez mais atento aos riscos associados aos nitratos e nitritos sintéticos (Andrade *et al*., 2025).

Por fim, a substituição total de nitritos por culturas iniciadoras (*starter cultures*) de

bactérias láticas e estafilococos coagulase-negativa tem mostrado resultados promissores na manutenção da segurança e qualidade sensorial de produtos curados artesanalmente. Tais estratégias podem oferecer uma solução viável para que os açougues locais de Uberlândia comercializem produtos artesanais seguros e legalizados, protegendo a saúde da população (Li *et al.*, 2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo cumpriu seu objetivo ao investigar as práticas de produção de produtos cárneos artesanais em Uberlândia em relação às legislações sanitárias vigentes. A análise das amostras evidenciou um cenário preocupante de desconformidade, indicando o uso de aditivos proibidos por normas municipais e estaduais. Essa falha no controle de qualidade no varejo local sugere a existência de práticas culturais ou técnicas enraizadas que priorizam aspectos sensoriais ou de conservação em detrimento da legalidade.

A utilização clandestina de tais aditivos ignora riscos toxicológicos severos, como o potencial carcinogênico de compostos formados e a ocorrência de condições graves, expondo os consumidores a danos crônicos e agudos à saúde. Conclui-se que a proibição legal, isoladamente, não tem sido suficiente para coibir essas práticas nos estabelecimentos artesanais.

Diante desse cenário, torna-se imperativo que os órgãos de vigilância sanitária adotem uma abordagem multifacetada. Além de intensificar as ações de fiscalização e apreensão, é crucial desenvolver programas de capacitação voltados aos produtores artesanais. Tais programas devem focar na educação sobre os perigos associados a esses aditivos e na apresentação de alternativas seguras, como condimentos naturais e novas tecnologias de conservação, visando proteger a saúde pública e garantir a conformidade com os padrões de inocuidade exigidos para os alimentos consumidos pela população.

Declaração sobre IA Generativa e Ferramentas de Tradução

De acordo com as diretrizes de integridade científica estabelecidas pela Coordenação para o Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) relativas ao uso de tecnologia na pesquisa acadêmica, declara-se que a plataforma NotebookLM (Google) foi utilizada como ferramenta de inteligência artificial para auxiliar na organização sistemática, análise comparativa e síntese qualitativa da literatura científica. Além disso, o tradutor online DeepL foi utilizado para auxiliar na tradução técnica e no refinamento linguístico do manuscrito. Os autores enfatizam que todos os resultados gerados com o auxílio da IA foram revisados criticamente, editados manualmente e validados tecnicamente para garantir a precisão científica e o cumprimento dos padrões acadêmicos, mantendo total responsabilidade intelectual pelo conteúdo final e pelas conclusões apresentadas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, B. F.; CARMO, L. R.; TANAKA, M. S.; TORRES FILHO, R. A.; RAMOS, A. L. S.; RAMOS, E. M. Evaluation of Nonthermal Technologies to Reduce or Replace Nitrite in Meat Products. **Food Technology and Biotechnology**, v. 63, n. 1, p. 94-108, 2025.

DEEPL SE. **DeepL Translator** [Software]. Cologne: DeepL SE; 2024. Available from: https://www.deepl.com/

DEVECI, G.; TEK, N. A. N-Nitrosamines: a potential hazard in processed meat products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 5, p. 2551-2560, 2024.

Google. **NotebookLM** [AI tool]. Mountain View: Google; 2024. Available from: https://notebooklm.google/

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KOTOPOULOU, S.; ZAMPELAS, A.; MAGRIPLIS, E. Risk Assessment of Nitrite and Nitrate Intake from Processed Meat Products: Results from the Hellenic National Nutrition and Health Survey (HNNHS). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, 12800, 2022.

LI, K.; SHEN, Q.; YIN, Z.; YUAN, J.; SUN, Y.; ZENG, X.; WU, Z.; PAN, D. Quality and safety assessment of nitrite-free cured meat during 90-day storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 106, n. 2, p. 1255-1272, 2026.

MINAS GERAIS. Secretaria Estadual de Saúde. Resolução SES/MG nº 7,123. Divulga o Regulamento Técnico de Boas Práticas para estabelecimentos que realizam comércio varejista de carnes, no âmbito do Estado de Minas Gerais. **Diário oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 64, ano 127, 29 mar. 2019.

STOŚ, K.; WOJDA, B.; OŁTARZEWSKI, M.; GAJDA-WYRĘBEK, J.; DMITRUK, M.; POSTUPOLSKI, J. Exposure of meat products to nitrites as food additives in Poland. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 32, n. 3, p. 340-345, 2025.

TAVELLA, A. Quantificação do íon nitrito em linguiças do tipo frescal, comercializadas sem identificação de origem em feiras livres da região do ABC-SP. **Revista Científica SENAI-SP – Tecnologia, Inovação & Educação**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 76-97, ago./out. 2023.

TERRA, N. N.; FRIES, L. L. M.; TERRA, A. M.; MILANI, L. I. C. **Tecnologia de produtos cárneos**. São Paulo: Varela, 2022.

UBERLÂNDIA, Minas Gerais. Secretaria Municipal de Saúde e Secretaria Municipal de Agropecuária e Abastecimento. Decreto nº 13013. Aprova o Regulamento das Ações em Vigilância Sanitária nos açougues, casas de carnes, estabelecimentos de comércio varejista de carnes in natura e/ou transformadas e nos estabelecimentos privados que exercem atividades de vacinação no município de Uberlândia. **Diário Oficial do Município**, Uberlândia, MG, ano XXIII, n. 3746-A, p. 1-4, 14 set. 2011. Edição Especial.

ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; JIANLIN, J.; PENG, H.; QIAN, Q.; PAN, Z.; LIU, D. Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. **Current Research in Food Science**, v. 6, 100470, 2023

CAPÍTULO 36

SEMENTES CRIOULAS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O RESGATE DE SABERES E SABORES: ESTUDO DE CASO DE IBARAMA-RS

Lilian Alessandra Rodrigues[1];
[1]Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Dois Vizinhos, PR.
http://lattes.cnpq.br/1499492044231859
Miriam Fernanda Rodrigues[2];
[2]Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
http://lattes.cnpq.br/9437153589348766
Wandoir Sehn[3].
[3]Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS.
http://lattes.cnpq.br/2948904738607034

RESUMO: A agricultura familiar é responsável pela maior parte da produção de alimentos no Rio Grande do Sul, mas enfrenta dificuldades decorrentes de monocultivos, como degradação ambiental, dependência econômica e êxodo rural. A diversificação produtiva, a transição agroecológica e o resgate de saberes tradicionais, especialmente ligados às sementes crioulas, surgem como estratégias essenciais para a sustentabilidade da agricultura familiar. O município de Ibarama-RS destaca-se pelo protagonismo das famílias dos agricultores no resgate, na preservação e multiplicação de sementes crioulas. Isso tem incentivado e ampliado o interesse dos agricultores e da população no resgate de receitas tradicionais, principalmente com base em produtos oriundos da agricultura familiar praticada por agricultores que atuam como guardiões de sementes crioulas, o pode fortalecer a segurança e a soberania alimentar. A atuação dos guardiões e das associações locais, as iniciativas de conservação da agrobiodiversidade, a valorização cultural e socialização de saberes têm promovido melhorias na qualidade de vida, na renda e na permanência das famílias no campo. Assim, essas práticas constituem referências para o desenvolvimento rural sustentável, integrando aspectos sociais, econômicos, ambientais e culturais.
PALAVRAS-CHAVE: Resgate de sementes crioulas. Agrobiodiversidade. Saberes tradicionais.

HEIRLOOM SEEDS AND THEIR IMPORTANCE FOR THE PRESERVATION OF KNOWLEDGE AND FLAVORS: A CASE STUDY OF IBARAMA-RS

ABSTRACT: Family farming is responsible for most food production in Rio Grande do Sul, but it faces challenges resulting from monocultures, such as environmental degradation, economic dependence, and rural exodus. Productive diversification, agroecological transition, and the recovery of traditional knowledge especially related to landrace seeds-emerge (heirloom seeds) as essential strategies for the sustainability of family farming. The

municipality of Ibarama-RS stands out for the leading role of farming families in the recovery, preservation, and multiplication of landrace seeds. This has encouraged and expanded the interest of farmers and the local population in reviving traditional recipes, mainly based on products from family farming carried out by seed guardians, which can strengthen food security and sovereignty. The work of seed guardians and local associations, initiatives for agrobiodiversity conservation, the valorization of cultural heritage, and the sharing of knowledge have promoted improvements in quality of life, income, and the permanence of families in rural areas. Thus, these practices serve as references for sustainable rural development, integrating social, economic, environmental, and cultural aspects.
KEYWORDS: Rescue of native seeds. Agrobiodiversity. Traditional knowledge.

INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é essencial para a produção de alimentos no Rio Grande do Sul, uma vez que a maior parte dos estabelecimentos agropecuários são da agricultura familiar. Contudo, a monocultura praticada em muitas propriedades rurais de agricultura familiar tem causado a degradação dos recursos naturais, danos à saúde dos agricultores, dependência de empresas integradoras e o êxodo rural. Isso ocorre porque a produção da propriedade rural, muitas vezes, não é suficiente para a subsistência das famílias e o alto custo de aquisição de produtos externos à propriedade rural inviabilizam a manutenção dos agricultores no campo.

Estratégias de diversificação da propriedade rural, a adoção de sistemas produtivos sustentáveis e agroecológicos e o resgate de saberes são essenciais para a produção sustentável de alimentos. Essas estratégias contemplam atividades de seleção e melhoramento das variedades crioulas realizadas pelos agricultores guardiões e têm possibilitado a continuidade e a ampliação desses cultivos para agricultores de outras regiões.

As ações voltadas à produção de alimentos provenientes de variedades crioulas se destacam por garantir a segurança e soberania alimentar na agricultura familiar. Além disso, o resgate de valores históricos e culturais pode ser proporcionado por meio do resgate e da socialização de receitas elaboradas à base de variedades crioulas, uma vez que muitos conhecimentos populares foram se perdendo ao longo das gerações, juntamente com a redução da qualidade da alimentação e de vida dos agricultores.

As ações de desenvolvimento para o resgate de receitas, a socialização dos conhecimentos nas distintas gerações e a valorização do saber local têm incentivado diversas famílias a cultivar, consumir e enriquecer a alimentação com variedades crioulas, o que possibilita melhorar a alimentação e garantir a segurança e a soberania alimentar.

OBJETIVO

Objetiva-se, com este estudo, analisar as iniciativas de diversificação da produção nas pequenas propriedades rurais, de resgate de sementes crioulas e valorização cultural,

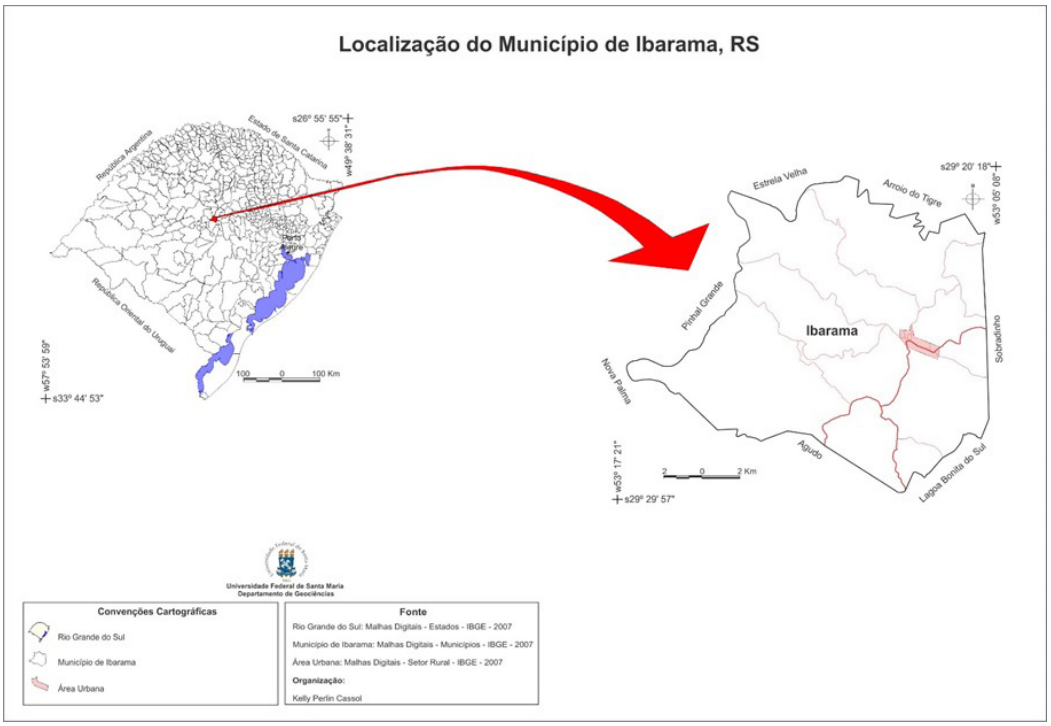
destacando seu papel para a sustentabilidade da agricultura familiar e para a promoção da segurança e soberania alimentar no município de Ibarama-RS.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Ibarama – RS (Figura 1). O município de Ibarama (195,426 km²) está localizado na microrregião Centro-Serra, no Vale do Rio Pardo, do Rio Grande do Sul, e faz divisa com os seguintes Municípios: Norte - Arroio do Tigre/RS e Estrela Velha/RS; Sul - Lagoa Bonita do Sul/RS e Agudo/RS; Leste – Sobradinho/RS e Oeste - Nova Palma/RS e Pinhal Grande/RS.

Figura 1: localização do município de Ibarama-RS.



Fonte: (CASSOL, 2013).

A população total de Ibarama é de 3732 pessoas (IBGE, 2022) composta por descendentes de italianos, alemães e afros (SILVA et al., 2019). Em 2019, a população de município era de 4454 pessoas, das quais 3498 estavam no meio rural, onde o tamanho médio das propriedades é de 23 ha (BARCHET et al., 2007). A maioria dos estabelecimentos rurais possui área inferior a 20 hectares, o que caracteriza esses estabelecimentos como pequenas propriedades e predomínio da agricultura familiar, em que o município possui uma forte afinidade com a preservação da agrobiodiversidade, de sementes e mudas crioulas (SILVA et al., 2019).

A economia do município é baseada na agropecuária (BARCHET et al., 2007), sendo a renda das famílias proveniente, principalmente, do cultivo de tabaco, soja, milho, feijão, fruticultura, olericultura, criação de bovinos, aves e suínos, além de outros cultivos para a

subsistência.

Levantamento das atividades realizadas pelos agricultores familiares

As informações sobre as atividades realizadas pelos agricultores familiares relacionadas ao resgate e à disseminação de sementes crioulas por meio da atuação dos guardiões de sementes e ao resgate de receitas à base de produtos da agricultura familiar oriundos de sementes crioulas foram obtidas por meio de revisão bibliográfica.

Informações adicionais foram obtidas em entrevista com a extensionista e chefe do Escritório Municipal da Emater de Ibarama, Letícia Fagundes Cremonese, e com a extensionista Lilian Alessandra Rodrigues.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Ibarama, que possui comunidades formadas por agricultores familiares, pequenas propriedades e com sua população descendente de italianos, alemães e afros, possuía uma alimentação rica e diversificada que não foi sendo repassada ao longo das gerações. Para evitar a extinção de hábitos alimentares saudáveis e o esquecimento de receitas que fizeram parte da história e da cultura dos agricultores familiares do município, mulheres agricultoras, em cooperação com a Emater/RS e a Prefeitura Municipal de Ibarama iniciaram uma ação de resgate da cultura alimentar e da produção de alimentos típicos da região e o incentivo ao consumo de alimentos naturais e saudáveis, em busca da segurança alimentar na agricultura familiar (RÁDIO SOBRADINHO, 2023; PREFEITURA MUNICIPAL DE IBARAMA, 2025; informação verbal)[1].

A partir de 1998, agricultores familiares de Ibarama começaram a realizar atividades agroecológicas e houve o incentivo ao resgate, à conservação e à multiplicação de sementes crioulas de milho, visando à preservação da diversidade ecológica e sociocultural, que foi ampliado para diversas outras sementes crioulas e para o resgate de receitas, artesanatos e plantas bioativas.

Em 2002, foi realizado o primeiro Dia da Troca de Sementes Crioulas.

Em 2004 (05/11/2004) ocorreu a criação da Associação das Mulheres Agricultoras de Ibarama (AMAI). Em Ibarama as ações com as mulheres agricultoras iniciaram com líderes rurais, denominadas de “multiplicadoras”. As mulheres se organizaram em grupos nas comunidades e criaram a Associação das Mulheres Agricultoras de Ibarama (AMAI), que fazia reuniões mensais na sede do município. As reuniões serviam para receber informações, buscar apoio, planejar ações em suas comunidades, reivindicar e confraternizar entre as representantes comunitárias. Nessas ocasiões, as aniversariantes do mês traziam pratos doces e salgados elaborados com receitas antigas. Houve, então, o interesse em resgatar receitas das famílias rurais de Ibarama, ação que foi facilitada porque o resgate com sementes crioulas já vinha sendo realizado no município (RÁDIO SOBRADINHO, 2024).

Em 2006, o trabalho com sementes crioulas foi premiado no Concurso Nacional de Sistematização de Experiências sobre Agroecologia e Agriculturas Alternativas, patrocinado

pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário.

Em 2008, ocorreu a formalização da Associação dos Guardiões de Sementes Crioulas de Ibarama-RS.

Em 2009, um trabalho foi realizado voltado ao resgate de receitas à base de milho, que teve como produto a elaboração de apostilas com essas receitas resgatadas. As mulheres agricultoras, incluindo esposas dos Guardiões das Sementes Crioulas, em cooperação com a Emater/RS e com a Prefeitura Municipal de Ibarama, iniciaram uma ação de resgate de receitas de seus antepassados, para promover a autoestima alimentar, por meio do conhecimento e do resgate da cultura alimentar dos colonizadores de Ibarama. Com isso, foi possível evitar a perda dos saberes e sabores populares e tradicionais, por meio do resgate, de relatos e da disponibilização dessas receitas para os interessados.

Durante a Semana da Alimentação, em 2009, a Emater-RS, em cooperação com a Prefeitura Municipal e com a Associação das Mulheres Agricultoras de Ibarama, um Projeto de Segurança Alimentar foi idealizado para oficializar o resgate de receitas. A intenção foi resgatar antigas receitas e incentivar a alimentação saudável, valorizar os produtos presentes nas propriedades rurais, principalmente na agricultura familiar; resgatar as receitas antigas para mantê-las no espaço familiar; resgatar a cultura dos colonizadores, das etnias, dos pratos desenvolvidos pelos imigrantes e promover a integração das famílias; e garantir a soberania e segurança alimentar e evitar a perda dos saberes tradicionais (informação verbal)[1].

Os grupos de mulheres foram responsáveis por escolher receitas de suas tradições familiares. As receitas antigas eram resgatadas pelas famílias rurais e, posteriormente, apresentadas para seus grupos e/ou comunidades. Cada comunidade selecionava duas receitas que eram apresentadas anualmente em um encontro municipal e, posteriormente, em um encontro microrregional. Os critérios de seleção das receitas avaliados por uma comissão municipal são: apresentação visual, sabor, originalidade, história e resgate cultural. Com essa ação foi possível resgatar os saberes e sabores da culinária local e regional e da história alimentar dos colonizadores de Ibarama (informação verbal)[1].

O resgate de receitas tem mobilizado as famílias rurais para a busca pelos cadernos de receitas antigas e fomentou o uso de produtos da agricultura familiar. Então, os encontros comunitários e municipal passaram a ser realizados anualmente. Assim, em 2009 foi realizado o evento denominado “1º Resgate de Receitas de Ibarama” (informação verbal)[1].

Essas receitas continuam sendo resgatadas anualmente, a exemplo da receita de Bolo de Mandioca, que foi selecionada em um encontro em 2025 (informação verbal)[1].

Ainda em 2009, um trabalho regional intitulado “Projeto de Segurança e Soberania Alimentar” teve início e envolveu todos os municípios da região Centro Serra, Quarta e Vale do Rio Pardo. Em Ibarama, as mulheres agricultoras receberam capacitações e trocaram experiências para elaboração de pratos típicos da culinária local, valorizando os produtos da agricultura, com o objetivo de alcançar a segurança e a soberania alimentar (informação verbal)[1].

Em 2010, foi lançado o primeiro caderno de receitas de resgate da cultura alimentar, que reuniu todas as receitas apresentadas nos encontros municipais, o que possibilitou a socialização das receitas e dos saberes. Ainda, em 2010, foi realizado o "2º Resgate de Receitas de Ibarama" (informação verbal)[1].

Em 2011, o livro intitulado "Segurança Alimentar e Agricultura Familiar: resgate da cultura alimentar" (Figura 2) foi lançado durante a Expoagro-Afubra. O livro foi elaborado pelas agricultoras locais que participaram com suas receitas e editado pela Emater/RS-Ascar. Algumas dessas receitas foram incluídas no cardápio da merenda escolar, entre elas: bolo de polvilho, bolo de melado, rosca, biscoito, pão de milho, polenta e pão branco. Essa ação valoriza a cultura local e os agricultores familiares que produzem esses alimentos em suas propriedades (informação verbal)[1].

Figura 2: caderno receitas de Ibarama-RS.

Fonte: EMATER-RS/ASCAR.

Em 2017, atividades junto às escolas municipais tiveram início para trabalhar os eixos da alimentação saudável e do resgate de receitas pesquisadas pelos estudantes. Ainda em 2017, juntamente com o 9º Resgate de Receitas da Associação das Mulheres Agricultoras, ocorreu o 1º Resgate de Receitas dos Guardiões Mirins das Sementes Crioulas de Ibarama (informação verbal)[1].

Em 2018, o 1º Jantar Gastronômico a Base de Milho Crioulo foi organizado com pratos à base de milho e produtos da agricultura familiar de Ibarama. O evento foi uma promoção de cooperação entre a administração municipal, conselho paroquial, guardiões das sementes, AMAI e Emater (informação verbal)[1].

Em 2019, foi realizado o 2º Jantar Gastronômico a Base de Milho Crioulo. No mesmo

ano, juntamente com o 11º Resgate de Receitas da Associação das Mulheres Agricultoras, ocorreu o 2º Resgate de Receitas dos Guardiões Mirins das Sementes Crioulas de Ibarama (informação verbal)[1].

Em 2020 e em 2021, em função da Pandemia da Covid-19, não foi possível realizar o Jantar Gastronômico a Base de Milho Crioulo, enquanto o evento Saberes, Sabores e Sementes Crioulas, que congrega o Dia da Troca das Sementes Crioulas, Seminário da Agrobiodiversidade Crioula, Feira da Economia Popular e Solidária e o Seminário dos Guardiões Mirins, foi realizado de forma virtual (informação verbal)[1]. O evento consiste em trocas de experiências e de sementes, exposição e comercialização de produtos coloniais e de artesanato, e em um espaço solidário onde são realizadas trocas de sementes, de mudas e de plantas bioativas.

Em 2021, a Associação das Mulheres Agricultoras de Ibarama (AMAI) teve um projeto selecionado no Edital FLD I/2021 – Fortalecimento e soberania de territórios frente à pandemia de Covid-19, da Fundação Luterana de Diaconia, sendo que foram mais de 130 projetos inscritos e 30 iniciativas das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país foram contempladas. O projeto contemplado é intitulado Mulheres Rurais: Protagonistas na preservação da agrobiodiversidade crioula e promotoras da segurança e soberania alimentar. O projeto foi conduzido no município de Ibarama com abrangência regional e teve como objetivo incentivar a produção e comercialização de sementes crioulas, promover a segurança e soberania alimentar e nutricional sustentável das famílias em vulnerabilidade social, povos e comunidades tradicionais (indígenas e quilombolas) buscando a socialização dos conhecimentos nas distintas gerações, valorizando o saber local e o protagonismo das mulheres, para que houvesse um crescimento horizontal do resgate, preservação e multiplicação das sementes crioulas (informação verbal)[1].

As principais ações propostas pelo projeto foram a aquisição de sementes crioulas dos guardiões de Ibarama, para promover a comercialização e o escoamento da produção, bem como a valorização das ações destes agricultores, no resgate, preservação e multiplicação. Além disso, a ação de doação dessas sementes, em forma de kit, às famílias de agricultores em vulnerabilidade social, povos e comunidades tradicionais (indígenas e quilombolas) foi realizada com o intuito de que as famílias pudessem produzir para o autoconsumo e melhorar a segurança e soberania alimentar nas propriedades rurais. As famílias deveriam cultivar, cuidar, multiplicar e doar estas sementes para outros grupos, atingindo um maior número de pessoas no futuro, preocupadas com a responsabilidade coletiva (informação verbal)[1].

Em 2022, as atividades presenciais foram retomadas e foi possível a realização do Jantar Gastronômico a Base de Milho Crioulo (informação verbal)[1].

Em 2023, foi possível a realização do evento Saberes, Sabores e Sementes Crioulas de forma presencial, com a programação completa. O evento reuniu o 22º Dia da Troca das Sementes Crioulas, o 9° Seminário da Agrobiodiversidade Crioula, a 9ª Feira da Economia Popular e Solidária e o 9° Seminário Regional dos Guardiões Mirins. A Feira do Produtor

Rural e o 33° Seminário de Alternativas à Cultura do Fumo foram realizados neste evento. Os destaques do evento foram a agrobiodiversidade de sementes crioulas, mudas e tubérculos, a feira da agricultura familiar e a realização de seminários, palestras e relatos de experiências. Além disso, produtos como sementes, produtos coloniais, artesanatos e alimentação foram comercializados durante o evento (informação verbal)[1]. Neste mesmo ano ocorreu o 13º Resgate de Receitas da Associação das Mulheres Agricultoras (informação verbal)[1].

Em 2024, evento Saberes, Sabores e Sementes Crioulas contemplou o 10º Seminário Regional dos Guardiões Mirins das Sementes Crioulas, a 23ª edição do Dia da Troca de Sementes Crioulas, o 10º Seminário da Agrobiodiversidade Crioula, a Feira do Produtor Rural. O evento também contemplou o Espaço Solidário das Plantas Bioativas e Sementes Crioulas (informação verbal)[1].

A edição de 2025 do evento Saberes, Sabores e Sementes Crioulas contemplou o 11º Seminário Regional dos Guardiões Mirins das Sementes Crioulas, a 24ª edição do Dia da Troca de Sementes Crioulas, o 11º Seminário da Agrobiodiversidade Crioula, a 11ª Feira da Economia Popular Solidária e a Feira do Produtor Rural. Além disso, o evento contemplou o Espaço Solidário das Plantas Bioativas e Sementes Crioulas (informação verbal)[1].

Como resultado dessas diversas atividades e ações, tem-se o envolvimento de pessoas e a socialização entre pessoas e de informações. A Associação dos Guardiões de Sementes Crioulas de Ibarama-RS abrange 35 famílias de agricultores e a Associação das Mulheres Agricultoras possui aproximadamente 300 sócias.

Mais de 30 variedades de milho e mais de 30 variedades de feijão foram resgatadas e preservadas, dentre outras espécies. Um exemplo de espécie que foi resgatada e que vem sendo propagada há mais de 100 anos pelos agricultores do município é a alface “Angelina”.

Os encontros de resgate da culinária proporcionaram o resgate de mais de 220 pratos típicos da agricultura familiar de origem italiana, alemã e afrodescendente (informação verbal)[1].

[1]Informações obtidas em entrevista com as extensionistas do Escritório Municipal da Emater/Ascar de Ibarama, Letícia Fagundes Cremonese e Lilian Alessandra Rodrigues.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades realizadas pelos agricultores familiares com o resgate de sementes crioulas são essenciais para a manutenção dos valores culturais, econômicos e sociais e para a sustentabilidade. Essas atividades contemplam o resgate e a disseminação de sementes crioulas por meio da atuação dos guardiões de sementes e o resgate de receitas à base de produtos da agricultura familiar oriundos de sementes crioulas. Além disso, essas atividades contemplam o resgate de valores culturais e demanda ampla interação social entre diversas gerações, com o envolvimento de diversas pessoas e instituições em âmbito

local, regional e nacional para a realização do desenvolvimento e da sustentabilidade rural em toda a sua complexidade, uma vez que contempla questões culturais, ambientais, econômicas e sociais.

Os agricultores de diversas gerações, envolvidos nessas atividades, realizam as ações de resgate, preservação e multiplicação de sementes crioulas no município de Ibarama e prezam pela garantia de perpetuação das espécies e manutenção da segurança e soberania alimentar.

O evento Saberes, Sabores e Sementes Crioulas que vem sendo realizado no município de Ibarama-RS contempla diversas ações com valorização das experiências locais e tem foco na agricultura familiar.

O produto dessas ações é de interesse global para o desenvolvimento e a sustentabilidade rural, a manutenção da agrobiodiversidade e da segurança e soberania alimentar.

REFERÊNCIAS

CASSOL, Kelly Perlin. **Construindo a autonomia: o caso da Associação dos Guardiões das Sementes Crioulas de Ibarama/RS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9400. Acesso em: 18 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico**. 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=destaques. Acesso em: 20 dez. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBARAMA. **Histórico**. Ibarama: Prefeitura Municipal de Ibarama, 2025 Disponível em: ibarama.rs.gov.br/historico. Acesso em: 30 dez. 2023.

RÁDIO SOBRADINHO. **Ibarama promove a 13ª edição do resgate de receitas**. Sobradinho, 2 set. 2024. Disponível em: https://www.radiosobradinho.com.br/ibarama-promove-a-13a-edicao-do-resgate-de-receitas/. Acesso em: 30 dez. 2023.

SILVA, Leticia Marion Fagundes; VIELMO, Giovane Ronaldo Rigon; RODRIGUES, Lilian Alessandra; HOPPE, Maiara Cristina. Plantas bioativas: o saber popular no cotidiano das mulheres agricultoras de Ibarama/RS. In: 13ª Reunião Técnica Estadual Sobre Plantas Bioativas e I Congresso Sul Brasileiro de Plantas Bioativas, 2019, Santa Cruz do Sul-RS. **13ª Reunião Técnica Estadual Sobre Plantas Bioativas e I Congresso Sul Brasileiro de Plantas Bioativas**, 2019.

CAPÍTULO 37

AVALIAÇÃO DO EMPREGO BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO DOS ALIMENTOS EM UM HIPERMERCADO DO TRIÂNGULO MINEIRO

Isadora Martins Ramos[1];
[1]Instituto Federal do Triângulo Mineiro-*Campus* Uberaba (IFTM), Uberaba, MG.
http://lattes.cnpq.br/2276441031380238
Fernanda Raghiante[2];
[2]Instituto Federal do Triângulo Mineiro - *Campus* Uberlândia (IFTM), Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/1258710253836494
Elaine Alves dos Santos[3].
[3]Instituto Federal do Triângulo Mineiro - *Campus* Uberlândia (IFTM), Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/7870619050486209

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo diagnosticar as condições higiênico-sanitárias e o emprego de boas práticas de fabricação em um hipermercado no Triângulo Mineiro, contribuindo para a produção de alimentos inócuos aos consumidores e clientes do referido estabelecimento. Inicialmente foi aplicado a lista de verificação contida na RDC n° 275 de 21 de outubro de 2002 para diagnóstico das condições higiênico-sanitárias do hipermercado. Pode-se classificar o Hipermercado como "Bom" perante a legislação vigente e em relação aos aspectos higiênico-sanitários avaliados, nível de conformidade de 98,24%. Dos resultados obtidos, emerge a necessidade de melhoria no aspecto Manipuladores, o qual obteve menor índice de adequação, com destaque para ajuste no comprometimento dos manipuladores de alimentos em adotar na prática os hábitos corretos de manipulação, o que reflete na qualidade sanitária de utensílios utilizados na produção. Como medida de ação corretiva para as não conformidades detectadas, ressalta-se a necessidade de treinamentos práticos e dinâmicas, demonstrando a presença de microrganismos e os possíveis danos que podem causar a saúde, para que os conceitos resultem em melhorias na adoção de hábitos higiênicos satisfatórios.
PALAVRAS-CHAVE: Segurança dos alimentos. Condições higiênico-sanitárias. Adequação.

ASSESSMENT OF GOOD MANUFACTURING PRACTICES FOR FOOD AT A HYPERMARKET IN THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION

ABSTRACT: This study aimed to assess the hygienic-sanitary conditions and the implementation of Good Manufacturing Practices at a hypermarket in the Triângulo Mineiro region, thereby contributing to the production of safe food for the establishment's consumers and customers. Initially, the checklist provided in RDC N°. 275 of october 21, 2002, was used to evaluate the hypermarket's hygienic-sanitary conditions. Based on current legislation and the hygienic-sanitary aspects assessed, the hypermarket was classified as "Good,"

achieving a compliance level of 98.24%. The results highlighted a need for improvement regarding food handlers—the area with the lowest compliance rate-specifically concerning their commitment to practically adopting correct handling habits, which directly impacts the sanitary quality of production utensils. To address the identified non-conformities, the study emphasizes the need for practical, dynamic training sessions that demonstrate the presence of microorganisms and the potential health risks they pose; such training aims to translate concepts into improved hygienic habits.
KEYWORDS: Food safety. Hygienic-sanitary conditions. Compliance.

INTRODUÇÃO

O binômio clientes exigentes e concorrência resultou no aperfeiçoamento contínuo dos produtos e serviços da área de alimentos. As empresas são desafiadas a se dedicarem à qualidade dos serviços oferecidos e produtos entregues, bem como às estratégias de satisfação e fidelização dos clientes (Abreu; Spinelli; Souza, 2019). Outra preocupação é com a segurança dos alimentos, que abrange conhecimentos e práticas referentes à saúde coletiva, sendo estas ações com intuito de prevenir riscos associados à alimentação (Pandolfi; Moreira; Teixeira, 2020).

Neste cenário, é fundamental a gestão e controle de qualidade dos alimentos, visto que se associam a fundamentos básicos para que o processo de produção de alimentos seja realizado evitando o surgimento de doenças de transmissão hídrica e alimentar (DTHAs), devido a falhas no processo. Para garantir a segurança dos alimentos, recomenda-se adotar medidas como aplicação de checklist, organização dos setores, preenchimento de planilhas de controle e treinamentos de manipuladores de alimentos. Por meio destes procedimentos, é possível identificar quais os pontos falhos e melhorias que serão necessárias adotar no processo de produção de gêneros alimentícios de qualidade (Pereira; Zanardo, 2020).

Uma das estratégias é a implementação do programa de Boas Práticas de Fabricação (BPF) em indústrias de alimentos. Para Buzinaro e Gasparotto (2019), BPF têm como objetivo primordial evitar a contaminação dos produtos, abrangendo desde a recepção das matérias primas até o produto final. Na legislação brasileira, as boas práticas de fabricação são obrigatórias para todos os estabelecimentos produtores e industriais. Essa medida dispõe de diversos benefícios, tais como: redução dos custos operacionais, otimização e a excelência dos processos realizados, fabricação de produtos de qualidade e alta credibilidade perante o público consumidor (Brasil, 1997).

Especialmente, medidas rigorosas de prevenção de contaminações em serviços de alimentação são indispensáveis. Por se tratar de uma atividade essencial em hipermercados e supermercados, são atribuídas responsabilidades ainda maiores. É dever desses estabelecimentos garantir o abastecimento das famílias, pois os alimentos podem estar sujeitos a diferentes origens de contaminações por microrganismos relacionados à manipulação e aos procedimentos incorretos durante a produção e distribuição destes (Associação Paulista de Supermercados, APAS, 2020).

As boas práticas são medidas que visam a produção e comercialização de alimentos seguros. Estas são consideradas indispensáveis em estabelecimentos de alimentos, setores de armazenamento e distribuição, visto que estas, devem ser implementadas, com intuito de garantir a qualidade e inocuidade dos alimentos, para que se mantenham ao longo de toda logística, por meio do transporte, distribuição e armazenamento (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE, 2020). Todos esses fatores são de grande importância para que os produtos se mantenham intactos e seguros nas prateleiras dos supermercados, a fim de proporcionar ao consumidor final um alimento que não ofereça risco à sua saúde (Hassauer; Roosen, 2019).

OBJETIVO

Considerando o papel importante da produção de alimentos seguros, o presente estudo tem como objetivo geral diagnosticar o emprego de Boas práticas de fabricação em um hipermercado no Triângulo Mineiro, contribuindo para a produção de alimentos inócuos aos consumidores e clientes do referido estabelecimento.

METODOLOGIA

Avaliação das condições higiênico-sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação

O presente estudo foi realizado em um Hipermercado localizado na região do Triângulo Mineiro, onde seu maior público-alvo se encontra no Triângulo do Norte, sendo este hipermercado o único presente na cidade específica em que foi realizado o estudo. O hipermercado é dividido em setores, com mais de 10.000 itens disponíveis para compra, sendo estes caracterizados na Tabela 1:

Tabela 1. Cargo e número de colaboradores do hipermercado.

Cargo exercido	Número de colaboradores
Perecíveis	12
Mercearia	19
Hortufuti	8
Recebimento de mercadoria	6
Financeiro	3
Comercial	7
Gerência	4
Frente de caixa	34
Avaria	2
Manutenção	1
Cartazista	1
Prevenção de perdas	15
Office boy	1

Fonte: Os autores, (2023).

Com objetivo de diagnosticar as condições higiênico-sanitárias do estabelecimento, inicialmente foi aplicado a lista de verificação Checklist contida na RDC n° 275 de 21 de outubro de 2002 (Brasil, 2002).

A referida lista possibilitará avaliar o estabelecimento de acordo com os seguintes critérios:

- Edificação e instalações;
- Equipamentos, utensílios e móveis;
- Manipuladores;
- Produção e transporte do alimento.

Segundo cada critério dos aspectos higiênicos-sanitários, o estabelecimento será classificado em relação ao percentual de conformidades detectadas, baseado na RDC n° 275 sendo estes: GRUPO 1 - 76 A 100 % de atendimento dos itens; GRUPO 2 - 51 A 75 % de atendimento dos itens e GRUPO 3 - 0 A 50 % de atendimento dos itens (Brasil, 2002).

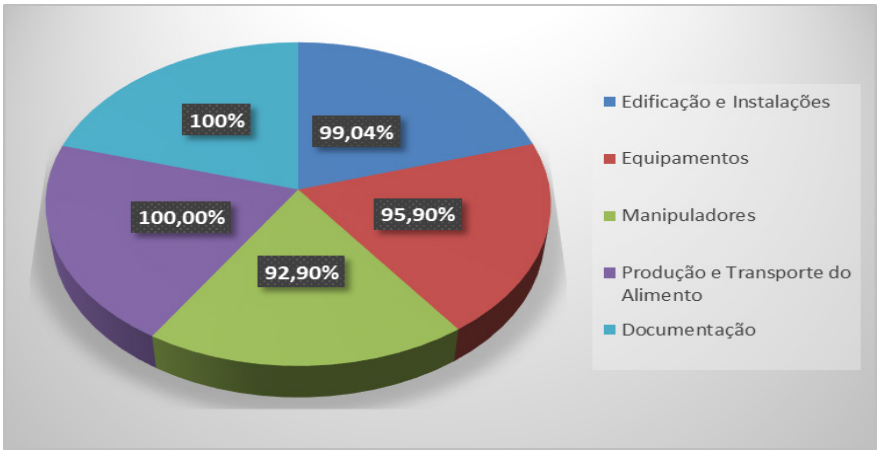
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação das condições higienicossanitárias e de Boas Práticas de Fabricação

Com base nos resultados obtidos, do cálculo do percentual de itens atendidos com a aplicação do checklist, podemos constatar que o estabelecimento se encontra no grupo A – com 76 % a 100 % de conformidade, segundo a RDC N° 275 de outubro de 2002 (Brasil, 2002). Com isso, demonstra-se a eficiência do local em relação a prestação de serviços e comercialização de alimentos seguros para o consumidor. Portanto, através do checklist, pode-se classificar o Hipermercado como “Bom” perante a legislação vigente e em relação aos aspectos higiênico-sanitários avaliados, com classificação de 98,24 %. Embora esses resultados sejam satisfatórios, emerge a necessidade de ajustar as não conformidades elencadas para melhoria do panorama detectado.

Assim, foram relatadas as não conformidades presentes, as quais foram apresentadas à gerência do estabelecimento, corrigindo-se os pontos de adequação, ressaltando-se a intenção e a preocupação do hipermercado em manter a boa classificação perante as normas sanitárias, para a entrega de alimentos seguros e com qualidade. Quanto maior o interesse do colaborador em exercer as boas práticas, melhor será o resultado de conformidade do estabelecimento.

Figura 1. Percentual de adequação por aspecto avaliado com a aplicação da lista de verificação das condições higienicossanitárias do hipermercado.



Fonte: Os autores, (2023).

Através da lista de verificação, embora o estabelecimento estivesse classificado no Grupo I, entre 76 % e 100 % dos itens atendidos conforme legislação, foram observadas não conformidades que serão discutidas a seguir (Figura 1).

Conforme a figura 1, no item de Instalações e Edificações, as não conformidades foram encontradas na área interna como portas e instalações sanitárias. Desta forma, observou-se que o hipermercado nos blocos avaliados está em boas condições, por se tratar de um estabelecimento de grande porte, ainda em fase de desenvolvimento, e mesmo com a inconformidade encontrada pode ser classificado como o Grupo I – de classificação com 76 A 100 % de atendimento dos itens.

No que se refere a não conformidade também encontrada no item Edificações e Instalações, foi observada porta com maçaneta danificada, prejudicando o acesso ao setor de padaria. Fica evidente a necessidade de melhoria e manutenção da mesma para que a estrutura se encontre dentro dos padrões de recomendações, os quais impactam de forma direta a produtividade do local.

Almeida e colaboradores (2020), para avaliação de edificações e instalações, identificaram diante de 79 itens avaliados, apenas 74 puderam ser analisados e 5 não se aplicavam. Dos itens analisados, 73 estavam em conformidade (98,6 % de conformidade), e somente 1 item foi classificado como não conforme, sendo esse relacionado a paredes e divisórias fazendo exigência para a existência de ângulos abaulados entre as paredes e o piso e entre as paredes e o teto, estudos que corroboram com a pesquisa realizada, quando se trata de estabelecimento com classificação do grupo 1.

Fernandes *et al.* (2022) também encontraram inadequação referente ao estado de conservação da área de manipulação, envolvendo fatores como porta em más condições de conservação. Sabe-se que a adequação das edificações contribui para a adoção das Boas Práticas de Fabricação dado a facilitação dos processos de limpeza e higienização, além de possibilitar um fluxo de produção seguro.

Diante da não conformidade encontrada é importante reforçar que segundo a

legislação RDC n°. 275 (Brasil, 2002), as unidades de alimentação e nutrição devem apresentar adequado estado de manutenção e conservação estrutural, visando a minimização de contaminações cruzadas e acidentes de trabalho, englobando todos os processos de produção do alimento.

Outra não conformidade encontrada quanto ao quesito Instalações e Edificações foi a falta de lixeiras com acionamento de pedal, tanto nas áreas de manipulação quanto na área de sanitários e vestiários dos manipuladores de alimentos, a inconformidade encontrada se refere a ausência de pedal nas lixeiras, sendo as tampas com acondicionamento de pedal que se encontra estragada, a partir disso a mesma possui o acionamento de pedal, mas se encontra com defeito.

Sales *et al.* (2022) relata a mesma inconformidade em seus estudos, no qual se dispõe de lixeiras inadequadas tanto na área externa quanto na área interna do estabelecimento fornecedor de alimentos, aumentando assim os riscos de contaminação pois os resíduos dispostos possuem altos riscos de desenvolvimento e proliferação de microrganismos, além de que o lixo contido nessas lixeiras armazenado de forma errônea, além de possuir contato direto com as mãos dos manipuladores de alimentos, podem atrair pragas, pois muitas das vezes, para facilitar o manuseio das mesmas, os colaboradores mantem as lixeiras com a tampa aberta.

Zurlini *et al.* (2018) ao analisar duas UAN's pode notar que apenas uma das unidades se enquadravam dentro do acondicionamento de lixeiras de pedal, enquanto a outra se dispõe de manejo inadequado dos resíduos, visto que a mesma não está em conformidade devido o pedal se encontrar quebrado. Assim, o contato do manipulador com a tampa da lixeira poderá promover a contaminação cruzada.

Ainda sobre as inconformidades apresentadas no checklist, quando se refere à Equipamentos, Móveis e Utensílios, ressaltasse a importância da higienização dos equipamentos. Faz-se necessário maior frequência de limpeza nas ilhas congeladas dispostas nas Áreas de vendas, pois as mesmas se encontraram com sujidades aparentes, acúmulo de gelo, e até mesmo com presença de insetos. Sabe-se que o estabelecimento apresenta um número grande de ilhas, e insuficiente de colaboradores para tamanha demanda, mas que ainda assim é necessário criar uma rotina de limpeza para manter a estrutura dentro dos padrões higiênicos estabelecidos na legislação vigente, refletindo essas ações de higienização na qualidade sanitária do alimento produzido no estabelecimento objeto do estudo.

Segundo Santos (2021), de acordo com o checklist aplicado em relação às ilhas e balcões térmicos, obtiveram 80% para conformidade. O estabelecimento também assim como do estudo proposto, possui a presença de termômetro e em adequado estado de uso, de acordo com a necessidade do alimento assim como foi observado que os equipamentos estão em bom estado de conservação, porém faz-se necessário maior frequência de limpeza nos mesmos.

Através do item Manipuladores de alimentos, a classificação de conformidade foi de

92,9%. As não conformidades detectadas neste aspecto se deram pela falha nos hábitos higiênico-sanitárias dos manipuladores, através da não lavagem cuidadosa das mãos antes, após e durante as operações de elaboração dos alimentos, mas principalmente após qualquer interrupção das atividades de trabalho ou até mesmo após o uso dos sanitários, o que acarreta a contaminação cruzada certeira, ressaltado pela falha quanto ao acionamento de pedal das lixeiras presentes nos sanitários.

Ponath *et al.* (2016) observaram que Apesar de ser um procedimento simples, a lavagem das mãos, que é frequentemente esquecida, é imprescindível para que se evite a contaminação. Os mesmos autores relataram falhas nas condições higiênico-sanitárias durante o processamento dos alimentos, que comprometem por consequência sua qualidade e segurança. Por isso, é importante destacar que as mãos são uma das principais vias que transmitem agentes contaminantes aos alimentos. Portanto, é indispensável a correta higienização das mãos, mesmo quando a manipulação de alimentos for interrompida ou por outras questões que possuam um potencial de contaminação, contribuindo com a qualidade sanitária dos alimentos produzidos em Hipermercados.

Medeiros *et al.* (2017) obtiveram 70,83% das amostras analisadas como insatisfatórias a partir das inadequações quando se diz respeito a higiene correta das mãos, indicando este fato como consequência da falha no procedimento de sanitização das mãos além de não ser realizadas em trocas de tarefas e de áreas consideradas contaminadas, bem como também houve a carência de local adequado para realização da assepsia das mãos e o número de dispensadores com solução sanitizante era insuficiente.

Ao que se refere a Produção e Transporte do alimento bem como também o item de Documentação, a classificação foi de 100% atendendo todas as conformidades exigidas pela legislação vigente.

Como medida de ação corretiva para as não conformidades detectadas, ressalta-se a necessidade de treinamentos práticos e dinâmicas, demonstrando a presença de microrganismos e os possíveis danos que podem causar a saúde, para que os conceitos e práticas trabalhadas nas capacitações resultem em melhorias na adoção de hábitos higiênicos satisfatórios por parte dos manipuladores de alimentos do estabelecimento em questão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o estabelecimento avaliado se encontra em conformidade com os parâmetros da legislação em relação as Boas Práticas de Fabricação, para estabelecimentos produtores de alimentos, com resultados satisfatórios para todos os critérios avaliados por meio da lista de verificação utilizada, demonstrando sua importância no contexto da região que está inserido, em relação a oferta de produtos alimentícios inócuos à saúde dos consumidores.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C.; COQUEIRO, J. S.; XAVIER, M. C.; SILVA, A. S. Análise higiênico-sanitária e estrutural de um estabelecimento atacadista na cidade de Guanambi - BA realizado através de checklist. Revista de Agroecologia no Semiárido, [S.l.], v. 4, n. 5, p. 110-117, 2020. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/ras/article/view/4632. Acesso em: 27 Nov. 2022. doi: http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4632 .

ABREU, E. S.; SPINELLI, M. G. N.; SOUZA, P. A. M. Gestão de Unidades de Alimentação e Nutrição: um modo de fazer. 7. ed. São Paulo: Editora Metha, 2019. 416p.

APAS. Associação Paulista de Supermercados. Prevenção contra o coronavírus para supermercados. São Paulo: 2020. Disponível em: https://portalapas.org.br/campanhas/cartilha-prevencao-contra-o-coronavirus-para-supermercados/. Acesso em: 29 de jan. de 2022.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n. 326, de 30 de julho de 1997. Aprova o regulamento técnico Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 16560-3, 1 ago. 1997. Seção I.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. de 2002. Seção I, p. 126.

FERNANDES, C. B.; LIRA, N. R. C.; SANTOS, J. F.; FONSECA, P. C. D. M. Planejamento físico-funcional: Subsídio para a segurança dos alimentos na produção de refeições. Research, Society and Development, v. 11, n. 3, p. e46111326844-e46111326844, 2022.

HASSAUER, C.; ROOSEN, J. Which criteria do consumers use to evaluate the safety of food. Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting, 2019.

MEDEIROS, M. D. G. G. D. A.; DE CARVALHO, L. R.; FRANCO, R. M. Percepção sobre a higiene dos manipuladores de alimentos e perfil microbiológico em Restaurante Universitário. Revista Ciência & Saúde Coletiva, Manguinhos, v. 22, n. 2, p. 383-392, 2017.

PANDOLFI, I. A; MOREIRA, L. Q; TEIXEIRA, E. M. B. Segurança alimentar e serviços de alimentação-revisão de literatura. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 42237-42246, 2020.

PEREIRA, W. B. B.; ZANARDO, V. P. S. Gestão de Boas Práticas em uma Cantina Escolar. Revista Vivências, v.16, n.30, p.193-200, 2020.

PONATH, F. S.; VALIATTI, T. B; SOBRAL, F. DE O. S; ROMÃO, N. F.; ALVES, G. M. C.; PASSONI, G. P. Avaliação da higienização das mãos de manipuladores de alimentos do Município de Ji-Paraná, Estado de Rondônia, Brasil. Revista Pan-Amazônica de Saúde, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2016. Disponível em <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-62232016000100008&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 21 ago. 2026.

http://dx.doi.org/10.5123/s2176-62232016000100008.
SALES, C. L.; FOLADOR, O. G.; PAULA, C. L.; POLESI, F. L.; ALBERTE, M. T. Adequação das boas práticas de fabricação e suas ferramentas básicas e capacitação de manipuladores em laticínio. Brazilian Journal of Health Review, v. 5, n. 1, p. 859-873, 2022.
SANTOS, E. M. L. S. Aplicação de checklist em estabelecimento de comercialização de alimentos na comunidade de Conceição das Crioulas-PE. Trabalho de conclusão de curso. IFSertãoPE - Campus Salgueiro (Curso de Tecnologia em Alimentos), 2021.
SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Sebrae: 7% dos bares e restaurantes fecharam devido à pandemia, 2020. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-08/sebrae-7-dosbares-e-restaurantes-fecharam-devido-pandemia. Acesso em 14 de abr de 2021.
ZURLINI, C. A.; LUPINO, S.C.; NERY, C. S. J.; SANTOS, G. H. C. M. Avaliação do controle higiênico-sanitário da produção de alimentos em unidades de alimentação e nutrição hospitalar. Higiene Alimentar, v. 32, n. 284/285, p. 51-55, 2018.

CAPÍTULO 38

IMPACTO DE TREINAMENTO NA QUALIDADE SANITÁRIA DE ALIMENTOS E SUPERFÍCIES EM UM HIPERMERCADO DO TRIÂNGULO MINEIRO

Isadora Martins Ramos[1];
[1]Instituto Federal do Triângulo Mineiro-*Campus* Uberaba (IFTM), Uberaba, MG.
http://lattes.cnpq.br/2276441031380238
Fernanda Raghiante[2];
[2]Instituto Federal do Triângulo Mineiro-*Campus* Uberlândia (IFTM), Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/1258710253836494
Elaine Alves dos Santos[3].
[3]Instituto Federal do Triângulo Mineiro-*Campus* Uberlândia (IFTM), Uberlândia, MG.
http://lattes.cnpq.br/7870619050486209

RESUMO: A conscientização e o conhecimento de manipuladores de alimentos são de suma importância, para que não ocorra contaminações nos alimentos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do treinamento oferecido para os manipuladores do setor de hortifrúti de um hipermercado do Triângulo Mineiro, na qualidade microbiológica de alimentos e superfícies que entram em contato com os alimentos, contribuindo para melhoria dos processos do estabelecimento, bem como com a produção de alimentos seguros. Realizou-se análises microbiológicas em alimentos, bem como em superfícies de equipamentos e utensílios, coletados no hipermercado no setor de hortifrúti, para determinação das condições sanitárias antes e após treinamento oferecido aos manipuladores deste setor em especifico. A presença da *Salmonella* spp. em 100% das amostras estudadas é indicativa de contaminação presente nos alimentos deste estudo, podendo ser proveniente de adoção de hábitos higiênicos incorretos pelos manipuladores. Em relação a *E. Coli*, os resultados encontrados situaram-se dentro do limite permitido pela legislação vigente (10^2 NMP/g). Emerge a necessidade de melhoria nos aspectos de disciplina e comprometimento dos manipuladores em adotar na prática hábitos corretos de manipulação, refletindo na qualidade sanitária de utensílios utilizados na produção, prejudicando ainda a qualidade sanitária do alimento produzido e ofertado pelo estabelecimento.
PALAVRAS-CHAVE: Análises microbiológicas. Higienização. Manipuladores de alimentos.

IMPACT OF TRAINING ON THE SANITARY QUALITY OF FOOD AND SURFACES IN A HYPERMARKET IN THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION

ABSTRACT: Food handler awareness and knowledge are of paramount importance in preventing food contamination. This study aimed to evaluate the impact of training provided to produce-section handlers at a hypermarket in the Triângulo Mineiro region on the microbiological quality of food and food-contact surfaces, thereby contributing to improved

establishment processes and the production of safe food. Microbiological analyses were performed on food items as well as on equipment and utensil surfaces collected from the hypermarket's produce section to assess sanitary conditions before and after the training provided to the handlers in this specific area. The presence of *Salmonella* spp. in 100% of the samples analyzed indicates contamination in the food studied, potentially stemming from incorrect hygienic practices adopted by the handlers. Regarding *E. coli*, the results fell within the limits permitted by current legislation (10^2 MPN/g). There is a clear need to improve handler discipline and commitment regarding the practical adoption of correct handling habits; current practices affect the sanitary quality of production utensils and compromise the sanitary quality of the food produced and offered by the establishment.
KEYWORDS: Microbiological analyses. Sanitation. Food handlers.

INTRODUÇÃO

A manipulação é uma das principais causas de contaminação em alimentos, proporcionando proliferação de agentes biológicos prejudiciais à saúde, por motivos de falta ou falha no processo de assepsia do manipulador, além de circunstâncias e locais inapropriados como estruturas físicas e a falta de higienização (Medeiros; De Carvalho; Franco, 2017).

A conscientização dos colaboradores é de suma importância, para prevenir contaminações nos alimentos (Carvalho; Mori, 2017). Portanto, é fundamental o treinamento e capacitação dos manipuladores quanto à higiene e segurança alimentar, visando condições higiênico-sanitárias, de acordo com condições previstas nas legislações vigentes, oferecendo alimentos nutritivos e de boa procedência, sem riscos de doenças de origem hídrica e alimentar (DTHA) (Boaventura *et al*., 2017; Góios *et al*., 2017).

São inúmeros os fatores contribuintes para que o alimento seja considerado não seguro, como por exemplo, a má ou falta de higienização, a inadequada manipulação, equipamentos e superfícies com higienização deficiente. As higienizações inadequadas do local como superfícies utilizadas para a manipulação dos alimentos são capazes de contribuir para uma contaminação cruzada. Além disso, equipamentos e utensílios de preparação, quando não higienizados corretamente, podem contribuir para a proliferação de agentes microbiológicos patógenos e deteriorantes (Santos; Bonnas; Pinto, 2018).

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do treinamento oferecido para os manipuladores do setor de hortifrúti de um hipermercado do Triângulo Mineiro, na qualidade microbiológica de alimentos e superfícies que entram em contato com os alimentos, contribuindo para melhoria dos processos do estabelecimento, bem como com a produção de alimentos seguros.

METODOLOGIA

Treinamento de manipuladores de alimentos

Foi realizado um treinamento no estabelecimento objeto do presente estudo, caracterizado como um hipermercado localizado na região do Triângulo Mineiro, onde seu maior público-alvo se encontra no Triângulo do Norte, sendo este hipermercado o único presente na cidade específica em que foi realizado o estudo. A carga horária do treinamento foi de aproximadamente 110 minutos, em apenas um encontro, com conteúdo teórico e dinâmicas.

O conteúdo do treinamento foi baseado nas principais legislações vigentes no âmbito nacional compostas pela Resolução (RDC) nº. 275, de 21 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/ Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/ Industrializadores de Alimentos (Brasil, 2002) e pela Resolução- RDC n° 326, 30 de Julho de 1997, que dispõe sobre "Condições Higiênicos-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos" (Brasil, 1997), através da metodologia da apresentação de slides, onde aconteceu na sala de manipulação de alimentos dentro do próprio estabelecimento referido. Foi realizada uma dinâmica de higiene das mãos, onde os colaboradores colocaram luvas, foram vendados, e a partir disso, foi colocado tinta na palma da mão, em cima das luvas, como se a tinta, fosse o sabão líquido, sendo possível visualizar as falhas na de higiene das mãos, como ponta dos dedos, punhos onde não foram higienizados adequadamente.

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Microbiologia dos Alimentos, do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM, *Campus* Uberlândia.

Análises microbiológicas dos alimentos

A coleta das amostras dos alimentos foi executada antes e após o treinamento de manipuladores ofertado, enquanto estas estavam disponíveis na área de vendas do hipermercado, em temperatura ambiente. Os alimentos pesquisados foram: melancia, abóbora, mamão, melão, sendo estes escolhidos pelo risco de contaminação durante a manipulação, visto que não há área específica para a manipulação desses alimentos, sendo os mesmos manipulados na bancada de pesagem e precificação disponível na área de vendas do estabelecimento, o que justifica o fato da importância de local especifico, bem como de equipamentos e utensílios utilizados somente na produção destes. Foram coletadas 3 amostras de aproximadamente 100 gramas por tipo de alimento analisado, em duas repetições (antes e após a realização do treinamento) sendo as análises realizadas em triplicata.

As análises foram executadas conforme metodologia descrita Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água (Silva *et al*., 2021). Os microrganismos pesquisados foram: *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, indicadas para frutas e derivados, in natura, inteiras, selecionadas ou não, preparadas (inteiras, descascadas ou fracionadas), sanificadas, refrigeradas ou congeladas. Os resultados foram comparados com os limites de microrganismos estabelecidos pela IN nº 161/22 (Brasil, 2022a; 2022b) e expressos em médias das contagens detectadas.

Análises microbiológicas dos equipamentos e superfícies

Os equipamentos analisados foram: bancada, embaladeira, balança e faca de manipulação do setor de hortifrúti. Para a coleta de cada superfície citada, foram utilizados swabs estéreis, umedecidos em água peptonada 0,1%, friccionando o swab na superfície no momento da coleta, rodando-o continuamente para que toda superfície amostrada entre em contato com a amostra (Silva *et al*., 2021).

Foram coletadas 3 amostras de swabs dos equipamentos, antes e depois do treinamento de manipuladores, avaliando o impacto do treinamento ou não na qualidade sanitária destes.

Os parâmetros pesquisados nas superfícies de equipamentos e utensílios foram: Coliformes a 45°C e Microrganismos Aeróbios Mesófilos, conforme preconizado pela APHA (2001). Os limites de comparação foram acima de 10^2 UFC/cm² para aeróbios mesófilos, sendo estes valores superiores ao limite indicado indicativos de falhas nos procedimentos de higienização (Silva Jr., 2020). Para Coliformes Totais e Coliformes a 45°C, o limite preconizado é a ausência, sendo a detecção desses microrganismos em superfícies de contato com alimentos indicativa de falhas nas condições higienicossanitárias, uma vez que sua presença é considerada indesejável nesse tipo de matriz (Silva Jr., 2020).

Os resultados foram apresentados como valores médios e desvio padrão, expressos em Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por cm².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os gêneros alimentícios estudados (Tabela 1) foi detectado contaminação por *E.Coli* e *Salmonella* spp.

Tabela 1. Perfil microbiológico dos alimentos segundo cada agente bacteriológico pesquisado.

Antes do Treinamento	Salmonella spp (ausência em 25 g)*	E. Coli (10^2/NMP/g)
Mamão	Presença	< 3 x 101
Melancia	Presença	2,4 x10^1
Melão	Presença	1,5 x10^1
Abóbora	Presença	3,0 x 101

Após o treinamento	Salmonella spp (ausência em 25 g)*	E. Coli (NMP/g)
Mamão	Presença	< 3 x 101
Melancia	Presença	1,0 x 10
Melão	Presença	< 3 x 101
Abóbora	Presença	< 3 x 101

Médias das três repetições para cada gênero alimentício calculadas antes e depois do treinamento de manipuladores de alimentos.

Fonte: Os autores, (2023).

A presença da *Salmonella* spp. em 100% das amostras de mamão, melancia, melão e abóbora é indicativa de contaminação presente nos alimentos deste estudo, podendo ser proveniente de adoção de hábitos higiênicos incorretos pelos manipuladores. De acordo com a legislação brasileira (Brasil, 2022), preconiza-se ausência de *Salmonella* spp.. Foi evidenciada contaminação em todas amostras analisadas, estando as mesmas impróprias para o consumo segundo o agente bacteriológico pesquisado.

Diante dos resultados observados, faz-se necessário a adoção de boas práticas de fabricação, tendo estas como propósito discutir e expor aspectos relacionados à proliferação e contaminação destacando os sérios riscos e impactos na saúde.

Em relação a *E. Coli*, os resultados encontrados situaram-se dentro do limite permitido pela legislação vigente (10^2 NMP/g), demonstrando resultados satisfatórios.

Estudos de Zelita e colaboradores, (2020) analisaram alimentos minimamente processados comercializados em Florianópolis-SC. Os autores observaram índices relativamente baixos de contaminação por *E. Coli*. Em pesquisa microbiológica conduzida por Martins e colaboradores (2021), em hortaliças e vegetais minimamente processados comercializados em grandes redes de supermercados de Belo Horizonte- MG, os autores identificaram ausência de *Salmonella* spp. em todas as amostras analisadas, corroborando com os achados da presente pesquisa.

Entre os 10 principais agentes etiológicos envolvidos nos surtos de DTHA nos anos de 2009 a 2019, a bactéria *Escherichia Coli* representa cerca de 29% do total, seguida pela *Salmonella* e *Staphylococcus aureus*, com 17% e 16%, respectivamente, sendo estes os três principais microrganismos envolvidos em DTA's, constatado em estudos de Malacrida, Dias e Lima (2017).

Os resultados microbiológicos encontrados para as amostras de alimento analisadas para *Salmonella* spp. no presente estudo, impactam diretamente na saúde pública de consumidores do hipermercado do Triângulo do Norte, uma vez que o estabelecimento é o único presente nesta cidade, e que o patógeno detectado causa risco direto à saúde dos consumidores e são frequentemente associados a ocorrências de DTHAs. *Salmonella* spp.

foi o gênero mais identificado em surtos de doenças transmitidas por alimentos entre 2009 e 2021, com aproximadamente 39.314 casos e 34 mortes (Marques e Trindade, 2022).

De acordo com as avaliações microbiológicas realizadas para as superfícies que entraram em contato com os alimentos (equipamentos e utensílios), expressos na Tabela 2, na etapa antes do treinamento de manipuladores de alimentos, não foi evidenciada contaminação por Coliformes a 45ºC nos equipamentos. Já os microrganismos aeróbios mesófilos foram detectados na bancada e na balança, com limite superior ao preconizado pela literatura (10^2 UFC/cm²), segundo Silva Jr. (2020) indicando falhas nos processos de higienização no hipermercado.

Já na etapa após o treinamento de boas práticas, houve contaminação por Coliformes a 45°C e aeróbios mesófilos na faca, o que demonstra que o conhecimento dos manipuladores é satisfatório, mas quando se refere à prática, faz-se necessário maior dedicação e comprometimento quanto aos bons hábitos higiênico-sanitários e atendimento das legislações vigentes.

Este resultado reforça a necessidade de adoção de corretos dos procedimentos de lavagem e sanitização, e de programas de Boas Práticas de fabricação eficientes, na elaboração dos alimentos. A detecção desses grupos de microrganismos analisadas no presente estudo, em superfícies de contato com alimentos, é indicativa de falhas nas condições higiênicos-sanitárias, uma vez que sua presença é considerada indesejável nesse tipo de matriz (Silva Jr., 2020).

Tabela 2. Perfil microbiológico dos equipamentos e utensílios segundo cada agente bacteriológico pesquisado.

Antes do Treinamento	**Coliformes a 45ºC (NMP)**	**Aeróbios Mesófilos (UFC/cm²)**
Bancada	< 3,0 x 10^1	3,4 x 10^4
Balança	< 3,0 x 10^1	1,6 x 10^3
Embaladeira	< 3,0 x 10^1	< 1,0 x 10^1
Faca	< 3,0 x 10^1	< 1,0 x 10^1
Após o Treinamento	**Coliformes a 45ºC (NMP/g)**	**Aeróbios Mesófilos (UFC/cm²)**
Bancada	< 3,0 x 10^1	< 1,0 x 10^1
Balança	< 3,0 x 10^1	< 1,0 x 10^1
Embaladeira	< 3,0 x 10^1	< 1,0 x 10^1
Faca	3,9 x 10^2	8,5 x10^1

*Médias das três repetições para cada equipamento calculadas antes e depois do treinamento de manipuladores de alimentos.

Fonte: Os autores, (2023).

Segundo Andrade e Barros (2019), a presença de Coliformes a 45°C indica contaminação de origem fecal, podendo ser proveniente de hábitos inadequados referente a manipulação de alimentos, bem como a presença de mesófilos. Pode-se observar

também que na primeira etapa a presença de Coliformes a 45°C foram menores em relação a segunda etapa após o treinamento.

Segundo Pens *et al*. (2020) a presença de mesófilos pode indicar que houveram procedimentos higiênico-sanitários inadequados no momento de manipulação, e armazenamento desses, uma contagem elevada desses microrganismos pode significar que o meio e as condições para a proliferação desses agentes patógenos estavam propícios sendo capazes de se desenvolver em temperaturas de 25 a 37 °C.

Atividades de ensino foram propostas através da pesquisa realizada, buscando levar os colaboradores a conhecer e aplicar as boas práticas de produção de alimentos apresentadas nas legislações vigentes no contexto de manipulação de alimentos, bem como a importância da higiene dos equipamentos, visando ressaltar mais uma vez, a importância dos treinamentos. Pieniz e colaboradores (2019), detectaram que as condições higiênicas em Unidade de alimentação e Nutrição se encontravam inadequadas, pois foram encontrados microrganismos Aeróbios Mesófilos, Coliformes a 45°C e *Escherichia coli*, em superfície de mesas, superfícies de bancada e tábuas de corte usadas para manuseio de carne ou vegetais.

Ao avaliar as condições higiênicas em Unidades de Alimentação e Nutrição, Barbosa (2018) relatou um percentual superior a 50% de amostras fora dos padrões aceitáveis para mesófilos e coliformes a 45ºC. Esses autores descrevem em seu estudo, que tais resultados são preocupantes, visto que pode-se observar existência de falhas no processo de higienização de equipamentos e utensílios, podendo contribuir para a disseminação de microrganismos patogênicos no ambiente de preparo e, portanto, representam risco de ocorrência de surtos de doenças transmitidas por alimentos, corroborando com os achados da presente pesquisa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Emerge a necessidade de melhoria nos aspectos de disciplina e comprometimento dos manipuladores de alimentos em adotar na a prática os hábitos corretos de manipulação, o que reflete na qualidade sanitária de utensílios utilizados na produção, prejudicando ainda a qualidade sanitária do alimento produzido e ofertado pelo estabelecimento.

Como medida de ação corretiva para as não conformidades detectadas, é importante ressaltar a necessidade de maior frequência de treinamentos práticos e até mesmo dinâmicas, demonstrando na prática a presença de microrganismos e os possíveis danos que os mesmos podem causar a saúde, para que os conceitos enfocados sejam de fato aplicados pelos manipuladores e resultem em melhorias na adoção de hábitos higiênicos satisfatórios.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. F.; BARROS, D. B. Bioindicadores microbiológicos para indicação de poluição fecal. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 34, p. 1-7, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.25248/reas.e1099.2019. Acesso em: 29 de jan. de 2022.

BARBOSA, F. M. **Faça o que eu digo ou faça o que eu faço: Avaliação das Boas Práticas de Manipulação em Unidades de Alimentação e Nutrição**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/26741/1/Fa%c3%a7aqueeudigo_Barbosa_2018.pdf . Acesso em: 10 ago. 2026.

BOAVENTURA, L. T. A.; FRADES, L. P.; PINTO, B. O. S.; WEBER, M. L. Conhecimento de manipuladores de alimentos sobre higiene pessoal e boas práticas na produção de alimentos. Revista Univap, São José dos Campos, v. 23, n. 43, p. 53-62, dez. 2017.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n. 326, de 30 de julho de 1997. Aprova o regulamento técnico Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 16560-3, 1 ago. 1997. Seção I.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. de 2002. Seção I, p. 126.

Brasil. Ministério da Saúde; Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 jul. 2022a. Seção 1, p. 235.

Brasil. Ministério da Saúde; Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 724, de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 jul. 2022b. Seção 1, p. 205.

CARVALHO, S. J. E. J.; MORI, E. A importância das boas práticas de manipulação dos alimentos em restaurantes: revisão integrativa da literatura. Revista e-ciência, Juazeiro do Norte, v. 5, n. 2, p. 108-115, 2017.

GÓIOS, A.; MARTINS, M. L.; FERREIRA, L.; NUNES, A.; ROCHA, A. Conhecimentos de manipuladores de alimentos sobre segurança dos alimentos e alergias. Higiene Alimentar, São Paulo, v. 31, p. 38–44, 2017.

MARQUES, P.R.C.; TRINDADE, R.V.R. Panorama epidemiólogico dos surtos de doenças transmitidas por alimentos entre 2000 e 2021 no Brasil. Revista Multidisciplinar em Saúde, v.3, n.3, p.1-10, 20 ago.2022. DOI: https//doi.org/10.51161/rems/3477.

MARTINS, I. A.; VIEIRA, A. C.; MACHADO, J. M. S.; GREGÓRIO, E. L.; AMARAL, D. A. do. Análise microbiológica de hortaliças e vegetais minimamente processados comercializados em grandes redes de supermercados de Belo Horizonte - MG. Brazilian Journal of Health

Review, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 1172–1185, 2021. DOI: 10.34119/bjhrv4n1-104. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/23136 . Acesso em: 21 aug. 2026.

MALACRIDA A. M; DIAS V. H, C; LIMA, C. L. Perfil epidemiológico das doenças bacterianas transmitidas por alimentos no Brasil. Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública, v. 4, n. 1, p. 1158-162, 2017.

MEDEIROS, M. D. G. G. D. A.; DE CARVALHO, L. R.; FRANCO, R. M. Percepção sobre a higiene dos manipuladores de alimentos e perfil microbiológico em Restaurante Universitário. Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 22, n. 2, p. 383-392, 2017.

PENS, C. J. S.; BOTH, F. L.; DIAS, M. A.; SILVA, L. C. Avaliação da contagem de microrganismos aeróbios mesófilos em sushis de buffets de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, conforme legislação municipal vigente. Brazilian Journal of Food Research, v. 11, n. 1, p. 45-57, 2020. Disponível em: https://revistas.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/10363 . Acesso em 02 set. 2022.

PIENIZ, S.; RODRIGUES, D. F.; ARNDT, R. M.; MELLO, J. F.; RODRIGUES, K. L.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O.; BRANDELLI, A. Molecular identification and microbiological evaluation of isolates from equipment and food contact surfaces in a hospital Food and Nutrition Unit. Brazilian Journal of Biology, v. 79, n. 2, p. 191–200, 2019. https://doi.org/10.1590/1519-6984.175350.

SANTOS, E. A.; BONNAS, D. S.; DE M. C. PINTO, R. Implementation of food quality management tools in an institutional food and nutrition unit: a case study. International Food Research Journal, Selangor, v. 25, n. 4, p. 1550-1558, 2018.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.; SILVEIRA, N. Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água. Blucher, 6 ed., 2021, 601p.

ZELITA, P. M.; COSTAILHA, E.; JUNIOR, L. J. M.; PIRES, K.; PARUSSOLO, L. Análise microbiológica de alimentos minimamente processados comercializados em Florianópolis, Santa Catarina. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research –BJSCR. v. 31, n.3, p. 32-37, 2020.

CAPÍTULO 39

EFEITOS DE BACTÉRIAS LÁTICAS NO CRESCIMENTO DE *Listeria monocytogenes* E SEU POTENCIAL DE BIOPRESERVAÇÃO EM QUEIJO MINAS FRESCAL

João Mattos Brum[1];
[1]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais.
Diego Ribeiro Toledo[2];
[2]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais.
Daniel Ribeiro Freire[3];
[3]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais.
Maria Eliza Vilela Sales[4];
[4]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais.
Humberto Moreira Húngaro[5].
[5]Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais.

RESUMO: A biopreservação por bactérias ácido-láticas (BAL) e seus metabólitos constitui uma estratégia promissora para o controle de patógenos. O queijo Minas Frescal, produto de relevância socioeconômica em Minas Gerais, apresenta elevada umidade e composição nutricional que favorecem o crescimento de *Listeria monocytogenes*. O estudo avaliou o potencial bioprotetor de onze BAL, isoladas de leite cru de queijarias mineiras. As cepas foram testadas quanto atividade antagonista frente a *L. monocytogenes* ATCC 7644, atividade proteolítica e capacidade de acidificação. Os halos de antagonismo variaram de 3,5 a 5,5 mm; os halos de proteólise de 0 a 9 mm; e o pH (após 48 h) variou de 4,71 a 6,55. Quatro isolados, sem atividade proteolítica e com capacidade de acidificação limitada foram selecionados como promissores; entre eles, o isolado ITA_bac_1 foi levado a ensaio de co-cultivo com *L. monocytogenes* em Skim Milk 10%. Contudo, o co-cultivo não apresentou inibição, independentemente da concentração celular da BAL testada (3, 5 e 7 log UFC/mL). Os resultados indicam que o antagonismo *in vitro* não garante a mesma atividade na matriz láctea líquida devido ao efeito de diluição e capacidade tamponante do meio, exigindo estudos para viabilizar sua aplicação.
PALAVRAS-CHAVE: Cultura protetora. Antagonismo microbiano. Biocontrole.

EFFECTS OF LACTIC ACID BACTERIA ON THE GROWTH OF *Listeria monocytogenes* AND THEIR BIOPRESERVATION POTENTIAL IN MINAS FRESCAL

ABSTRACT: Biopreservation by lactic acid bacteria (LAB) and their metabolites constitutes a promising strategy for pathogen control. Minas Frescal cheese, a product of socioeconomic relevance in Minas Gerais, has high moisture content and a nutritional composition that favors the growth of *Listeria monocytogenes*. This study evaluated the bioprotective potential of eleven LAB isolates from raw milk collected from cheese-processing facilities in Minas

Gerais. The strains were tested for antagonistic activity against *L. monocytogenes ATCC 7644*, proteolytic activity, and acidification capacity. The inhibition halos ranged from 3.5 to 5.5 mm; proteolysis halos from 0 to 9 mm; and pH (after 48 h) ranged from 4.71 to 6.55. Four isolates, without proteolytic activity and with limited acidification capacity, were selected as promising; among them, isolate ITA_bac_1 was subjected to a co-culture assay with *L. monocytogenes* in 10% Skim Milk. However, the co-culture showed no inhibition, regardless of the initial LAB cell concentration tested (3, 5, and 7 log CFU/mL). The results indicate that in vitro antagonism does not guarantee the same activity in the liquid dairy matrix due to the dilution effect and buffering capacity of the medium, requiring further studies to enable its application.
KEYWORDS: Protective culture. Microbial antagonism. Biocontrol.

INTRODUÇÃO

A produção de queijo Minas Frescal é amplamente difundida no estado de Minas Gerais. Além de sua importância cultural, o produto representa uma fonte de renda para a agricultura familiar e para as agroindústrias locais, contribuindo para a geração de renda e apresentando potencial de retorno relativamente rápido do investimento (Embrapa, 2023; Vinha *et al.*, 2010).

A qualidade higiênico-sanitária do queijo Minas Frescal representa uma preocupação para a segurança dos consumidores. Entre os principais patógenos associados a produtos lácteos, destaca-se a *Listeria monocytogenes*, que pode persistir em ambientes de processamento de alimentos e está associada a surtos de listeriose (Carpentier; Cerf, 2011; Amato *et al.*, 2017). Diante da severidade desse risco, a legislação brasileira exige a ausência desse microrganismo em 25 g de queijos (Brasil, 2022).

A ocorrência de *L. monocytogenes* em produtos lácteos está associada a diversos fatores, que incluem tanto a composição nutricional do leite, favorável ao desenvolvimento microbiano, quanto possíveis falhas nas etapas de ordenha, processamento, armazenamento e comercialização. Além disso, sua capacidade de sobreviver sob refrigeração favorece sua persistência ao longo da cadeia produtiva e de comercialização (Barancelli *et al.*, 2011). No caso do queijo Minas Frescal, o elevado teor de umidade e o consumo sem tratamento térmico após a fabricação aumentam a preocupação com esse patógeno (Pinto *et al.*, 2011).

Diante da necessidade de estratégias eficazes para o controle de *L. monocytogenes* em alimentos, o desenvolvimento de métodos de conservação que sejam seguros e sustentáveis tem ampliado o interesse pela biopreservação de alimentos. Essa abordagem consiste na utilização de microrganismos benéficos e/ou de seus metabólitos para inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis, contribuindo para a segurança microbiológica e para o aumento da vida útil dos alimentos (Barcenilla *et al.*, 2022). Além de contribuir para a proteção do consumidor, a adoção de estratégias inovadoras de conservação pode agregar valor aos produtos e favorecer a competitividade de agroindústrias, especialmente aquelas de menor escala (Vinha *et al.*, 2010).

Nesse contexto, as bactérias ácido-láticas (BAL) destacam-se como importantes agentes de biopreservação, sendo amplamente empregadas na indústria de alimentos e reconhecidas pela capacidade de produzir diferentes compostos com atividade antimicrobiana, incluindo ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio e bacteriocinas. Entre esses compostos, as bacteriocinas constituem peptídeos antimicrobianos capazes de atuar sobre células de microrganismos sensíveis, frequentemente por meio da interação com a membrana celular e consequente comprometimento de sua integridade, apresentando potencial para aplicação na conservação de alimentos (Mu *et al*., 2024).

Assim, a avaliação de novos isolados de BAL com capacidade de inibir microrganismos patogênicos pode contribuir para a identificação de culturas com potencial de aplicação na bioproteção de produtos lácteos.

OBJETIVO

Investigar o potencial de isolados de bactérias ácido-láticas no controle do crescimento de *Listeria monocytogenes* ATCC 7644, sua atividade proteolítica e capacidade de acidificação na matriz láctea, visando identificar culturas com potencial para aplicação como agentes de bioproteção em queijo Minas Frescal.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Alimentos e Águas da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Foram utilizados 11 isolados de bactérias láticas, previamente obtidos de amostras de leite cru provenientes de regiões produtoras de queijos artesanais de Minas Gerais. Os isolados foram identificados por códigos referentes à região de origem e à morfologia celular: ITA_coco_1, ITA_coco_2, ITA_coco_3, ITA_coco_5, ITA_bac_1, ITA_bac_2, ITA_bac_3, ITA_bac_5, VERT_bac_1, VERT_bac_3 e VERT_bac_4. Além desses isolados, foram utilizados também cepas de Lacticaseibacillus rhamnosus ATCC 53103 LGG e de *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 no estudo. As bactérias láticas foram mantidas sob congelamento em meio Skim Milk 10% com 50% de glicerol, enquanto que *L. monocytogenes* foi armazenada em caldo Triptona de Soja (TSB) com 30% de glicerol.

A etapa experimental inicial consistiu na avaliação da atividade antagonista dos isolados, utilizando o método de sobrecamada (*spot-on-the-lawn*), adaptado de Macaluso *et al*. (2016). Após o cultivo dos isolados de BAL em caldo Man, Rogosa e Sharpe (MRS) a 30 °C por 48 horas, em condições de anaerobiose, alíquotas de 1 µL foram depositadas em placas de ágar MRS e incubadas a 30°C por 24 horas em anaerobiose. Após a incubação, alíquotas de 1 mL de cultura de *L. monocytogenes* ATCC 7644, cultivada *overnight*, foram adicionadas em 10 mL de ágar 0,7% de Infusão de Cérebro e Coração (BHI) e espalhados sobre as placas de MRS contendo o inóculo inicial do isolado crescido (spot). As placas foram re-incubadas a 30°C por 24 horas em condições aeróbicas para avaliar a presença de zonas de inibição ao redor das colônias das bactérias láticas. A atividade inibitória foi

quantificada medindo-se o diâmetro total dos halos de inibição formados com o auxílio de uma régua milimetrada.

Em seguida, os isolados que demonstraram atividade antagonista foram selecionados para a avaliação de características relevantes para sua potencial aplicação em Queijo Minas Frescal, incluindo a ausência de atividade proteolítica e a reduzida capacidade de acidificação. A atividade proteolítica foi verificada pela formação de halos transparentes em ágar *Skim Milk* (1% p/v) após 4 dias de incubação a 30 °C, conforme o protocolo de triagem utilizado por Onofre e Silva *et al*. (2020). A capacidade de acidificação foi testada em leite UHT integral para determinar a cinética de redução do pH, conforme descritos por Oliveira *et al.* (2024), com o pH monitorado em intervalos de 2 horas durante as primeiras 8 horas, e, posteriormente, em 24 horas e 48 horas após a inoculação.

Com base nos resultados dos ensaios de triagem, foi selecionada uma estirpe que apresentou atividade antagonista, ausência de atividade proteolítica e menor capacidade de acidificação. O ensaio de co-cultura foi realizado inoculando-se simultaneamente culturas padronizadas do isolado selecionado e do patógeno *L. monocytogenes* ATCC 7644 em caldo *Skim Milk* a 10%, nas concentrações iniciais de 3, 5 e 7 log UFC/mL de BAL A incubação foi realizada a 30 °C, e o crescimento do patógeno foi monitorado a cada 3 horas durante as primeiras 9 horas e, posteriormente, nos tempos de 24 horas e 48 horas. As contagens de *L. monocytogenes* foram determinadas pela técnica de microgotas, utilizando-se o meio seletivo Ágar Cromogênico Listeria Base (ALOA).

Todos os experimentos descritos foram realizados em duplicatas independentes e com a estirpe controle *Lacticaseibacillus rhamnosus* ATCC 53103 LGG. Os resultados obtidos para o pH, os halos de inibição (mm) e as contagens microbiológicas (log UFC/mL) foram organizados e analisados de forma descritiva, sendo expressos como média ± desvio-padrão. Para facilitar a interpretação e a comparação dos resultados, os dados foram apresentados graficamente, incluindo mapas de calor e curvas de cinética de crescimento e acidificação.

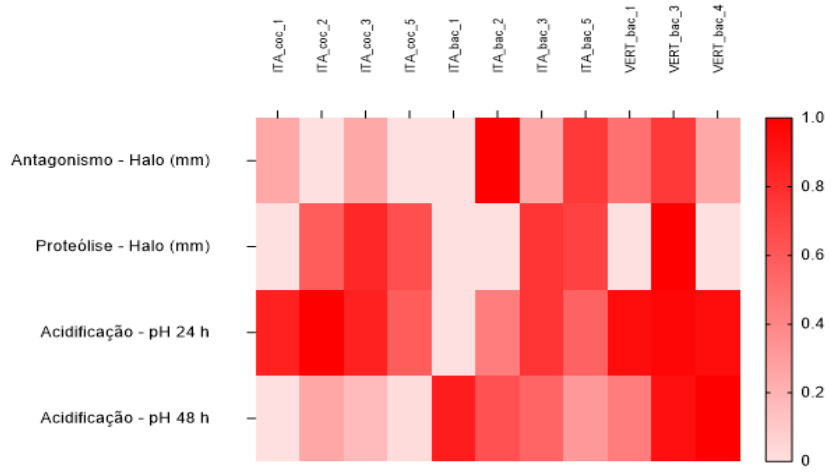
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação inicial dos isolados evidenciou variabilidade quanto à atividade antagonista contra *Listeria monocytogenes* ATCC 7644, bem como em relação à atividade proteolítica e à capacidade de acidificação (Gráfico 1). Esses resultados permitiram estabelecer um perfil promissor dos isolados e orientar a seleção para as etapas subsequentes do estudo.

Os ensaios de antagonismo revelaram halos de inibição entre 3,5 e 5,5 mm, valores semelhantes aos descritos na literatura e considerados indicativos de atividade inibitória (Macaluso *et al*., 2016). Em relação à avaliação da proteólise, os halos de atividade proteolítica variaram de 0 a 9 mm. A aplicação de culturas bioprotetoras em QMF requer culturas com baixa capacidade de acidificação e ausência de atividade proteolítica, a fim de minimizar possíveis alterações tecno-funcionais no produto. Essas características são importantes para evitar a degradação excessiva das proteínas do leite e preservar a

estrutura, a textura e as características sensoriais do queijo (Onofre e Silva *et al.*, 2020).

Gráfico 1: Mapa de calor dos resultados dos ensaios de antagonismo (halo de inibição em mm), proteólise (halo em mm) e acidificação (pH após 24 h e 48 h de incubação) dos diferentes isolados de bactérias láticas avaliadas.



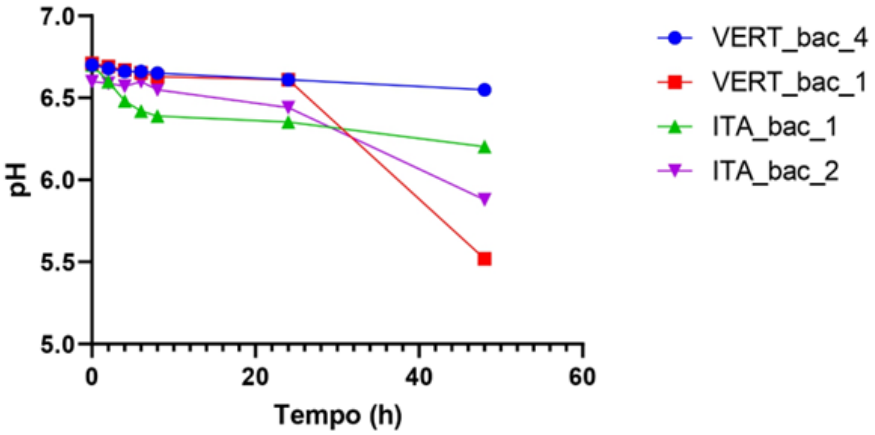
Legenda: Os dados apresentados foram normalizados em uma escala de 0 a 1. O valor máximo para os halos de inibição foi de 5,5mm e o mínimo de 3,5mm, para proteólise o maior halo foi de 9mm e o mínimo 0mm e a capacidade de acidificação teve como valor mínimo o pH de 4,71 e máximo de 6,55.

Fonte: Autores (2026).

A avaliação da acidificação demonstrou que a atividade das bactérias láticas variaram em função do tempo de incubação. Observou-se um intervalo de valores médios de pH entre 4,71 e 6,55, indicando diferenças perceptíveis na capacidade de acidificação entre as cepas. Amostras que atingiram valores inferiores a pH 5,50 dentro de 48 horas de incubação foram classificadas como de maior potencial acidificante, ao passo que aquelas que mantiveram pH acima desse limite apresentaram capacidade limitada de acidificação, conforme descrito por Oliveira *et al.*, 2024. Essa diferenciação é relevante, pois cepas com acidificação reduzida podem ser preferencialmente aplicadas em matrizes alimentares, como no queijo Minas Frescal, evitando alterações indesejáveis nas características sensoriais do produto e, ao mesmo tempo, preservando seu potencial de bioproteção para aplicação futura em matrizes alimentares.

A partir da avaliação conjunta dos resultados de antagonismo, atividade proteolítica e capacidade de acidificação, quatro isolados foram selecionados por não apresentarem atividade proteolítica e por demonstrarem baixa capacidade de acidificação (Gráfico 2).

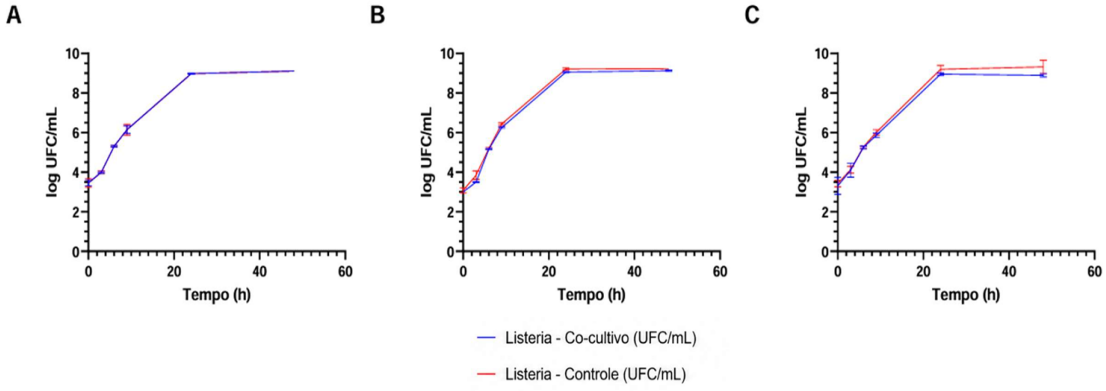
Gráfico 2: Curva de acidificação dos isolados de bactérias láticas não proteolíticos e com limitada capacidade de acidificação.



Fonte: Autores (2026).

Entre eles, o isolado ITA_bac_1 apresentou uma das menores variações de pH, com redução de 6,70 para 6,32, além de apresentar halo de inibição de 3,5 mm e ausência de atividade proteolítica. Esse conjunto de características indicou um perfil favorável para sua aplicação como cultura bioprotetora, uma vez que combina atividade antagonista com baixa capacidade de alteração das características da matriz láctea. Por esse motivo, o isolado ITA_bac_1 foi selecionado para os ensaios de co-cultura (Gráfico 3).

Gráfico 3: Curvas de crescimento do co-cultivo de bactéria lática com *Listeria monocytogenes* em três diferentes concentrações celulares de bactéria lática: 3 (A), 5 (B) e 7 (C) log UFC/mL.



Fonte: Autores (2026).

Apesar do potencial demonstrado na triagem em meio semi-sólido no experimento de antagonismo, o ensaio de co-cultivo em caldo *Skim milk* a 10% apresentou um cenário diferente. O monitoramento do crescimento não evidenciou atividade inibitória significativa do isolado ITA_bac_1 contra *L. monocytogenes* (adotando-se como critério de inibição uma redução 1,0 log UFC/mL em relação ao controle), independentemente da concentração celular testada nos inóculos (3, 5 e 7 log UFC/mL) (Gráfico 3). A ausência de inibição de crescimento no caldo *Skim milk* indica que a capacidade antagonista da cepa ITA_bac_1,

embora observada na triagem inicial em ágar, não foi suficiente para suprimir a proliferação do patógeno nas condições simuladas de incubação (35 °C durante 48 horas).

A discrepância entre a eficácia inibitória observada na triagem em meio semi-sólido (ágar) e a ausência de inibição significativa no co-cultivo em meio líquido (*Skim milk*) levanta questionamento quanto a dinâmica antimicrobiana do isolado ITA_bac_1. Na técnica de sobrecamada, os metabólitos ativos (como ácidos orgânicos e bacteriocinas) difundem-se diretamente no ágar ao redor da colônia produtora, criando um microambiente inibitório localizado que inibe o crescimento de *L. monocytogenes* (Balouiri *et al.*, 2016).

Em sistemas líquidos, por sua vez, os compostos produzidos pelas bactérias tendem a se distribuir pelo volume total do meio, o que pode reduzir sua concentração local e, consequentemente, a intensidade do efeito inibitório. A literatura já descreve a dificuldade de recuperar níveis expressivos de atividade antimicrobiana em caldos de cultivo quando comparados aos ensaios realizados em meios semi-sólidos, sendo frequentemente observados baixos rendimentos de produção de bacteriocinas em sistemas líquidos (Silva *et al*., 2018; Yap *et al.*, 2022).

Essa limitação pode ser ainda mais relevante em matrizes lácteas, como o *Skim Milk*, que apresentam elevada capacidade tamponante em decorrência de sua composição proteica, especialmente pelo conteúdo de caseínas (Salaün; Mietton; Gaucheron, 2005). A capacidade tamponante pode atenuar a redução do pH decorrente da produção de ácidos orgânicos pelas bactérias láticas, reduzindo uma das possíveis contribuições desse mecanismo para a inibição de *L. monocytogenes*. Além disso, alterações no pH podem influenciar a conformação estrutural e ativação de determinadas bacteriocinas, de modo que a manutenção de condições menos ácidas na matriz pode contribuir para a redução de sua atividade inibitória (Gálvez *et al.*, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de antagonismo *in vitro* evidenciaram que os isolados de bactérias ácido-láticas avaliados apresentam atividade inibitória frente a *Listeria monocytogenes*, indicando a capacidade desses microrganismos de produzir compostos com ação antimicrobiana e reforçando seu potencial preliminar como culturas protetoras. Vale ressaltar, contudo, que os experimentos foram conduzidos em duplicatas independentes, configurando uma base amostral restrita, e que o antagonismo *in vitro* não garante a mesma atividade em matrizes alimentares.

Além da atividade antagonista, a identificação de isolados não proteolíticos e com limitada capacidade de acidificação representa um resultado relevante do ponto de vista tecno-funcional para produtos como o queijo, uma vez que tais características favorecem a preservação das propriedades sensoriais e estruturais do queijo, ampliando as perspectivas de aplicação desses isolados em alimentos lácteos.

Embora o ensaio de co-cultivo em meio líquido não tenha evidenciado inibição significativa do patógeno nas condições avaliadas, os resultados sugerem que essa

limitação pode estar associada a fatores como a diluição dos metabólitos antimicrobianos e a forte capacidade tamponante do sistema lácteo. Para contornar esse efeito e viabilizar a aplicação industrial, torna-se essencial a novos estudos para avaliar a interação entre os isolados e a matriz láctea e compreender os fatores que podem limitar sua atividade antimicrobiana.

Abordagens como a aplicação de extratos concentrados contendo os metabólitos ativos, a otimização prévia das condições de cultivo das cepas ou a aplicação direcionada das culturas protetoras na superfície dos alimentos consistem em alternativas para minimizar a interferência da matriz e favorecer a expressão do potencial bioprotetor observado nos ensaios preliminares (Gálvez *et al.*, 2007; Barcenilla *et al.*, 2022).

Dessa forma, o potencial de aplicação desses isolados em estratégias de biopreservação de matrizes lácteas, como o queijo Minas Frescal, configura-se atualmente como uma hipótese remanescente e promissora, cuja viabilidade prática e industrial dependerá da superação dos desafios impostos pela matriz alimentar em investigações futuras.

REFERÊNCIAS

AMATO, E. *et al*. **Identification of a major *Listeria monocytogenes* outbreak clone linked to soft cheese in Northern Italy** - 2009-2011. BMC Infectious Diseases, *17*(1), 1–7, 2017. DOI: doi.org/10.1186/s12879-017-2441-6. Acesso em: 10 ago. 2026.

BALOUIRI, M. *et al*. **Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review.** Journal of Pharmaceutical Analysis, v. 6, n. 2, p. 71-79, 2016. DOI: 10.1016/j.jpha.2015.11.005. Acesso em: 13 ago. 2026.

BARANCELLI, G. V.; SILVA-CRUZ, J. V.; PORTO, E.; OLIVEIRA, C. A. F. ***Listeria monocytogenes*: ocorrência em produtos lácteos e suas implicações em saúde pública.** Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 78, n. 1, p. 155-168, 2011. DOI: 10.1590/1808-1657v78p1552011. Acesso em: 15 ago. 2026.

BARCENILLA, C.; DUCIC, M.; LÓPEZ, M.; PRIETO, M.; ÁLVAREZ-ORDÓÑEZ, A. **Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review.** Meat Science, *183*, 2022. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108661. Acesso em: 15 ago. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ed. 126, 6 jul. 2022. Acesso em: 16 ago. 2026.

CARPENTIER, B.; CERF, O. **Review - Persistence of *Listeria monocytogenes* in food industry equipment and premises**. International Journal of Food Microbiology, *145*(1), 1–8, 2011. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.005. Acesso em: 14 ago. 2026.

EMBRAPA. **Anuário Leite 2023: a força dos laticínios**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/

publicacao/1154264/anuario-leite-2023-leite-baixo-carbono. Acesso em: 15 ago. 2026.
GÁLVEZ, A.; ABRIOUEL, H.; LÓPEZ, R. L.; BEN OMAR, N. **Bacteriocin-based strategies for food biopreservation.** International Journal of Food Microbiology, v. 120, n. 1-2, p. 51-70, 2007. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.001. Acesso em: 16 ago. 2026.
MACALUSO, G. *et al*. **In vitro evaluation of bacteriocin-like inhibitory substances produced by lactic acid bacteria isolated during traditional Sicilian cheese making.** Italian Journal of Food Safety, *5*(5503), 1–6, 2016. DOI: 10.4081/ijfs.2016.5503. Acesso em: 13 ago. 2026.
MU, Yulin; ZHANG, Chengxiao; JIN, Chun-Zhi; LI, Taihua; JIN, Feng-Jie; LEE, Hyung-Gwan; JIN, Long. **Antibacterial activity and action mode of crude bacteriocin C2-1 from Ligilactobacillus salivarius C2-1 against Listeria monocytogenes CICC 21633.** LWT, v. 193, p. 115765, 2024. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115765. Acesso em: 14 ago. 2026.
OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, J.; RIGLING, M.; ZHANG, Y.; WEISS, A.; SCHMIDT, H. **Rapid acidification and off-flavor reduction of pea protein by fermentation with lactic acid bacteria and yeasts.** Foods, *13*(4), 588, 2024. DOI: 10.3390/foods13040588. Acesso em: 17 ago. 2026.
ONOFRE E SILVA, E. O.; NESPOLO, C. R.; SEHN, C. P.; PINHEIRO, F. C.; STEFANI, L. M. **Lactic acid bacteria with antimicrobial, proteolytic and lipolytic activities isolated from ovine dairy products.** Food Science and Technology, v. 40, supl. 1, p. 293–299, 2020. DOI: doi.org/10.1590/fst.11019. Acesso em: 18 ago. 2026.
PINTO, F. G. S.; SOUZA, M.; SALING, S.; MOURA, A. C. **Qualidade microbiológica de queijo Minas frescal comercializado no município de Santa Helena, PR, Brasil**. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 191-198, 2011. DOI: doi.org/10.1590/1808-1657v78p1912011. Acesso em: 16 ago. 2026.
SALAÜN, F.; MIETTON, B.; GAUCHERON, F. **Buffering capacity of dairy products**. International Dairy Journal, v. 15, n. 2, p. 95-109, 2005. DOI: 10.1016/j.idairyj.2004.06.007. Acesso em: 17 ago. 2026.
SILVA, C. C. G. da; SILVA, S. P. M.; RIBEIRO, S. C. **Application of bacteriocins and protective cultures in dairy food preservation**. Frontiers in Microbiology, v. 9, p. 594, 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00594
VINHA, M. B *et al.* **Fatores socioeconômicos da produção de queijo minas frescal em agroindústrias familiares de Viçosa, MG.** Ciência Rural, 40(9), p. 2023–2029, 2010. DOI: doi.org/10.1590/S0103-84782010005000152. Acesso em: 16 ago. 2026.
YAP, P. G.; LAI, Z. W.; TAN, J. S. **Bacteriocins from lactic acid bacteria: purification strategies and applications in food and medical industries: a review**. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, v. 11, n. 51, 2022. DOI: 10.1186/s43088-022-00227-x. Acesso em: 16 ago. 2026.

ÁREA TEMÁTICA: TECNOLOGIA E PRODUÇÃO

CAPÍTULO 40

SEGMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DE TECIDOS LIGNIFICADOS EM COLMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR POR VISÃO COMPUTACIONAL

Gabriela Ferreira Ferrari Rubio[1];
[1]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Marcela Rezende Sant' Ana Tôrres[2];
[2]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Lilian Elgalise Techio Pereira[3];
[3]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
João Paulo Rodrigues Marques[4];
[4]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Adriano Rogério Bruno Tech[5].
[5]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

RESUMO: A quantificação de tecidos lignificados em colmos de cana-de-açúcar é relevante para a caracterização anatômica da biomassa e para sua avaliação em diferentes finalidades de uso. Este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar métodos automatizados de segmentação de imagens histológicas de colmos de cana-de-açúcar, comparando dois pipelines baseados no canal de Saturação (S) do espaço HSV e no índice de Excesso de Vermelho (ExR). Secções do terço médio dos entrenós foram submetidas ao teste de Wiesner com floroglucinol, e as imagens foram obtidas em estereomicroscópio. O processamento foi realizado em Python, utilizando OpenCV e NumPy, com etapas de pré-processamento, limiarização pelo método de Otsu, operações morfológicas e quantificação automática dos pixels segmentados. Os resultados foram comparados às quantificações obtidas no ImageJ. Ambos os métodos apresentaram elevada associação linear com a referência, com coeficientes de determinação superiores a 0,99. Entretanto, o canal S superestimou sistematicamente as regiões lignificadas, com erro relativo médio de 20,2%. O ExR apresentou maior correspondência com o ImageJ, com diferenças relativas entre -2,5% e 3,1% e erro absoluto médio de 2,34%. Assim, o ExR demonstrou maior precisão e potencial para automatizar a quantificação de tecidos lignificados em imagens histológicas de cana-de-açúcar de forma objetiva e padronizada.

PALAVRAS-CHAVE: Índices cromáticos. Processamento de imagens. Saccharum spp.

AUTOMATIC SEGMENTATION OF LIGNIFIED TISSUES IN SUGARCANE STALKS USING COMPUTER VISION

ABSTRACT: The quantification of lignified tissues in sugarcane culms is relevant for the anatomical characterization of biomass and for evaluating its suitability for different uses. This study aimed to develop and evaluate automated methods for segmenting histological images of sugarcane culms by comparing two processing pipelines based on the Saturation (S) channel of the HSV color space and the Excess Red (ExR) index. Sections from the middle third of the internodes were subjected to the Wiesner test with phloroglucinol, and images were acquired using a stereomicroscope. Image processing was performed in Python using OpenCV and NumPy, including preprocessing, Otsu thresholding, morphological operations, and automatic quantification of segmented pixels. The results were compared with measurements obtained using ImageJ. Both methods showed a strong linear association with the reference, with coefficients of determination above 0.99. However, the S channel systematically overestimated lignified regions, with a mean relative error of 20.2%. ExR showed greater agreement with ImageJ, with relative differences ranging from -2.5% to 3.1% and a mean absolute error of 2.34%. Therefore, ExR demonstrated greater accuracy and potential for automating the quantification of lignified tissues in sugarcane histological images in an objective and standardized manner, while reducing dependence on manual image delimitation procedures.
KEYWORDS: Digital image processing. Color spaces. Chromatic indices.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea de destaque no agronegócio brasileiro devido à utilização como matéria-prima para a produção de açúcar, etanol, bioenergia e diferentes coprodutos. Além de suas aplicações industriais, a cana-de-açúcar também pode integrar sistemas de produção animal como recurso forrageiro, principalmente em períodos de menor disponibilidade de pastagens (EMBRAPA, 2022). Nesse contexto, além da produtividade agrícola, características anatômicas e químicas dos colmos são determinantes para a qualidade e o aproveitamento da biomassa, uma vez que a distribuição dos tecidos e a composição das paredes celulares podem influenciar tanto os processos industriais quanto sua utilização na alimentação de ruminantes (Marques *et al.*, 2021; Brienzo *et al.*, 2016).

Entre as características utilizadas para avaliar a qualidade da biomassa da planta, destacam-se a proporção e a distribuição dos tecidos parenquimáticos e esclerenquimáticos. Os tecidos parenquimáticos estão associados ao acúmulo de sacarose, enquanto os tecidos esclerenquimáticos, como as fibras, contribuem para a sustentação e a estruturação do colmo (Marques *et al.*, 2021). A distribuição e a quantidade desses tecidos podem influenciar a qualidade da biomassa e, consequentemente, sua adequação a diferentes finalidades de uso. Na alimentação de ruminantes, a maior lignificação da parede celular está associada

à menor degradabilidade da fração fibrosa, uma vez que a lignina constitui uma barreira à ação dos microrganismos ruminais (Tedeschi; Adams; Vieira, 2023).

Técnicas histológicas associadas à análise digital de imagens têm sido empregadas na caracterização de componentes da parede celular da cana-de-açúcar. Marques *et al.* (2018), por exemplo, utilizaram o software ImageJ para quantificar sinais de fluorescência relacionados ao acúmulo de celulose e arabinoxilano em tecidos da cultura. Nesse contexto, o desenvolvimento de ferramentas computacionais capazes de integrar etapas de processamento, segmentação e quantificação de imagens apresenta-se como uma estratégia para simplificar o fluxo de análise e ampliar as possibilidades de obtenção de informações quantitativas a partir de imagens microscópicas.

A visão computacional constitui uma alternativa para automatizar a análise de imagens microscópicas, permitindo a identificação e a quantificação de estruturas de interesse a partir de suas características visuais. Entre as etapas fundamentais desse processo está a segmentação de imagens, que consiste na separação dos pixels correspondentes às regiões de interesse em relação aos demais componentes da imagem (Barelli, 2019). Em análises histológicas de cana-de-açúcar, a reação com floroglucinol permite evidenciar estruturas lignificadas pela formação de tonalidades avermelhadas ou rosadas, possibilitando sua diferenciação em relação aos demais tecidos (Gallinari *et al.*, 2024; Li *et al*., 2024). Sob tal contexto, diferentes representações da informação cromática, como o canal de Saturação (S) do espaço HSV e índices baseados na predominância relativa do componente vermelho, apresentam potencial para auxiliar na distinção entre tecidos lignificados e predominantemente parenquimáticos. A comparação dessas estratégias de segmentação pode contribuir para o desenvolvimento de procedimentos automatizados e padronizados para a quantificação de tecidos em imagens histológicas de colmos de cana-de-açúcar.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar métodos automatizados de segmentação para identificação e quantificação de tecidos lignificados em imagens histológicas de colmos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), comparando dois pipelines de processamento digital de imagens baseados no canal de Saturação (S) do espaço de cor HSV e no Excesso de Vermelho Normalizado (ExR). Os resultados obtidos pelos métodos computacionais foram comparados às quantificações realizadas no software ImageJ, considerando a associação linear e as diferenças relativas entre as estimativas, com o propósito de avaliar o desempenho e a concordância dos procedimentos na quantificação das regiões de fibras lignificadas.

METODOLOGIA

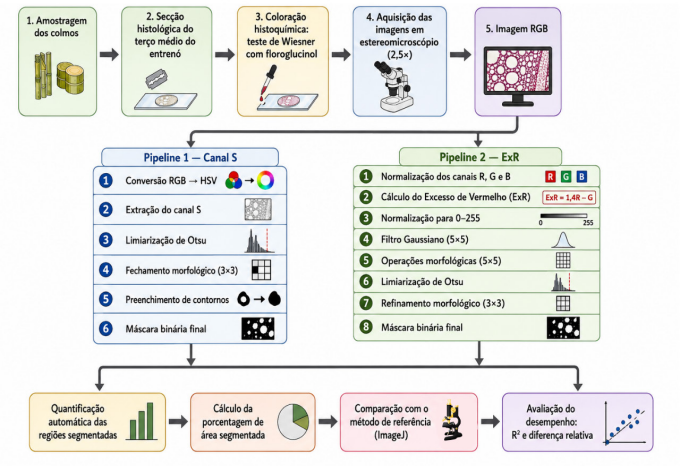
O estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e objetivos de caráter descritivo, conduzida por meio de procedimentos experimentais. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação (LTSI), da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), utilizando colmos de cana-de-açúcar da cv. 1004, disponibilizados pelo Sítio dos Ipês, localizado em Mogi Mirim, São Paulo, Brasil.

Os entrenós foram seccionados à mão livre na região do terço médio e submetidos ao teste de Wiesner, método histoquímico baseado na reação do floroglucinol em meio ácido, com tempo de reação de aproximadamente três minutos, promovendo coloração avermelhada nos tecidos lignificados e permitindo sua diferenciação em relação aos demais tecidos (Marques; Soares, 2021). Após a coloração, as secções foram dispostas sobre lâminas histológicas e as imagens foram obtidas em estereomicroscópio Belphotonics, com magnificação de 2,5x, pelo Grupo de Estudos em Botânica Aplicada (GEBAP), também vinculado à FZEA/USP.

A análise computacional foi conduzida por meio de dois procedimentos independentes de segmentação, implementados em linguagem Python. O primeiro foi baseado na extração do canal de Saturação (S) do espaço de cor HSV, empregado anteriormente para diferenciação entre tecidos lignificados e predominantemente parenquimáticos. O segundo procedimento utilizou o Excesso de Vermelho Normalizado (ExR), calculado a partir das componentes RGB da imagem, com a finalidade de realçar a resposta cromática avermelhada produzida pela reação do floroglucinol nos tecidos lignificados. Ambos os procedimentos foram aplicados às mesmas imagens, permitindo a comparação direta dos resultados obtidos.

A Figura 1 apresenta esquematicamente as principais etapas metodológicas adotadas, desde a obtenção das imagens histológicas até a geração das máscaras binárias, quantificação das regiões segmentadas e comparação dos resultados com o método de referência.

Figura 1: Fluxo metodológico para aquisição, processamento, segmentação e quantificação dos tecidos lignificados em imagens histológicas de colmos de cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Processamento computacional das imagens

O processamento das imagens histológicas foi realizado por meio de algoritmos desenvolvidos em linguagem Python, utilizando principalmente as bibliotecas OpenCV e NumPy para manipulação, transformação e segmentação das imagens. O sistema foi estruturado para permitir o processamento automatizado em lote, mantendo as imagens originais inalteradas e armazenando separadamente as imagens intermediárias, máscaras binárias e resultados quantitativos produzidos durante cada etapa. A utilização de métodos computacionais para análise e extração de características em imagens anatômicas vegetais permite transformar informações estruturais e cromáticas em dados quantitativos e subsidiar procedimentos automatizados de identificação e caracterização dos tecidos (Legland *et al.*, 2017; Hwang; Sugiyama, 2021).

Para cada imagem, foram implementados dois pipelines independentes de processamento. O primeiro utilizou o canal de Saturação (S) do espaço de cor HSV (Hue, Saturation and Value), enquanto o segundo foi baseado no Excesso de Vermelho Normalizado (ExR), calculado a partir das componentes RGB. Os dois procedimentos foram aplicados ao mesmo conjunto de imagens e resultaram na geração de máscaras binárias utilizadas para quantificação das regiões identificadas como tecidos lignificados. A utilização de diferentes representações cromáticas permite explorar propriedades específicas das imagens histológicas e aumentar a separabilidade entre tecidos que apresentam respostas distintas à coloração (Lopez-Marnet *et al.*, 2022).

Segmentação pelo canal S

No primeiro pipeline, como pré-processamento, as imagens originais, representadas no espaço de cor RGB, foram convertidas para o espaço de cor HSV, composto pelos

canais Matiz (H), Saturação (S) e o Valor (V), sendo esse último relacionado ao brilho ou à luminosidade. Esse espaço de cor permite uma maior separação entre as informações relacionadas à cor e à iluminação, favorecendo sua aplicação em procedimentos de segmentação de imagens (Barelli, 2019).

Na etapa de processamento, a imagem correspondente ao canal S foi submetida à limiarização automática pelo método de Otsu, o qual determina automaticamente o valor de limiar a partir da distribuição das intensidades dos pixels (Otsu, 1979). Como resultado, obteve-se uma máscara binária inicial, constituída por pixels pretos e brancos, utilizada como entrada para a etapa de pós-processamento.

Na etapa de pós-processamento, aplicou-se inicialmente uma operação de fechamento morfológico, utilizando um elemento estruturante (kernel) com matriz de 3x3 pixels, com o objetivo de reduzir pequenas descontinuidades e preencher lacunas presentes nas regiões segmentadas. A dimensão do elemento estruturante foi definida de forma a promover alterações localizadas na máscara binária, evitando modificações prejudiciais na geometria das estruturas de interesse, uma vez que o tamanho do kernel influencia o efeito das operações morfológicas (Lotufo, *et al.* 2023). Em seguida, foram identificados os contornos externos das regiões presentes na máscara binária e realizado o preenchimento dessas áreas, resultando na máscara binária final

Segmentação pelo Excesso de Vermelho (ExR)

No segundo pipeline, os canais vermelho (R), verde (G) e azul (B) das imagens originais foram separados e normalizados para o intervalo entre 0 e 1 por meio da divisão dos valores de intensidade por 255, valor máximo correspondente a imagens de 8 bits. Essa normalização é representada nas Equações 1, 2 e 3, em que (), () e () correspondem, respectivamente, aos canais vermelho, verde e azul normalizados (Agarwal *et al.*, 2025).

$$R_n = \frac{R_n}{255} \text{ (Eq. 1)}; \quad R_n = \frac{R_n}{255} \text{ (Eq. 2)}; \quad R_n = \frac{R_n}{255} \text{ (Eq. 3)}$$

A partir desses valores, calculou-se o índice de Excesso de Vermelho de duas vezes (ExR), definido pela Equação 4.

$$ExR = (2 \times R_n) - G_n - B_n \qquad \text{Equação 4}$$

Como o índice resultante pode assumir valores negativos e positivos, seus valores foram normalizados para o intervalo de 0 a 255, permitindo sua representação em 8 bits. Em seguida, aplicou-se um filtro Gaussiano com janela de 5x5 pixels, com o objetivo de suavizar pequenas variações locais de intensidade. Posteriormente, foram realizadas

operações morfológicas de abertura e fechamento, utilizando um elemento estruturante elíptico (kernel) de matriz 5x5 pixels, visando reduzir pequenos elementos isolados e preencher descontinuidades antes da segmentação. O emprego de suavização Gaussiana e de operações morfológicas como etapas de preparação da imagem tem sido utilizado em procedimentos recentes de segmentação de imagens vegetais (Chambingo *et al.*, 2026).

Na etapa de processamento, a imagem resultante foi submetida à limiarização global pelo método de Otsu, idêntico ao usado na segmentação pela banda S (Otsu, 1979). Como resultado, também obteve-se uma máscara binária inicial. Essa máscara binária inicial foi submetida a etapa de pós-processamento, com o intuito de ser refinada por meio de operações de abertura e de fechamento morfológico, utilizando um kernel de 3x3 pixels. A abertura foi empregada para reduzir pequenas regiões isoladas, enquanto o fechamento foi utilizado para preencher pequenas lacunas e favorecer a continuidade das regiões segmentadas, procedimentos também validado em segmentação de imagens vegetais (Chambingo *et al.*, 2026). Como resultado, obteve-se a máscara binária final utilizada para a quantificação dos tecidos.

Quantificação e validação das segmentações

A quantificação das regiões segmentadas foi realizada automaticamente a partir das máscaras binárias produzidas pelos dois pipelines. Para cada imagem, foram contabilizados o número de pixels brancos, correspondentes às regiões segmentadas, o número de pixels pretos e o número total de pixels. A proporção de área segmentada foi determinada pela Equação 5, em que representa a porcentagem da imagem classificada como região de interesse, corresponde ao número de pixels brancos da máscara e ao número total de pixels da imagem.

$$P_s = \frac{N_s}{N_t} \times 100 \qquad \text{Equação 5}$$

Os resultados, juntamente com os valores de limiar determinados pelo método de Otsu e os parâmetros utilizados durante o processamento, foram armazenados automaticamente em planilha eletrônica, no Microsoft Excel.

Para avaliação dos procedimentos computacionais, as quantificações obtidas pelo canal S e pelo ExR foram comparadas às quantificações realizadas no software ImageJ, adotadas como referência para análise comparativa. A associação linear entre os valores foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2). Adicionalmente, calculou-se a diferença relativa de cada estimativa computacional em relação ao valor obtido no ImageJ, usando a Equação 6, em que representa a diferença relativa, corresponde ao número de pixels segmentados pelo método avaliado e ao número de pixels obtido pelo ImageJ.

$$D_R = \frac{N_m - N_{ref}}{N_{ref}}$$ Equação 5

Valores positivos de indicaram superestimação, enquanto valores negativos indicaram subestimação em relação à referência. Essa análise foi utilizada conjuntamente com o R^2, uma vez que elevada associação linear entre métodos não implica necessariamente concordância entre as medidas (Bland; Altman, 1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação e o desenvolvimento de ferramentas de análise de imagens para identificação e quantificação de diferentes tecidos em imagens histológicas de plantas de interesse agrícola têm recebido crescente atenção nos últimos anos (Lopez-Marnet *et al.*, 2022). Técnicas de processamento digital de imagens e visão computacional têm demonstrado potencial para tornar as análises histológicas mais rápidas e objetivas, permitindo a automatização de procedimentos tradicionalmente realizados de forma manual. Fluxos de processamento voltados ao isolamento e quantificação de tecidos lignificados, com particular atenção aos segmentos de entrenós do colmo, em culturas como o milho (*Zea mays*) e a cana-de açúcar possibilitam a avaliação da qualidade da biomassa, através do mapeamento da organização e distribuição espacial, bem como da determinação da proporção de lignina em relação a outros tecidos, como o parênquima (Marques *et al.*, 2021). Todavia, pesquisas desenvolvidas com cana-de açúcar são incipientes.

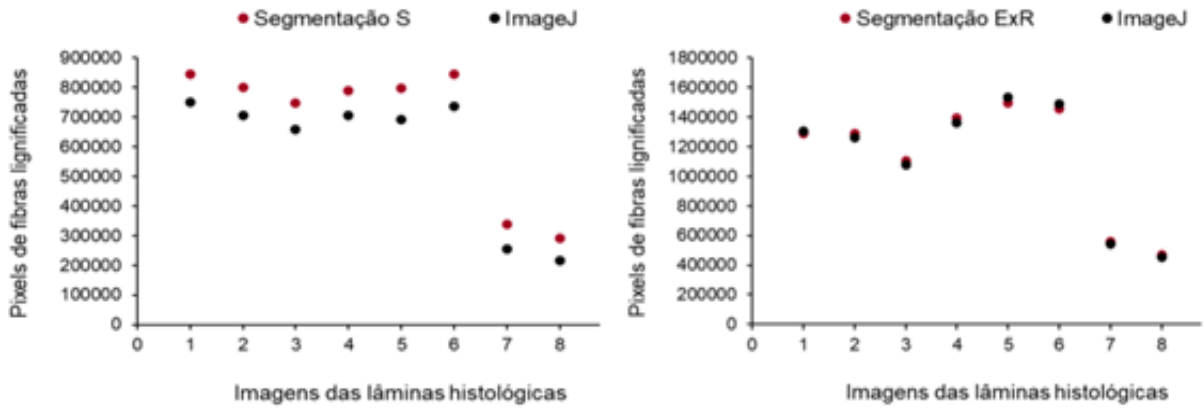
Legland *et al.* (2017), ao analisarem seções histológicas de colmos de milho, demonstraram a possibilidade de automatizar a segmentação e a quantificação de diferentes tecidos a partir de imagens de lâminas histológicas coradas com safranina. A safranina colore os tecidos lignificados de vermelho, enquanto tecidos não lignificados ou pouco lignificados aparecem em azul. Assim, as diferenças cromáticas são utilizadas como base para a identificação e distinção entre tecidos.

Todavia, os canais de cor a serem utilizados nos fluxos de processamento, bem como as etapas relativas ao pré-processamento, limiarização (ou segmentação) e pós-processamento, dependem do corante e das estruturas a serem identificadas. Lopez-Marnet *et al.* (2022) utilizaram combinações de amplitudes dos canais S e V, para identificar e segmentar tecidos externos, medula e feixes vasculares em imagens histológicas de colmos de milho. Por outro lado, Legland *et al.* (2017) realizaram a segmentação de diferentes regiões do tecido utilizando os canais H e L (luminância, do CIELab).

No presente trabalho, o floroglucinol produz uma coloração rosa-cereja ou fúcsia, sendo que a intensidade da cor varia com o grau de lignificação, o que torna possível explorar atributos relacionados à saturação, que mede a pureza ou intensidade da cor em uma imagem, e à predominância relativa do componente vermelho como critérios para a segmentação das regiões lignificadas.

O coeficiente de determinação da reta ajustada entre o número de pixels segmentados pelos métodos propostos comparativamente ao método de referência (ImageJ) foi superior a 0,99, tanto para o canal S () quanto para o . Entretanto, esse ajuste deve ser interpretado com cautela. A utilização isolada do canal S permitiu identificar as regiões de maior intensidade cromática nas imagens histológicas, resultando, todavia, em superestimativas da quantidade de pixels classificados como pertencentes aos tecidos de interesse comparativamente aos determinados pelo ImageJ em todas as amostras (Figura 2). As diferenças relativas variaram de aproximadamente 11,7% a 34,3%, com erro relativo médio de 20,2%. Isso indica que a saturação, embora seja sensível à intensidade da coloração produzida pelo floroglucinol, não é suficientemente específica para discriminar exclusivamente as regiões lignificadas.

Figura 2: Pixels associados aos tecidos lignificados em imagens histológicas (n=10) de colmos de cana-de-açúcar corados com floroglucinol, a partir da segmentação utilizando o canal S (saturação, à esquerda) ou o índice ExR (excesso de vermelho, à esquerda).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Isso decorre do fato de que regiões com elevada saturação, mas que não apresentam necessariamente a coloração rosa-cereja característica da reação do floroglucinol com a lignina, podem ser incorporadas à máscara de segmentação. Esse efeito torna-se particularmente relevante em imagens histológicas, nas quais variações relacionadas à espessura do corte, concentração do corante, condições de iluminação e aquisição da imagem podem alterar substancialmente a intensidade cromática observada.

Em contraste, a utilização do índice ExR apresentou maior correspondência com as segmentações obtidas pelo ImageJ. Considerando-se o ImageJ como referência e empregando-se o mesmo critério de cálculo do erro relativo para todas as imagens, as diferenças do ExR variaram aproximadamente entre -2,5 e 3,1%, enquanto o erro absoluto médio foi de apenas 2,34%. Além disso, todas as imagens apresentaram diferenças absolutas inferiores a 5%, evidenciando maior estabilidade do método diante da variabilidade existente entre as amostras histológicas analisadas.

O melhor desempenho do ExR pode ser explicado pela sua própria formulação,

uma vez que esse índice realça a contribuição relativa do vermelho em relação aos demais componentes da imagem. Essa característica é particularmente adequada para imagens coradas com floroglucinol, onde o ExR tende a privilegiar especificamente os pixels nos quais há predominância do componente cromático, reduzindo a inclusão de estruturas intensamente coloridas, porém não associadas ao tecido lignificado.

Assim, a utilização do ExR permitiu intensificar o contraste entre os tecidos lignificados e as demais estruturas anatômicas presentes nos segmentos de entrenós da cana. A partir dessa diferenciação, as etapas subsequentes puderam ser aplicadas sobre uma representação da imagem mais específica para o alvo de interesse, favorecendo a obtenção de máscaras com maior correspondência em relação à segmentação realizada no ImageJ.

Consequentemente, o método proposto apresenta potencial para substituir ou complementar procedimentos manuais de quantificação, especialmente quando muitas imagens histológicas necessitam ser processado. Além de reduzir o tempo necessário para a avaliação de muitas amostras, essa abordagem pode minimizar a subjetividade associada à identificação visual e à delimitação dos tecidos, favorecendo a obtenção de informações quantitativas sobre a distribuição, organização e proporção de tecidos lignificados nas estruturas vegetais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos avaliados apresentaram elevada associação com as quantificações obtidas no ImageJ. Entretanto, o índice ExR apresentou maior concordância com o método de referência, com diferenças relativas entre -2,5% e 3,1% e erro absoluto médio de 2,34%, enquanto o canal S apresentou tendência à superestimação das regiões lignificadas. Assim, nas condições avaliadas, o ExR mostrou-se mais adequado para a segmentação e quantificação automatizada de tecidos lignificados em colmos de cana-de-açúcar, apresentando potencial para tornar a análise mais objetiva, automatizada e menos dependente de procedimentos manuais.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; COLWELL, F. J.; GALVIS, V. A. C.; HILL, T. R.; BOONHAM, N.; PRASHAR, A. **Two-fold red excess (TREx): a simple and novel digital color index that enables non-invasive real-time monitoring of green-leaved as well as anthocyanin-rich crops.** Plant Methods, v. 21, art. 24, 2025. DOI: 10.1186/s13007-025-01339-y.

BARELLI, F. C. **Introdução à visão computacional: uma abordagem prática com Python e OpenCV.** São Paulo: Casa do Código, 2019.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. **Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.** The Lancet, v. 327, n. 8476, p. 307–310, 1986. DOI: 10.1016/S0140-6736(86)90837-8.

BRIENZO, M.; ABUD, Y.; FERREIRA, S.; CORRALES, R. C. N. R.; FERREIRA-LEITÃO,

V. S.; DE SOUZA, W.; SANT'ANNA, C. **Characterization of anatomy, lignin distribution, and response to pretreatments of sugarcane culm node and internode**. Industrial Crops and Products, v. 84, p. 305–313, 2016. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.01.039.

CHAMBINGO, I. F.; BERTIN, M. G.; SILUPU, W. M. C.; BAESSO, M. M.; PEREIRA, L. E. T.; TECH, A. R. B. **Leaf Image Segmentation in Urochloa Pastures: A Comparative Analysis of Preprocessing Strategies Using Smartphone Imagery.** AgriEngineering, v. 8, p. 1–20, 2026

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cana como forragem.** 2022. Conteúdo atualizado em 21 fev. 2022. Acesso em: 26 abr. 2026.

GALLINARI, R. H.; LYCZAKOWSKI, J. J.; LLERENA, J. P. P.; MAYER, J. L. S.; RABELO, S. C.; TEIXEIRA, M. M.; DUPREE, P.; ARAUJO, P. **Silencing ScGUX2 reduces xylan glucuronidation and improves biomass saccharification in sugarcane.** Plant Biotechnology Journal, v. 22, p. 587–601, 2024. DOI: 10.1111/pbi.14207.

HWANG, S.-W.; SUGIYAMA, J. **Computer vision-based wood identification and its expansion and contribution potentials in wood science: a review.** Plant Methods, v. 17, art. 47, 2021. DOI: 10.1186/s13007-021-00746-1.

LI, X.; LIU, Z.; WU, H.; YU, Z.; MENG, J.; ZHAO, H.; DENG, X.; SU, Y.; CHEN, B.; LI, R. **Four sugarcane ScDIR genes contribute to lignin biosynthesis and disease resistance to Sporisorium scitamineum.** Phytopathology Research, v. 6, art. 17, 2024. DOI: 10.1186/s42483-024-00237-w.

LEGLAND, D.; EL-HAGE, F.; MÉCHIN, V.; REYMOND, M. **Histological quantification of maize stem sections from FASGA-stained images.** Plant Methods, v. 13, art. 84, 2017. DOI: 10.1186/s13007-017-0225-z.

LOPEZ-MARNET, P.-L.; GUILLAUME, S.; MÉCHIN, V.; REYMOND, M. **A robust and efficient automatic method to segment maize FASGA stained stem cross section images to accurately quantify histological profile.** Plant Methods, v. 18, art. 125, 2022. DOI: 10.1186/s13007-022-00957-0.

LOTUFO, R. A.; AUDIGIER, R.; SAÚDE, A. V.; MACHADO, R. C. **Morphological Image Processing**. Microscope Image Processing. Elsevier Inc., 2023. p. 75-117. DOI: 10.1016/B978-0-12-821049-9.00012-5.

MARQUES, J. P. R.; AFERRI, G.; MONTANHA, G. S.; GUEDES, F. T. P.; SOARES, M. M.; MUNIZ, L. F.; TOMAZELLO-FILHO, M.; XAVIER, M. A.; DE CARVALHO, H. W. P. **Sugarcane as a forage plant: structural and chemical traits that affect fiber quality.** BioResources, v. 16, n. 4, p. 7623–7634, 2021. DOI: 10.15376/biores.16.4.7623-7634.

MARQUES, J. P. R.; HOY, J. W.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; VIVEROS, A. F. G.; VIEIRA, M. L. C.; BAISAKH, N. **Sugarcane cell wall-associated defense responses to infection by Sporisorium scitamineum.** Frontiers in Plant Science, v. 9, art. 698, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.00698.

MARQUES, J. P. R.; SOARES, M. K. M. **Manual de técnicas aplicadas à histopatologia vegetal.** Piracicaba: FEALQ, 2021.

TEDESCHI, L. O.; ADAMS, J. M.; VIEIRA, R. A. M. **Forages and Pastures Symposium: revisiting mechanisms, methods, and models for altering forage cell wall utilization for ruminants.** Journal of Animal Science, v. 101, p. 1–21, 2023. DOI: 10.1093/jas/skad009

OTSU, N. **A threshold selection method from gray-level histograms.** IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. 9, n. 1, p. 62–66, 1979. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.

CAPÍTULO 41

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TÉCNICA PRELIMINAR DE UM DISPOSITIVO PROGRAMÁVEL PARA MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES

Tiago Dominguez Rodriguez[1];
[1]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Nayanne Sant Clair Cardoso da Silva[2];
[2]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
João Marcos Ferrari Rubio[3];
[3]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Marcela Rezende Sant' Ana Tôrres[4];
[4]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
Adriano Rogério Bruno Tech[5].
[5]Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

RESUMO: A automação do manejo alimentar pode contribuir para aumentar a regularidade do fornecimento de ração e reduzir a dependência da intervenção contínua do operador em sistemas aquícolas. Nesse contexto, o presente trabalho desenvolveu e realizou uma avaliação técnica preliminar de um alimentador automático para peixes destinado a sistemas de aquaponia, utilizando microcontrolador ESP32, interface web e componentes produzidos por fabricação digital. O sistema foi programado para calcular a quantidade de ração a partir do peso médio dos peixes e da porcentagem de alimentação definida pelo usuário, permitindo configurar remotamente os horários e a frequência de arraçoamento. A avaliação incluiu testes de bancada, calibração preliminar do mecanismo de liberação da ração e operação em condições reais em um sistema de aquaponia. O protótipo demonstrou viabilidade funcional para o fornecimento programado de alimento, enquanto os testes em ambiente real permitiram identificar limitações relacionadas à estabilidade estrutural e às interrupções no fornecimento de energia. Os resultados caracterizam uma avaliação técnica preliminar e indicam a necessidade de ensaios adicionais para determinar a precisão e a repetibilidade da dosagem, além do aprimoramento da estrutura e da implementação de mecanismos de contingência energética e armazenamento das configurações.
PALAVRAS-CHAVE: Aquaponia. Automação. Alimentador automático.

DEVELOPMENT AND PRELIMINARY TECHNICAL EVALUATION OF A PROGRAMMABLE DEVICE FOR FISH FEEDING MANAGEMENT

ABSTRACT: Automation of feeding management can contribute to improving feed delivery regularity and reducing dependence on continuous operator intervention in aquaculture systems. In this context, this study developed and conducted a preliminary technical evaluation of an automatic fish feeder designed for aquaponic systems, using an ESP32 microcontroller, a web interface, and digitally fabricated components. The system was programmed to calculate the amount of feed based on the average fish weight and the feeding percentage defined by the user, allowing remote configuration of feeding schedules and frequency. The evaluation included bench tests, preliminary calibration of the feed-release mechanism, and operation under real conditions in an aquaponic system. The prototype demonstrated functional feasibility for programmed feed delivery, while testing under real operating conditions revealed limitations related to structural stability and power supply interruptions. The results characterize a preliminary technical evaluation and indicate the need for additional tests to determine dosing accuracy and repeatability, as well as structural improvements and the implementation of backup power mechanisms and configuration storage.

KEYWORDS: Aquaponics. Automation. Automatic fish feeder.

INTRODUÇÃO

A aquicultura tem apresentado expressivo desenvolvimento nas últimas décadas e desempenha papel relevante na produção de alimentos. No Brasil, a atividade possui elevado potencial produtivo, embora sua expansão sustentável ainda dependa do aperfeiçoamento das tecnologias, do manejo e da eficiência dos sistemas de produção (Valenti *et al.*, 2021). Em sistemas intensivos de piscicultura, o uso de rações e as elevadas densidades de estocagem podem aumentar a geração de resíduos e a liberação de nutrientes, tornando essenciais o manejo alimentar e o controle da qualidade da água (Cyrino *et al.*, 2010).

A aquaponia integra a criação de organismos aquáticos ao cultivo hidropônico de vegetais em sistemas com recirculação de água (Dutta *et al.*, 2025; Love *et al.*, 2015; Sátiro *et al.*, 2018). Nesse processo, compostos nitrogenados provenientes dos peixes e da matéria orgânica são convertidos pela atividade microbiana em formas assimiláveis pelas plantas, contribuindo para a qualidade da água e a redução de efluentes (Sátiro *et al.*, 2018). Essa integração favorece o uso eficiente da água e dos nutrientes, conferindo potencial sustentável ao sistema.

O manejo alimentar é fundamental para o equilíbrio dos sistemas aquapônicos, pois a quantidade e a composição da ração influenciam o desempenho dos peixes, a produção de resíduos e a qualidade da água (Cyrino *et al.*, 2010). O fornecimento inadequado pode causar subalimentação ou excesso de alimento, tornando importantes o controle da quantidade, frequência e horários de arraçoamento. Nesse contexto, a automação pode

aumentar a regularidade do manejo, reduzir a dependência do operador e ampliar o controle dos parâmetros de alimentação (Dutta *et al.*, 2025).

A aplicação de tecnologias de automação e comunicação na aquicultura permite integrar dispositivos eletrônicos, interfaces digitais e mecanismos de controle às operações de manejo, favorecendo o acompanhamento e a execução programada das atividades produtivas (Biazi; Marques, 2023). Microcontroladores e redes de comunicação podem ser empregados para transmitir informações e controlar equipamentos de forma remota ou automatizada (Vo *et al.*, 2021). Nesse contexto, a utilização do microcontrolador ESP32 associada a uma interface web e à fabricação digital possibilita o desenvolvimento de alimentadores programáveis e personalizáveis, capazes de controlar horários, frequência e quantidade de ração. Essa abordagem apresenta potencial para reduzir a dependência da presença contínua do operador e ampliar a aplicação da automação em sistemas aquícolas de diferentes escalas.

OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e realizar uma avaliação técnica preliminar de um alimentador automático para peixes destinado a sistemas de aquaponia, utilizando o microcontrolador ESP32, interface web e componentes produzidos por fabricação digital.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Desenvolver e integrar os componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais do alimentador;
- Realizar a calibração preliminar do mecanismo de liberação da ração;
- Avaliar o funcionamento do protótipo em bancada e em condições reais de operação;
- Identificar limitações estruturais e operacionais para o aprimoramento do equipamento.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema e do alimentador automático foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação (LTSI), vinculado à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP).

O projeto mecânico do alimentador foi desenvolvido no software Autodesk Fusion 360, no qual foram modeladas a estrutura principal, o suporte do servomotor, a comporta de liberação da ração e a tampa de proteção. As peças foram projetadas com foco na modularidade, facilidade de montagem e adaptação a diferentes sistemas de aquaponia. Posteriormente, os modelos tridimensionais foram exportados em formato *.stl*, processados no software Ultimaker Cura e convertidos para *.gcode* para fabricação por impressão 3D na impressora GTMax3D A1V2, utilizando filamento ABS, selecionado em função de sua resistência mecânica e térmica.

O sistema eletrônico foi desenvolvido utilizando um microcontrolador ESP32, responsável pelo gerenciamento das funções do alimentador e pela comunicação via Wi-Fi, possibilitando a configuração e o monitoramento do sistema por meio de uma interface web embarcada (Espressif Systems, 2025). O mecanismo de liberação da ração foi acionado por um servomotor MG995, alimentado por uma fonte de 5 V, valor que se encontra dentro da faixa de tensão de operação recomendada para o dispositivo (TowerPro, 2019).

A lógica de controle foi implementada na plataforma Arduino IDE utilizando linguagem C/C++ (Banzi; Shiloh, 2022). O sistema foi programado para calcular a quantidade de ração com base no peso médio dos peixes e na porcentagem de alimentação definida pelo usuário, além de permitir o cadastro de espécies e a configuração dos horários e da frequência de arraçoamento. Essas funções são gerenciadas remotamente por meio de uma interface web hospedada no ESP32 e acessível, via rede local, por computadores ou dispositivos móveis.

A avaliação técnica preliminar do protótipo foi realizada por meio de testes de bancada e em condições reais de operação em um sistema de aquaponia. Em bancada, foram verificados o acionamento do servomotor, a comunicação entre a interface web e o controlador e o funcionamento do mecanismo de liberação da ração. Também foi realizada uma calibração preliminar para relacionar o tempo de acionamento do servomotor à quantidade de alimento liberada. Posteriormente, o equipamento foi instalado no sistema de aquaponia, onde foram observados seu funcionamento, estabilidade estrutural e limitações operacionais sob condições ambientais reais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema desenvolvido possibilitou a automatização do fornecimento de ração por meio de uma interface web hospedada no microcontrolador ESP32 e acessível por navegador em dispositivos conectados à rede local (Figura 1). A interface permitiu cadastrar a espécie e a quantidade de peixes, informar o peso médio do lote e a porcentagem de alimentação, programar os horários e a frequência diária de arraçoamento e realizar o acionamento manual do mecanismo quando necessário. A partir das informações inseridas pelo usuário, o sistema calculou a quantidade prevista de alimento e comandou o servomotor responsável pela abertura do mecanismo de liberação.

Nesse contexto, o protótipo desenvolvido caracteriza-se como uma solução de automação programável, capaz de controlar parâmetros do manejo alimentar e reduzir a dependência da presença contínua do operador. Ressalta-se, entretanto, que o sistema não realiza tomada autônoma de decisão, uma vez que os parâmetros de alimentação são previamente definidos pelo usuário.

Figura 1: Interface web desenvolvida para configuração e gerenciamento remoto do alimentador automático.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

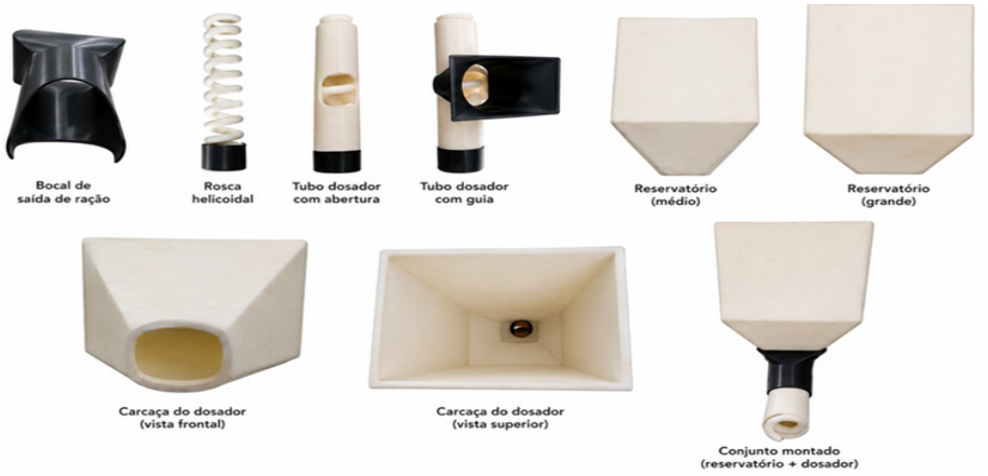
A modelagem tridimensional dos componentes mecânicos resultou em um projeto digital composto pela estrutura principal do alimentador, pelo suporte do servomotor, pela comporta de liberação da ração e pela tampa de proteção (Figura 2). A etapa de modelagem permitiu avaliar previamente a disposição dos componentes e a compatibilidade entre os encaixes, além de facilitar alterações dimensionais antes da fabricação. Esse procedimento contribuiu para o desenvolvimento modular do equipamento e reduziu a necessidade de modificações diretamente nas peças físicas.

Após a modelagem, os componentes foram fabricados por impressão 3D com filamento ABS e utilizados na montagem do protótipo (Figura 3), apresentando compatibilidade dimensional adequada entre a estrutura mecânica, o reservatório de ração e o servomotor. A fabricação digital possibilitou a produção e adaptação de componentes durante o desenvolvimento, aspecto relevante diante das diferentes condições dos sistemas aquícolas. Valenti *et al.* (2021) destacam que inovações tecnológicas simples podem contribuir para a produtividade e a sustentabilidade da aquicultura brasileira. Nesse contexto, a fabricação digital apresenta potencial para o desenvolvimento de equipamentos adaptáveis, embora a viabilidade econômica do protótipo ainda dependa da avaliação dos custos de fabricação, montagem, operação e manutenção.

Figura 2: Projeto tridimensional dos componentes do alimentador automático desenvolvido no software Autodesk Fusion 360.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

Figura 3: Componentes do alimentador automático produzidos por impressão 3D e utilizados na montagem do protótipo.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Nos testes iniciais de bancada, verificaram-se o acionamento do servomotor, a comunicação entre a interface web e o controlador e o funcionamento do mecanismo de liberação da ração. Para a calibração preliminar, utilizou-se ração com granulometria de 2 mm, destinada à alimentação de lambaris (*Astyanax altiparanae*), espécie adotada como modelo experimental. O acionamento do servomotor durante 10 segundos resultou na liberação de aproximadamente 5 g de ração, estabelecendo uma referência inicial entre o tempo de abertura do mecanismo e a massa de alimento fornecida.

Esse resultado demonstrou a capacidade funcional do mecanismo para liberar uma quantidade programada de alimento. Entretanto, a relação observada deve ser considerada uma referência operacional preliminar, não sendo suficiente para determinar a precisão e a repetibilidade do sistema. Fatores como granulometria, densidade e formato dos pellets,

nível de preenchimento do reservatório, umidade e geometria da abertura podem influenciar o fluxo da ração. Dessa forma, a caracterização quantitativa do mecanismo requer ensaios adicionais, com maior número de repetições, diferentes tempos de acionamento e medidas de dispersão, como desvio-padrão e coeficiente de variação.

A calibração do mecanismo é relevante, pois a quantidade de ração fornecida influencia tanto o desempenho dos peixes quanto a disponibilidade de nutrientes no sistema aquapônico (Sátiro *et al.*, 2018). O fornecimento excessivo pode aumentar o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na água, comprometendo sua qualidade (Cyrino *et al.*, 2010). Assim, o controle programado da alimentação constitui uma característica importante do protótipo, embora seus efeitos sobre a redução de desperdícios e a qualidade da água ainda necessitem de avaliação.

Após os testes de bancada, o protótipo foi instalado em um sistema de aquaponia, onde permaneceu em funcionamento por período superior a 30 dias. A avaliação em condições reais permitiu identificar limitações que não haviam sido observadas em ambiente laboratorial. A estrutura inicialmente produzida apresentou instabilidade diante da ação do vento e da exposição às intempéries, ocasionando deslocamentos e comprometendo a fixação do equipamento (Figura 4).

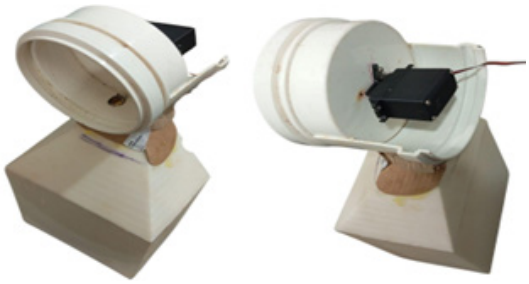
Figura 4: Protótipo instalado no sistema de aquaponia evidenciando a instabilidade estrutural durante os testes em ambiente real.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A partir dessa observação, parte dos componentes inicialmente produzidos por impressão 3D foi substituída por estruturas confeccionadas em PVC reciclado, resultando em uma configuração mais robusta e com maior estabilidade no local de instalação (Figura 5). Essa modificação evidenciou que o desempenho do alimentador não depende apenas do funcionamento dos componentes eletrônicos e computacionais, mas também da adequação mecânica e da resistência dos materiais às condições ambientais de operação.

A seleção dos materiais deve considerar condições ambientais como umidade, radiação solar, variações de temperatura e vento, fatores relevantes para o desempenho de sistemas automatizados (Dutta et al., 2025). Nesse contexto, a impressão 3D mostrou-se adequada à prototipagem, enquanto o PVC reciclado apresentou maior estabilidade nas condições observadas, indicando a possibilidade de uso complementar desses materiais conforme a função estrutural dos componentes.

Figura 5: Versão otimizada do protótipo após a substituição de componentes por estruturas em PVC reciclado.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Durante a operação em condições reais, foi identificada uma limitação relacionada às interrupções no fornecimento de energia elétrica. Após o restabelecimento da energia e a reinicialização do controlador, ocorria uma nova liberação de ração, independentemente do horário previamente programado, o que poderia resultar no fornecimento de alimento em quantidade superior à prevista (Figura 6). Essa ocorrência evidenciou a necessidade de considerar, além do funcionamento mecânico do alimentador, o comportamento do sistema durante eventos de reinicialização.

Para corrigir essa falha, a lógica de programação foi modificada para que o sistema verificasse o horário atual antes de executar o comando de alimentação, evitando o acionamento indevido após a reinicialização. Entretanto, quando o fornecimento de energia era restabelecido após o horário programado, a alimentação correspondente não era recuperada automaticamente, sendo realizada apenas no ciclo seguinte. Dessa forma, a modificação evitou a duplicação da alimentação, mas não solucionou completamente os efeitos das interrupções de energia sobre a continuidade do manejo. A solução implementada, portanto, evitou a duplicação da dose, mas não eliminou completamente a possibilidade de falhas no fornecimento.

Figura 6: Comportamento do protótipo após interrupção do fornecimento de energia.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A dependência energética constitui uma limitação dos sistemas aquapônicos automatizados, pois interrupções no fornecimento de energia podem comprometer processos essenciais do cultivo (Sátiro *et al.*, 2018). Dutta *et al.* (2025) também destacam a dependência tecnológica e energética em sistemas baseados em IoT. No protótipo desenvolvido, essa limitação evidenciou a necessidade de mecanismos de contingência, como alimentação ininterrupta, relógio de tempo real com bateria e armazenamento persistente dos eventos de alimentação.

De forma geral, os resultados demonstraram a viabilidade funcional do protótipo para programar e executar o fornecimento de ração em um sistema de aquaponia. A integração entre o ESP32, a interface web, o servomotor e os componentes estruturais possibilitou o gerenciamento remoto dos parâmetros de alimentação e o funcionamento programado do mecanismo. Esses resultados estão de acordo com aplicações descritas por Vo *et al.* (2021) e Biazi e Marques (2023), nas quais dispositivos eletrônicos, sistemas embarcados e interfaces computacionais são integrados à automação de operações aquícolas.

Entretanto, a avaliação em condições reais demonstrou que o funcionamento do equipamento depende da integração adequada entre os componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais. A instabilidade estrutural inicialmente observada e os efeitos das interrupções no fornecimento de energia evidenciaram limitações que não haviam sido identificadas nos testes de bancada, reforçando a importância da avaliação do protótipo sob condições reais de operação.

O controle programável da alimentação apresenta potencial para aumentar a regularidade dos horários e das quantidades fornecidas. Contudo, os resultados obtidos não permitem determinar seus efeitos sobre o desperdício de ração, o desempenho zootécnico dos peixes ou a qualidade da água. Essas respostas exigem avaliações específicas envolvendo consumo e sobras de alimento, desempenho dos animais e parâmetros de qualidade da água. Portanto, os resultados deste estudo devem ser compreendidos como uma avaliação técnica preliminar do protótipo, que demonstrou sua capacidade funcional e permitiu identificar limitações e aspectos prioritários para seu aprimoramento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do alimentador automático resultou em um protótipo capaz de integrar microcontrolador ESP32, interface web e mecanismo de liberação de ração para automatizar o manejo alimentar em sistemas de aquaponia. A avaliação técnica preliminar demonstrou a viabilidade funcional do equipamento para programar e executar o fornecimento de alimento, enquanto sua utilização em condições reais permitiu identificar limitações estruturais e operacionais relacionadas à exposição ambiental e às interrupções no fornecimento de energia.

Os resultados obtidos permitiram orientar modificações no protótipo e identificar aspectos prioritários para seu aprimoramento. Estudos futuros deverão incluir ensaios quantitativos de precisão e repetibilidade da dosagem, diferentes granulometrias e

quantidades de ração, além da avaliação do desempenho zootécnico, das sobras alimentares e da qualidade da água. Também se recomenda aprimorar a resistência estrutural do equipamento e incorporar mecanismos de alimentação elétrica ininterrupta e armazenamento das configurações e dos eventos de alimentação.

REFERÊNCIAS

BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting Started with Arduino.** 4. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

BIAZI, Vitorino; MARQUES, Carlos. **Industry 4.0-based smart systems in aquaculture: a comprehensive review.** Aquacultural Engineering, v. 103, 102360, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102360.

CYRINO, José Eurico Possebon *et al.* **A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, p. 68-87, 2010.

DUTTA, Monica *et al.* **Internet of Things-Based Smart Precision Farming in Soilless Agriculture: opportunities and challenges for global food security.** IEEE Access, v. 13, 2025. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3540317.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Series Datasheet. Version 5.2. Shanghai: Espressif Systems**, 2025. Disponível em: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.html

LOVE, David C. *et al.* **Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey.** Aquaculture, v. 435, p. 67-74, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023.

SÁTIRO, Thaise Mota *et al.* **Aquaponia: sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável.** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018.

TOWERPRO. MG995 **High Speed and High Torque Servo Motor: Datasheet.** Shenzhen: TowerPro, 2019. Disponível em: https://towerpro.com.tw/product/mg995-robot-servo-180-rotation/

VALENTI, Wagner C. *et al.***Aquaculture in Brazil: past, present and future.** Aquaculture Reports, v. 19, 100611, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611.

VO, Thi Thu Em *et al.* **Overview of Smart Aquaculture System: focusing on applications of machine learning and computer vision**. Electronics, v. 10, 2882, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics10222882.

CAPÍTULO 42

MONITORAMENTO DA RESPOSTA DO CAPIM-MULATO II AO NITROGÊNIO POR IMAGENS RGB E MODELAGEM PREDITIVA

Gabriel Alecsander Aparecido Leite[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/3329609119004461
Isabel Felizardo Chambingo[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2218141957764650
Ronilson Martins Silva[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2905929579262261
Matheus de Godoi Bertin[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0408257540774009
Fernanda de Fátima da Silva Devechio[5];
[5]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2167811056562057
Lilian Elgalise Techio Pereira[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/6228828702565216
Adriano Rogério Bruno Tech[7].
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8768632680429517

RESUMO: O presente estudo avaliou o potencial de imagens RGB obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) para caracterizar a resposta espectral do Capim-Mulato II submetido a diferentes doses de nitrogênio. O experimento foi conduzido em 16 parcelas submetidas aos tratamentos N0, N20, N40 e N60, correspondentes às doses de 0, 20, 40 e 60 kg N ha^{-1}, respectivamente. Foram realizados 40 voos ao longo de dois ciclos experimentais, com aquisição das imagens no pré-corte da forrageira. O processamento computacional permitiu a extração dos índices ExG, GLI, VARI e NGRDI e a aplicação de análises estatísticas e modelos preditivos. VARI e NGRDI apresentaram as maiores correlações com as doses aplicadas. Entre os modelos avaliados, ElasticNet apresentou o maior R^2 (0,8016), enquanto Lasso apresentou os menores valores de RMSE (8,4456 kg ha^{-1}) e MAE (6,1307 kg ha^{-1}). Os resultados demonstram o potencial das imagens RGB para caracterizar diferenças na resposta espectral da forrageira e estimar a dose associada aos tratamentos experimentais, embora sejam necessárias validações independentes para ampliar a capacidade de generalização dos modelos.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Índices de vegetação. Adubação nitrogenada.

MONITORING MULATO II GRASS RESPONSE TO NITROGEN USING RGB IMAGERY AND PREDICTIVE MODELING

ABSTRACT: This study evaluated the potential of RGB images acquired by a Remotely Piloted Aircraft (RPA) to characterize the spectral response of Mulato II grass subjected to different nitrogen rates. The experiment was conducted in 16 plots subjected to N0, N20, N40, and N60 treatments, corresponding to 0, 20, 40, and 60 kg N ha^{-1}, respectively. Forty flights were conducted over two experimental cycles, with images acquired during the pre-cutting stage. Computational processing enabled the extraction of ExG, GLI, VARI, and NGRDI vegetation indices and the application of statistical analyses and predictive models. VARI and NGRDI showed the highest correlations with the applied nitrogen rates. Among the evaluated models, ElasticNet presented the highest R^2 (0.8016), whereas Lasso showed the lowest RMSE (8.4456 kg ha^{-1}) and MAE (6.1307 kg ha^{-1}). The results demonstrate the potential of RGB imagery to characterize differences in forage spectral response and estimate nitrogen rates associated with the experimental treatments, although independent validation is required to improve the generalization capacity of the models.
KEYWORDS: Remote sensing. Vegetation indices. Nitrogen fertilization.

INTRODUÇÃO

A produção pecuária brasileira está fortemente associada ao uso de pastagens, cuja produtividade e sustentabilidade dependem, entre outros fatores, do manejo adequado dos nutrientes. Nesse contexto, o nitrogênio desempenha papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das gramíneas forrageiras (Dias-Filho, 2014; Dias-Filho, 2023).

Entre as forrageiras tropicais, o Capim-Mulato II (*Urochloa* híbrida) destaca-se pela qualidade nutricional, capacidade de rebrota e adaptação às condições tropicais, características que favorecem sua utilização em sistemas de produção animal (Argel et al., 2007). Entretanto, sua resposta à disponibilidade de nutrientes pode variar, tornando relevante o desenvolvimento de métodos rápidos e não destrutivos para o monitoramento da vegetação.

A avaliação das pastagens pode envolver métodos de campo que demandam coleta de material vegetal, mão de obra e tempo para processamento das amostras. Embora forneçam informações importantes, essas abordagens podem limitar avaliações frequentes e espacialmente abrangentes, favorecendo o emprego de métodos não destrutivos e de sensoriamento remoto (Fernandes et al., 2023).

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) ampliou a aquisição de imagens de alta resolução espacial para o monitoramento agrícola. Associadas ao processamento digital, imagens RGB permitem extrair atributos relacionados às características e ao vigor da vegetação (Jorge et al., 2011; Olson; Anderson, 2021; Santos et al., 2024).

Entre os atributos derivados de imagens RGB, destacam-se índices de vegetação como ExG, GLI, VARI e NGRDI, obtidos por diferentes combinações dos canais vermelho, verde e azul e utilizados para caracterizar variações na resposta da vegetação (Woebbecke et al., 1995; Louhaichi et al., 2001; Gitelson et al., 2002; Tucker, 1979).

A integração desses índices com métodos estatísticos e modelos preditivos permite investigar associações entre a resposta espectral da vegetação e variáveis agronômicas, ampliando as possibilidades de monitoramento de sistemas produtivos.

Diante desse contexto, torna-se relevante avaliar se índices de vegetação derivados de imagens RGB são capazes de caracterizar diferenças na resposta espectral do Capim-Mulato II submetido a diferentes doses de nitrogênio e se esses atributos apresentam potencial para estimar os tratamentos nitrogenados nas condições experimentais avaliadas.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de imagens RGB obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada, associadas ao processamento digital e à extração de índices de vegetação, para caracterizar a resposta espectral do Capim-Mulato II submetido a diferentes classes de adubação nitrogenada.

Especificamente, buscou-se: (i) extrair os índices ExG, GLI, VARI e NGRDI das imagens RGB; (ii) avaliar a resposta desses índices às classes N0, N20, N40 e N60, correspondentes às doses de 0, 20, 40 e 60 kg N ha^{-1}; (iii) analisar a associação entre os índices de vegetação e os tratamentos nitrogenados; e (iv) desenvolver e comparar modelos preditivos para estimar as doses de nitrogênio associadas à resposta espectral dos tratamentos experimentais.

METODOLOGIA

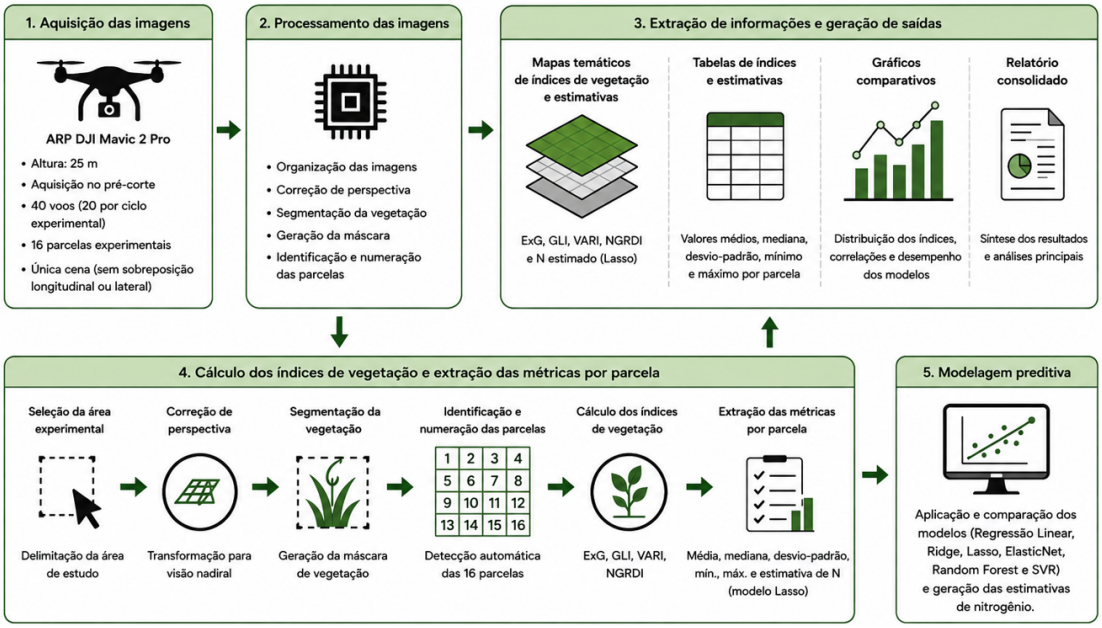
O estudo foi realizado em uma área experimental composta por 16 parcelas de 20 m^2 (5 × 4 m), cultivadas com Capim-Mulato II (*Urochloa* híbrida) e submetidas a quatro doses de nitrogênio: 0, 20, 40 e 60 kg N ha^{-1}, denominadas N0, N20, N40 e N60, respectivamente, com quatro parcelas por tratamento. Utilizou-se sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, aplicado manualmente após cada rebaixamento da forrageira. As avaliações foram conduzidas em dois ciclos experimentais, entre novembro de 2024 e abril de 2025 e novembro de 2025 e abril de 2026.

O desenvolvimento da forrageira foi acompanhado até o dossel atingir aproximadamente 30 cm de altura, condição estabelecida para o pré-corte. As imagens RGB foram obtidas um dia antes de cada rebaixamento, utilizando uma Aeronave Remotamente Pilotada DJI Mavic 2 Pro, em voos realizados entre 07h00 e 09h00, a aproximadamente 25 m de altura. Foram realizados 40 voos, sendo 20 em cada ciclo experimental. Em cada avaliação, uma única cena abrangendo as 16 parcelas foi utilizada para extração dos atributos espectrais, sem emprego de sobreposição longitudinal ou lateral das imagens.

Após a aquisição, as imagens foram processadas por meio de um fluxo computacional

desenvolvido em Python, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma das etapas do processamento digital desenvolvido.



Fonte: Própria Autoria.

Inicialmente, foram selecionados manualmente os quatro vértices da área experimental, seguida da correção de perspectiva e segmentação da vegetação. A partir da máscara obtida, as parcelas foram identificadas e numeradas automaticamente de acordo com sua posição espacial. O processamento foi desenvolvido principalmente com as bibliotecas *OpenCV*, *NumPy*, *Pandas* e *Matplotlib*, permitindo a automatização das etapas após a definição inicial da área de interesse.

Para cada parcela, foram calculados os índices Excess Green Index (ExG), Green Leaf Index (GLI), Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) e Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI), a partir dos canais vermelho (R), verde (G) e azul (B) das imagens. Para o cálculo do ExG, os canais RGB foram previamente normalizados conforme as Equações 1 a 3:

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \quad (2)$$

$$b = \frac{B}{R + G + B} \quad (3)$$

em que R, G e B correspondem aos valores dos canais vermelho, verde e azul, respectivamente, e r, g e b aos respectivos valores normalizados.

Os índices de vegetação foram calculados conforme as Equações 4 a 7:

$$ExG = 2g - r - b \quad (4)$$

$$GLI = \frac{2g - r - b}{2g + r + b} \quad (5)$$

$$VARI = \frac{g - r}{g + r - b} \quad (6)$$

$$GRDI = \frac{g - r}{g + r} \quad (7)$$

As formulações utilizadas seguiram Woebbecke et al. (1995) para o ExG, Louhaichi et al. (2001) para o GLI, Gitelson et al. (2002) para o VARI e Tucker (1979) para o NGRDI. Para cada parcela, foram obtidos os valores médios dos índices, além da mediana, desvio-padrão e valores mínimo e máximo.

A associação entre os índices de vegetação e as doses de nitrogênio aplicadas foi avaliada pelo coeficiente de correlação de Pearson, considerando os tratamentos N0, N20, N40 e N60. Essa análise permitiu avaliar a intensidade e a direção das relações lineares entre os atributos espectrais e as doses aplicadas.

Para investigar o potencial preditivo dos atributos espectrais, foram avaliados os modelos Regressão Linear, Ridge, Lasso, ElasticNet, Random Forest e Support Vector Regression (SVR), utilizando os índices de vegetação como variáveis explicativas e as doses aplicadas (0, 20, 40 e 60 kg N ha^{-1}) como variável resposta. O desempenho foi comparado por meio do coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro absoluto médio (MAE), empregando validação cruzada K-Fold com cinco subdivisões (k = 5).

Após a comparação dos modelos, o algoritmo selecionado foi aplicado aos atributos espectrais das parcelas para estimar a dose de nitrogênio associada à resposta espectral observada. As estimativas foram posteriormente comparadas aos quatro tratamentos experimentais (N0, N20, N40 e N60) e utilizadas para a geração de tabelas e mapas temáticos.

Ao final do processamento, as informações espectrais, estatísticas e preditivas foram organizadas e os resultados foram gerados automaticamente pelo sistema desenvolvido.

Dessa forma, após a seleção inicial da área experimental, o fluxo computacional permitiu executar de maneira padronizada as etapas de processamento das imagens, cálculo dos índices de vegetação, análise estatística, aplicação do modelo preditivo e geração das estimativas de nitrogênio, mapas temáticos, tabelas e relatório técnico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de vegetação derivados das imagens RGB apresentaram diferentes níveis de associação com as doses de nitrogênio aplicadas ao Capim-Mulato II. Entre os índices avaliados, o VARI apresentou a maior correlação linear positiva com as doses de nitrogênio (r = 0,9233), seguido pelo NGRDI (r = 0,8774). O GLI apresentou correlação positiva moderada (r = 0,4299), enquanto o ExG apresentou correlação negativa moderada (r = -0,5070). Esses resultados indicam maior associação do VARI e do NGRDI com as variações nas doses de nitrogênio nas condições experimentais avaliadas (Tabela 1).

Tabela 1: Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os índices de vegetação e as doses de nitrogênio.

Índice	Correlação de Pearson (r)	Interpretação
ExG	-0,5070	Negativa moderada
GLI	0,4299	Positiva moderada
VARI	0,9233	Positiva muito forte
NGRDI	0,8774	Positiva forte

Fonte: Própria Autoria.

A resposta observada para os índices RGB está de acordo com estudos que demonstram o potencial de imagens obtidas por aeronaves não tripuladas para caracterizar alterações no dossel associadas à disponibilidade de nitrogênio. Zheng et al. (2018) verificaram que índices derivados de imagens RGB, incluindo o NGRDI, apresentaram potencial para estimar o acúmulo de nitrogênio em arroz. Da mesma forma, estudos com imagens RGB obtidas por UAV demonstraram a aplicabilidade do VARI no monitoramento da condição e do desenvolvimento de culturas (Gerardo; de Lima, 2023). Entretanto, índices baseados exclusivamente nas bandas do visível são influenciados por características do dossel e pelas condições de aquisição das imagens, especialmente variações de iluminação, o que deve ser considerado em avaliações realizadas ao longo do tempo (Rasmussen et al., 2016).

Com base nos resultados, foram desenvolvidos modelos de regressão utilizando os índices de vegetação como variáveis explicativas e a dose de nitrogênio como variável resposta. Foram avaliados os modelos ElasticNet, Lasso, Regressão Linear, Random Forest, Ridge e Support Vector Regression (SVR).

Tabela 2: Desempenho médio dos modelos obtido pela validação cruzada *K-Fold* (k = 5).

Modelo	R^2	RMSE	MAE
ElasticNet	0,8016	8,5192	6,4336
Lasso	0,7958	8,4456	6,1307
Linear	0,7852	8,6119	6,2568
Random Forest	0,6774	9,4217	6,5400
Ridge	0,1513	17,5029	15,2417
SVR	-1,0494	27,2218	23,1335

Fonte: Própria Autoria.

Os modelos ElasticNet, Lasso e Regressão Linear apresentaram os melhores desempenhos entre os métodos avaliados (Tabela 2). O ElasticNet obteve o maior R^2 médio (0,8016), enquanto o Lasso apresentou os menores valores de RMSE (8,4456 kg ha^{-1}) e MAE (6,1307 kg ha^{-1}). A Regressão Linear apresentou desempenho próximo, com R^2 de 0,7852, indicando que, nas condições avaliadas, os modelos lineares apresentaram melhor desempenho preditivo que Random Forest, Ridge e SVR.

O Random Forest apresentou desempenho intermediário (R^2 = 0,6774), enquanto Ridge e SVR apresentaram os menores desempenhos, com R^2 de 0,1513 e -1,0494, respectivamente. O valor negativo observado para o SVR indica desempenho preditivo inferior ao obtido utilizando a média da variável resposta como referência. Considerando conjuntamente R^2, RMSE e MAE, o Lasso foi adotado como modelo de referência para as estimativas subsequentes.

A partir do modelo selecionado, as estimativas foram incorporadas ao sistema computacional desenvolvido, permitindo gerar valores individualizados para as parcelas experimentais (Tabela 3).

Tabela 3: Estimativas das doses de nitrogênio pelo modelo Lasso e doses aplicadas nas parcelas experimentais.

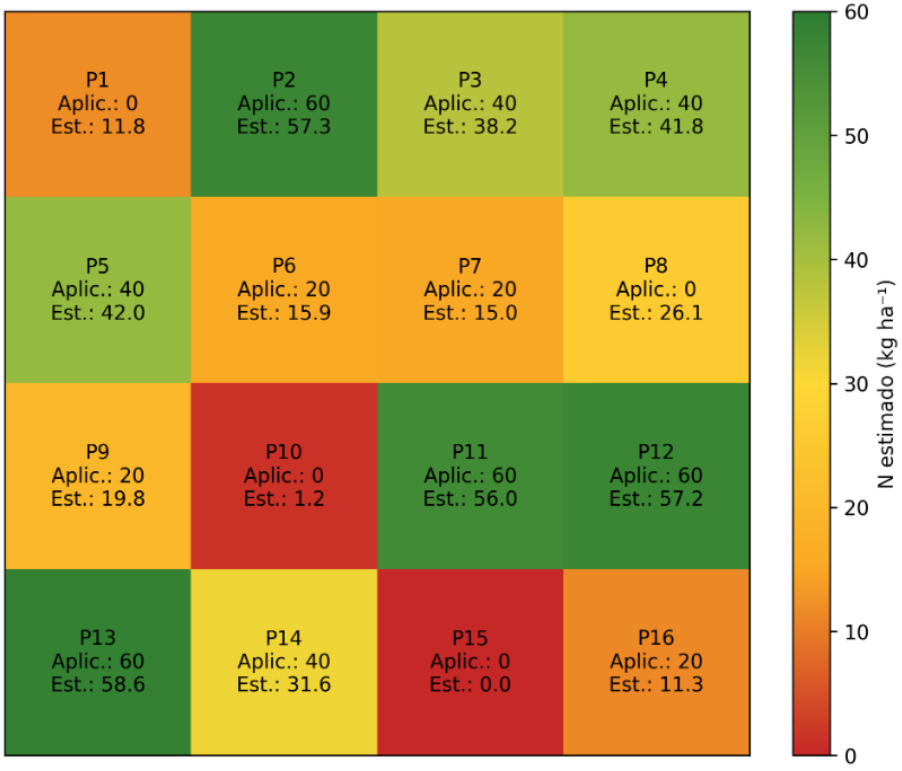
Parcela	N estimado (kg ha^{-1})	Tratamento	Dose aplicada (kg ha^{-1})
1	11,8	N0	0
2	57,3	N60	60
3	38,2	N40	40
4	41,8	N40	40
5	42,0	N40	40
6	15,9	N20	20
7	15,0	N20	20
8	26,1	N0	0
9	19,8	N20	20
10	1,2	N0	0
11	56,0	N60	60
12	57,2	N60	60
13	58,6	N60	60
14	31,6	N40	40
15	0,0	N0	0
16	11,3	N20	20

Fonte: Própria Autoria.

As estimativas obtidas pelo modelo Lasso apresentaram diferentes níveis de aproximação em relação às doses efetivamente aplicadas (Tabela 3). Em grande parte das parcelas submetidas aos tratamentos N20, N40 e N60, os valores estimados permaneceram próximos às respectivas doses experimentais. Entretanto, foram observadas discrepâncias em algumas parcelas, especialmente no tratamento N0, evidenciando variabilidade da

resposta espectral mesmo entre unidades submetidas ao mesmo tratamento. A Figura 2 apresenta os resultados obtidos pela aplicação do modelo preditivo a uma imagem RGB adquirida em 1º de fevereiro de 2026. A partir do processamento da imagem, foram estimadas as doses de nitrogênio associadas à resposta espectral de cada parcela, possibilitando a comparação entre os valores estimados pelo modelo e as doses efetivamente aplicadas nos respectivos tratamentos.

Figura 2: Distribuição espacial das doses de nitrogênio estimadas pelo modelo Lasso nas parcelas experimentais de Capim-Mulato II.



Fonte: Própria Autoria.

A representação espacial permitiu visualizar a variabilidade das estimativas de nitrogênio entre as parcelas experimentais (Figura 2). A comparação com os tratamentos N0, N20, N40 e N60 evidenciou diferentes níveis de aproximação entre os valores estimados pelo modelo e as doses efetivamente aplicadas. Dessa forma, o mapa constitui uma representação espacial da resposta predita a partir dos atributos espectrais, não devendo ser interpretado como uma recomendação de adubação nitrogenada.

A integração entre o processamento das imagens RGB, os índices de vegetação e a modelagem preditiva permitiu caracterizar diferenças na resposta espectral do Capim-Mulato II submetido aos tratamentos N0, N20, N40 e N60. Entre os índices avaliados, VARI e NGRDI apresentaram as maiores associações com as doses aplicadas, enquanto os modelos ElasticNet, Lasso e Regressão Linear apresentaram os melhores desempenhos preditivos nas condições experimentais avaliadas.

Os resultados demonstram o potencial das imagens RGB obtidas por ARP para o

monitoramento da resposta da forrageira a diferentes níveis de adubação nitrogenada. Entretanto, as estimativas geradas pelo modelo representam associações entre os atributos espectrais e os tratamentos experimentais, não constituindo recomendações de fertilização. Além disso, considerando que as mesmas parcelas foram avaliadas repetidamente ao longo dos ciclos experimentais, estudos futuros devem considerar explicitamente a dependência temporal das observações e avaliar o desempenho dos modelos em áreas e ciclos independentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens RGB obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada mostraram potencial para caracterizar a resposta espectral do Capim-Mulato II submetido aos tratamentos N0, N20, N40 e N60. Entre os índices avaliados, VARI e NGRDI apresentaram as maiores associações com as doses de nitrogênio aplicadas, indicando maior associação com as variações nas doses de nitrogênio nas condições experimentais avaliadas.

Na modelagem preditiva, ElasticNet, Lasso e Regressão Linear apresentaram os melhores desempenhos, com maior R^2 para o ElasticNet e menores RMSE e MAE para o Lasso. A integração entre processamento das imagens, índices de vegetação e modelagem permitiu estimar a dose associada à resposta espectral e representar espacialmente os resultados das parcelas.

Entretanto, as estimativas obtidas devem ser interpretadas como associações entre os atributos espectrais e os tratamentos experimentais, não constituindo recomendação de adubação nitrogenada. Considerando ainda as avaliações repetidas das mesmas parcelas ao longo dos dois ciclos experimentais, estudos futuros devem incorporar estratégias de validação que considerem a dependência temporal das observações e avaliar os modelos em áreas e ciclos independentes, visando ampliar sua robustez e capacidade de generalização.

REFERÊNCIAS

ARGEL, P. J.; MILES, J. W.; GUIOT GARCÍA, J. D.; CUADRADO CAPELLA, H.; LASCANO, C. E. *Cultivar Mulato II (Brachiaria híbrido CIAT 36087): gramínea de alta qualidade e produção forrageira, resistente às cigarrinhas e adaptada a solos tropicais ácidos*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2007.

DIAS-FILHO, M. B. *Diagnóstico das pastagens no Brasil*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402).

DIAS-FILHO, M. B. *Degradação de pastagens: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção*. Belém, PA: Ed. do Autor, 2023. 59 p. ISBN 978-65-00-73154-5.

FERNANDES, A. M. et al. Non-destructive methods used to determine forage mass and nutritional condition in tropical pastures. *AgriEngineering*, v. 5, n. 3, p. 1614-1629, 2023. DOI: 10.3390/agriengineering5030100.

GERARDO, R.; DE LIMA, I. P. Applying RGB-based vegetation indices obtained from UAS imagery for monitoring the rice crop at the field scale: a case study in Portugal. Agriculture, v. 13, n. 10, art. 1916, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13101916.

GITELSON, A. A.; STARK, R.; GRITS, U.; RUNDQUIST, D.; KAUFMAN, Y.; DERRY, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 13, p. 2537-2562, 2002. DOI: 10.1080/01431160110107806.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y.; CARMO, R. B. Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicação em agricultura de precisão no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 399-406.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001. DOI: 10.1080/10106040108542184.

OLSON, D. O.; ANDERSON, J. A. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. *Agronomy Journal*, v. 113, n. 2, p. 971-992, 2021. DOI: 10.1002/agj2.20595.

RASMUSSEN, J.; NTAKOS, G.; NIELSEN, J.; SVENSGAARD, J.; POULSEN, R. N.; CHRISTENSEN, S. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *European Journal of Agronomy*, v. 74, p. 75-92, 2016. DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.026.

SANTOS, W. M. dos et al. Use of unmanned aerial vehicles for monitoring pastures and forages in agricultural sciences: a systematic review. *Drones*, v. 8, n. 10, art. 585, 2024. DOI: 10.3390/drones8100585.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995.

ZHENG, H. et al. Evaluation of RGB, color-infrared and multispectral images acquired from unmanned aerial systems for the estimation of nitrogen accumulation in rice. *Remote Sensing*, v. 10, n. 6, art. 824, 2018. DOI: 10.3390/rs10060824.

ÁREA TEMÁTICA: OUTRAS

CAPÍTULO 43

MONITORAMENTO DOS POMARES DE MAÇÃ EM SANTA CATARINA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Kleber Trabaquini[1];
[1]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.
http://lattes.cnpq.br/5680348426925268
Valci Francisco Vieira[2];
[2]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.
http://lattes.cnpq.br/8653195582443467
Everton Vieira[3];
[3]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.
http://lattes.cnpq.br/9107556423588724
Juliana Mio de Souza[4];
[4]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.
http://lattes.cnpq.br/8788297066328484
Maêve Silveira Castelo Branco[5];
[5]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC.
http://lattes.cnpq.br/6222069160178631
Marcelo Cruz de Liz[6].
[6]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC.
http://lattes.cnpq.br/0310867911612371

RESUMO: No Brasil, a maleicultura ocupa cerca de 33,2 mil hectares de área cultivada, dos quais Santa Catarina representa aproximadamente 51%. Nesse contexto, o desenvolvimento de metodologias objetivas baseadas em sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento da área plantada. Diante disso, este trabalho objetivou mapear, quantificar e espacializar a evolução dos pomares de maçã na região da Serra Catarinense entre 2020 e 2025, utilizando dados dos satélites Sentinel-2 (10 m) e CBERS-04A (2 m). A metodologia combinou a aplicação do algoritmo *Random Forest* em séries temporais Sentinel-2 com posterior refinamento visual e validação via imagens CBERS-04A. Os resultados indicaram uma expansão de 25,3% na área mapeada da região, saltando de 12.060 ha em 2020 para 15.110 ha em 2025. O município de São Joaquim consolidou-se como o principal polo produtivo, concentrando 72,2% da área total em 2025 (10.912 ha), seguido por Bom Jardim

da Serra (1.881 ha), Urubici (770 ha) e Urupema (761 ha). Em termos ambientais, verificou-se que 40% dos pomares estão alocados em declividades de 8% a 20% e 72% concentram-se em altitudes entre 1.100 e 1.400 metros. A integração multissensorial Sentinel-2 e CBERS-04A demonstrou elevada eficiência na identificação da cultura, atingindo uma acurácia global de 96%.
PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Fruticultura. Mapeamento.

APPLE ORCHARD MONITORING IN SANTA CATARINA USING SATELLITE IMAGES

ABSTRACT: In Brazil, apple farming occupies approximately 33.2 thousand hectares of cultivated area, with Santa Catarina accounting for roughly 51% of this total. In this context, developing objective methodologies based on remote sensing is essential for monitoring planted areas. Therefore, this study aimed to map, quantify, and spatialise the evolution of apple orchards in the Serra Catarinense region between 2020 and 2025 using data from the Sentinel-2 (10 m) and CBERS-04A (2 m) satellites. The methodology combined the Random Forest algorithm applied to Sentinel-2 time series with subsequent visual refinement and validation using CBERS-04A imagery. Results indicated a 25.3% expansion in the region's mapped area, increasing from 12,060 ha in 2020 to 15,110 ha in 2025. The municipality of São Joaquim consolidated its position as the main production hub, accounting for 72.2% of the total area in 2025 (10,912 ha), followed by Bom Jardim da Serra (1,881 ha), Urubici (770 ha), and Urupema (761 ha). Regarding environmental conditions, 40% of the orchards are located on slopes ranging from 8% to 20%, and 72% are concentrated at altitudes between 1,100 and 1,400 meters. The multisensor integration of Sentinel-2 and CBERS-04A demonstrated high efficiency in crop identification, achieving an overall accuracy of 96%.
KEYWORDS: Remote sensing. Fruit growing. Mapping

INTRODUÇÃO

A maçã é uma das frutas mais produzidas no mundo, com a China sendo a maior produtora, cultivando aproximadamente 50% de toda maçã existente no mundo. Na safra de 2020 foram produzidas 44 milhões de toneladas contra 2,3 milhões em 1978 (CHEN et al., 2022).

Atualmente o Brasil representa 1,5% de toda área plantada no mundo, ou seja, 33 mil ha na safra 2023. Na Safra 1977/ 78, o Brasil importou 190.217 toneladas, pois contava com uma produção de apenas 14.218 toneladas. Na Safra 2022/23, a produção brasileira alcançou 1,2 milhão de toneladas e hoje o Brasil passou de importador à exportador de maçã, principalmente para países como Rússia, Bangladesh e Índia (IBGE, 2023).

A Serra Catarinense conta com cerca de 2.200 produtores, em sua maioria agricultores familiares, que desempenham um papel vital na economia local, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, e impulsionando a economia da região. Segundo

dados da Associação Brasileira de Produtores de Maçã (ABPM) a região produz mais de 370 mil toneladas de maçãs. Na safra 2022/23 o volume produzido alcançou um Valor Bruto de Produção (VBP) de aproximadamente R$740 milhões. Quando se considera a comercialização da fruta, o valor movimentado na região serrana chega a cerca de R$ 1,5 bilhão por ano.

A importância econômica da cultura da maçã, associada à expansão e à especialização da produção agrícola, tem impulsionado mudanças nos padrões de uso e ocupação das áreas agrícolas em Santa Catarina. Nesse contexto, a identificação e a caracterização precisa da distribuição espacial dos pomares de maçã são fundamentais para quantificar a área cultivada, apoiar o planejamento e o manejo agrícola e subsidiar políticas de desenvolvimento do setor (Xu et al., 2024).

Diante deste exposto, este trabalho apresenta uma metodologia de mapeamento de pomares de maçã na Serra Catarinense da Epagri/Ciram (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) e tem por objetivo aprimorar o levantamento de área da cultura da maçã no estado.

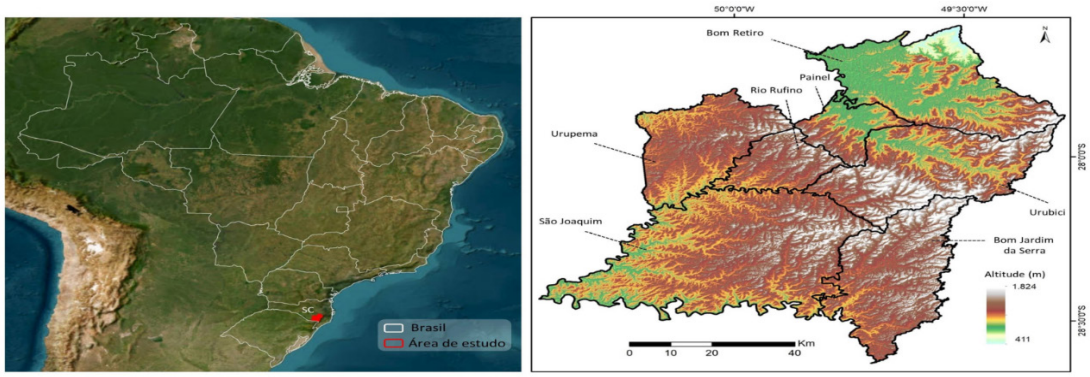
OBJETIVO

Diante desta problemática, o presente estudo tem como objetivo principal realizar o mapeamento dos pomares de maçã na região serrana de Santa Catarina utilizando dados multiespectrais do satélite Sentinel-2 e imagens de alta resolução do satélite CBERS-4A, no período de 2020 a 2025. Além disso, através de dados de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foram analisadas as métricas de altitude, declividade e horas frio dos pomares mapeados na última safra.

METODOLOGIA

A área de estudo abrange a região da Serra Catarinense, no estado de Santa Catarina, sul do Brasil, cobrindo aproximadamente 12.000 km^2 ao longo dos municípios de São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urubici, Urupema, Rio Rufino, Bom Retiro e Painel (Figura 1). A região é caracterizada por planaltos de alta altitude que variam de 900 a 1.400 m acima do nível do mar. O clima é classificado como Cfb (clima temperado) de acordo com o sistema Köppen, com temperaturas médias anuais de 13º a 15º e precipitação anual de 1.400 a 1.800 mm, distribuída de forma relativamente uniforme ao longo do ano.

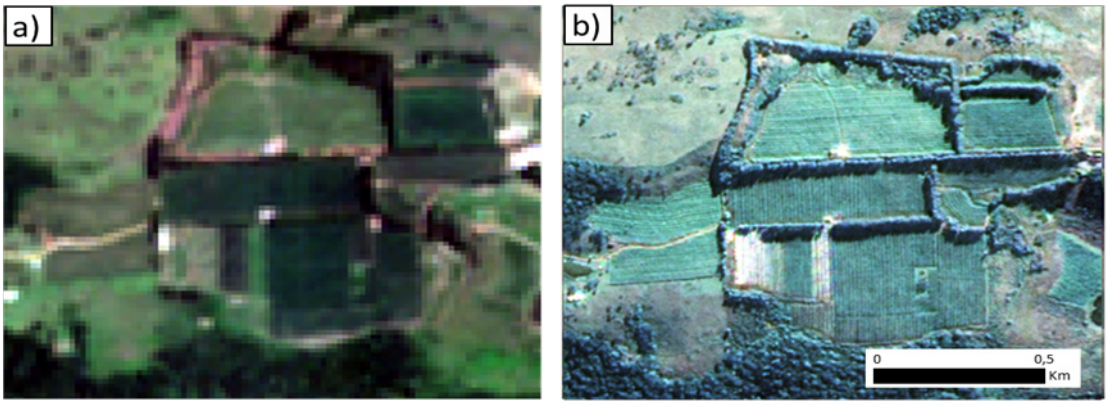
Figura 1. Localização da região produtora em Santa Catarina abrangendo os municípios de São Joaquim, Urupema, Bom Retiro, Urubici, Rio Rufino, Bom Jardim da Serra e Painel.



Para o mapeamento dos pomares, a metodologia dividiu-se em duas etapas principais de classificação supervisionada e refinamento espacial. Na primeira, utilizaram-se imagens Sentinel-2 (setembro a abril, com cobertura de nuvens inferior a 20%) para a geração de imagens medianas mensais. Esse conjunto espectral, combinado a amostras de polígonos coletadas em campo via GPS, alimentou o algoritmo *Random Forest* para criar o modelo preditivo e a classificação inicial. Na etapa seguinte, dados de alta resolução do satélite CBERS-4A foram integrados para refinar os limites poligonais, mitigando efeitos de borda e dispersão espectral. Além do ganho espacial, a base do CBERS-4A serviu como verdade-terreno para a validação estatística e a verificação da convergência métrica em relação aos dados oficiais de área.

A estrutura fundiária da pomicultura em Santa Catarina é marcada por talhões agrícolas de dimensões reduzidas e contornos irregulares, o que impõe desafios específicos ao mapeamento por sensoriamento remoto. Desta forma, a combinação do satélite Sentinel-2, com 12 bandas espectrais e 10 m de resolução espacial e o satélite CBERS-4A, com 4 bandas espectrais e resolução espacial de 2 m, faz com que seja possível o mapeamento de culturas como a maçã, mesmo que em pequenas propriedades. Na Figura 2 é apresentada as imagens Sentinel-2 e CBERS-4A, onde é possível identificar os limites dos pomares em ambas imagens, porém com mais nitidez na imagem com resolução espacial de 2 m, CBERS-4A.

Figura 2. Imagem Sentinel-2 de 10 m (a) e CBERS-4A de 2 m (b).



Após o mapeamento, foi realizada uma análise da distribuição dos pomares diante do relevo, como a declividade (%), altimetria (m) e horas de frio (hs). As **horas de frio** são a soma do tempo em que a temperatura do ar fica igual ou abaixo de 7,2ºC. Essa contagem é muito usada na agricultura de clima temperado (como maçã, pêssego e uva) e na maçã é um parâmetro que normalmente atinge entre 600 e 800 horas. Todas as variáveis foram calculadas utilizando dados do SRTM, com 30 m de resolução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 evidencia a evolução temporal e a distribuição espacial da pomicultura na Serra Catarinense entre os anos de 2020 e 2025. No cômputo geral, observou-se uma expansão contínua da atividade, com o incremento de 3.050 hectares na área total mapeada (+25,29%), saltando de 12.060 ha para 15.110 ha.

O município de São Joaquim consolida-se como o núcleo central da produção regional, sendo responsável por mais de 72% da área total mapeada em 2025 (10.912 ha) e por cerca de 72,8% do aumento absoluto de área no período estudado. Bom Jardim da Serra destaca-se como o segundo maior polo, apresentando uma expressiva taxa de crescimento de 40,27%, alcançando 1.881 ha em 2025.

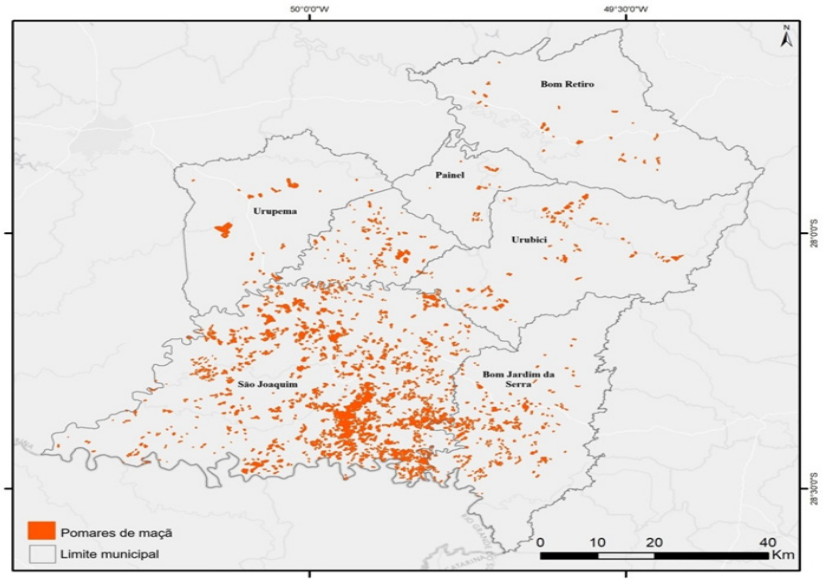
Em contrapartida, observa-se uma dinâmica divergente entre os demais municípios: enquanto Urubici, Urupema e Rio Rufino registraram acréscimos na área cultivada, o município de Bom Retiro apresentou uma retração contínua, reduzindo sua área de 208 ha (2020) para 155 ha (2025).

Tabela 1. Área mapeada (ha) de pomares de maçã dos municípios que compõe a serra Catarinense.

Município	2020	2023	2025
São Joaquim	8.692	10.023	10.912
Bom Jardim da Serra	1.341	1.650	1.881
Urubici	632	832	770
Urupema	604	762	761
Painel	485	487	500
Bom Retiro	208	188	155
Rio Rufino	98	84	131
TOTAL	**12.060**	**14.026**	**15.110**

Em síntese, a consolidação dos dados de mapeamento para o ano de 2025 quantifica uma área total de 15.110 hectares destinados à pomicultura na Serra Catarinense. A análise da distribuição espacial evidencia uma acentuada disparidade territorial: o município de São Joaquim estabelece-se como o polo da cultura na região, concentrando mais de 72% de toda a área mapeada (10.912 hectares) (Figura 3).

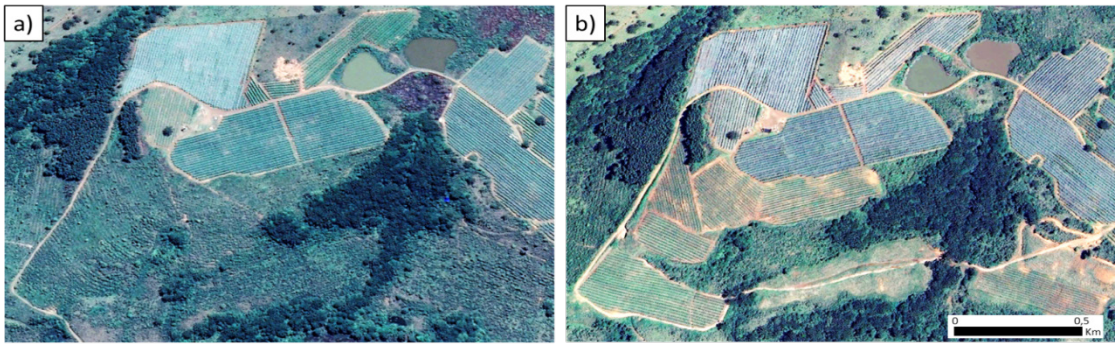
Figura 3. Distribuição dos pomares de maçã na Serra Catarinense.



Para ilustrar a dinâmica temporal de expansão da pomicultura, e apresentada as imagens obtidas pelo satélite CBERS-4A entre os anos de 2020 (Figura 4a) e 2025 (Figura 4b).

Na imagem de 2020, observam-se os pomares consolidados concentrados no setor superior. Já em 2023, fica evidente a conversão do uso do solo no setor central da área, onde vegetações campestres deram lugar à implantação de novos pomares.

Figura 4. Imagens CBERS-4A com destaque para os pomares existentes em 2020 (a) e os novos pomares em 2025 (b).

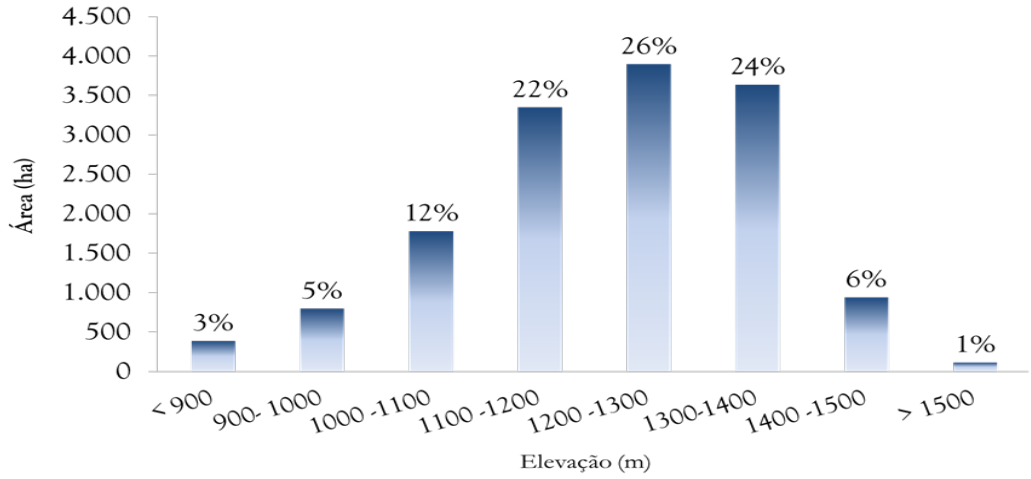


Nota-se que a alta resolução espacial do CBERS-4 permite delimitar com precisão o padrão geométrico das linhas de plantio, os carreadores de acesso e a estrutura dos talhões recém-implantados. Esse resultado comprova a acurácia do sensor para o monitoramento da dinâmica de expansão e para o refinamento da classificação.

Em relação ao relevo, análise da distribuição hipsométrica da pomicultura revela uma clara tendência agroclimática induzida pelo relevo. Observa-se um padrão de distribuição, em que 72% da área mapeada encontra-se concentrada entre 1.100 e 1.400 metros, com

ápice na classe de 1.200 a 1.300 metros, respondendo por 26% da área total (Figura 5).

Figura 5. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação à elevação (m).

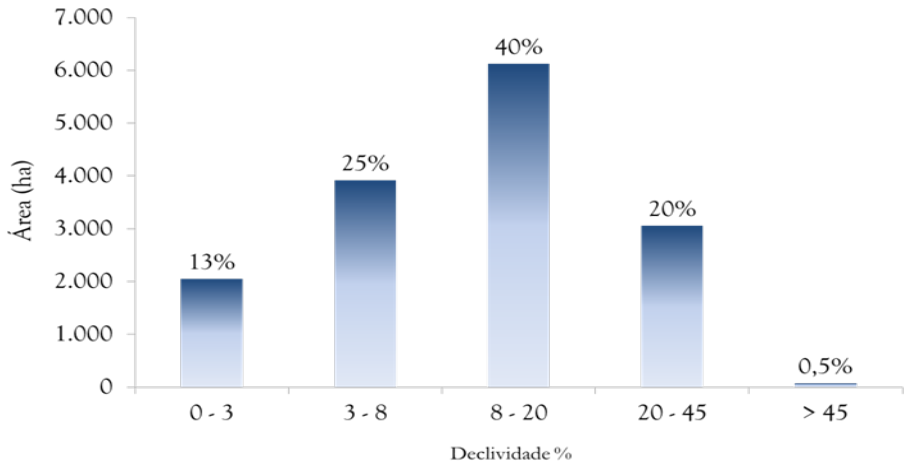


Fisiologicamente, essa amplitude altimétrica representa a zona de máxima aptidão bioclimática para as cultivares predominantemente exploradas na região. Ela assegura o cômputo de horas de frio necessário à quebra da dormência, otimizando floração e a produção de frutos.

Por outro lado, o decréscimo expressivo das áreas nas cotas inferiores a 1.000 metros e superiores a 1.400 metros evidencia, respectivamente, as restrições por insuficiência de frio e os limites impostos pelo risco de geada tardia e amplitude orográfica.

A distribuição da pomicultura em função da declividade revela um direcionamento prioritário para classes de relevo suave-ondulado a ondulado. Notadamente, a classe de 8% a 20% estabelece-se como o domínio de maior expressão, alocando 40% da área cultivada, seguida pela faixa de 3% a 8%, com 25% (Figura 6).

Figura 6. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação à declividade (%).

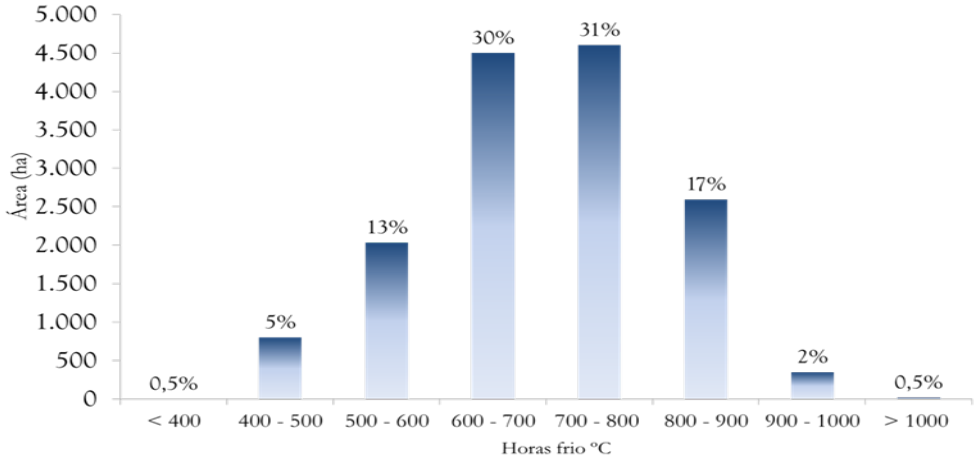


Esse padrão reflete a busca pelo equilíbrio entre a trafegabilidade mecanizada — essencial para tratamentos fitossanitários e a eficiência no manejo do perfil hídrico do solo, minimizando os riscos de encharcamento radicular frequentes em áreas com declividade inferior a 3%, que respondem por apenas 13% do mapeamento.

A reduzida representatividade em vertentes com declividade superior a 20% — e a ausência em declividades acima de 45%, limitadas a 0,5% evidenciando as limitações operacionais impostas pelo relevo acentuado, caracterizados pelo alto risco de erosão laminar e pelas restrições à mecanização.

E por fim, a análise da distribuição espacial dos pomares em relação a horas frio (T<7,2ºC) revela que a macieira está fortemente concentrada em regiões com acúmulo intermediário de horas de frio. A faixa ideal compreendida entre 600 e 800 horas concentra 61% da área total mapeada (~9.100 ha). Ampliando o intervalo para 500 a 900 horas, o índice atinge 91% da área cultivada. Zonas de aptidão marginal, com menos de 500 ou mais de 900 horas de frio, representam juntas menos de 10% do total da área monitorada

Figura 7. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação a horas frio (%).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a integração de dados multissensoriais dos satélites Sentinel-2 e CBERS-04A, aliada ao algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest*, constitui uma metodologia robusta e altamente eficiente para o mapeamento e o monitoramento contínuo da maleicultura. A acurácia global alcançada de 96% valida a abordagem para a identificação dos pomares, superando limitações tradicionais de levantamentos exclusivamente de campo e fornecendo dados estatísticos objetivos para a região da Serra Catarinense.

Destaca-se que o mapeamento não diferenciou variedades de maçã (como ‘Fuji’ e ‘Gala’) e não aplicou métricas para discriminar o estágio de desenvolvimento dos pomares. Ou seja, a área total estimada engloba indistintamente diferentes cultivares e abrange tanto pomares adultos em fase produtiva quanto áreas de implantação recente que ainda não atingiram a maturidade fisiológica para frutificação. Portanto, Aponta-se como limitação

do estudo a não distinção entre variedades comerciais (como ‘Gala’ e ‘Fuji’) e a falta de diferenciação entre pomares consolidados e áreas jovens em fase pré-produtiva.

REFERÊNCIAS

CHEN, R., C. ZHANG., B. XU., Y, ZHU., F. ZHAO., S. HAN., G. YANG., H. YANG. Predicting individual apple tree yield using UAV multi-source remote sensing data and ensemble learning. Comput. Electron. Agric.(2022).

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Quantidade produzida e rendimento médio de maçã. 2016.** Disponível em https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil: Acesso em: 24 jan. 2026.

XU, W.; LI, Z.; LIN, H.; SHAO, G.; ZHAO, F.; WANG, H.; CHENG, J.; LEI, L.; CHEN, R.; HAN, S.; et al. Mapping Fruit-Tree Plantation Using Sentinel-1/2 Time Series Images with Multi-Index Entropy Weighting Dynamic Time Warping Method. Remote Sens. 2024, 16, 3390.

CAPÍTULO 44

EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA POR SORO DE QUEIJO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE BISCOITOS DE POLVILHO

Christine da Silva Macedo[1];
[1]Universidade do Estado do Pará (UEPA), Castanhal, Pará.
http://lattes.cnpq.br/9549979734850809
Gilson da Silva Rodrigues[2].
[2]Universidade do Estado do Pará (UEPA), Castanhal, Pará.
http://lattes.cnpq.br/5951661080232035

RESUMO: O aproveitamento do soro de queijo em produtos alimentícios representa uma alternativa para valorização de coprodutos da indústria de laticínios. Este estudo teve como objetivo investigar o efeito da substituição da água por soro de queijo muçarela nas características físico-químicas e tecnológicas de biscoitos de polvilho. Foram elaboradas três formulações: F0 (0% de substituição), F1 (50%) e F2 (100%). O soro foi caracterizado quanto ao pH, sólidos totais, proteínas e lipídios, e os biscoitos foram avaliados quanto à composição centesimal, índice de expansão, volume específico, densidade aparente, cor instrumental e dureza. A substituição pelo soro não alterou significativamente os teores de umidade, lipídios e carboidratos, porém promoveu aumento nos teores de cinzas e proteínas. A formulação F1 manteve índice de expansão e volume específico semelhantes ao controle, enquanto F2 apresentou menor expansão, menor volume específico, coloração mais escura e maior dureza. Conclui-se que a substituição de 50% da água por soro de queijo muçarela constitui uma alternativa promissora para valorização desse coproduto, preservando as principais características tecnológicas dos biscoitos de polvilho.
PALAVRAS-CHAVE: Soro lácteo. Fécula de mandioca. Aproveitamento de coprodutos.

EFFECT OF WATER REPLACEMENT WITH CHEESE WHEY ON THE PHYSICOCHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CASSAVA STARCH BISCUITS

ABSTRACT: The use of cheese whey in food products represents an alternative strategy for adding value to dairy industry co-products. This study aimed to investigate the effect of replacing water with mozzarella cheese whey on the physicochemical and technological characteristics of cassava starch biscuits. Three formulations were prepared: F0 (0% replacement), F1 (50%), and F2 (100%). The whey was characterized for pH, total solids, protein, and lipid contents, while the biscuits were evaluated for proximate composition, expansion index, specific volume, apparent density, instrumental color, and hardness. Water replacement with whey did not significantly affect moisture, lipid, or carbohydrate contents;

however, it increased ash and protein levels. Formulation F1 maintained expansion index and specific volume values similar to those of the control, whereas F2 showed lower expansion, lower specific volume, darker color, and greater hardness. It was concluded that replacing 50% of the water with mozzarella cheese whey represents a promising alternative for the valorization of this co-product while preserving the main technological characteristics of cassava starch biscuits.
KEYWORDS: Whey. Cassava starch. By-product valorization.

INTRODUÇÃO

O biscoito de polvilho é um produto tradicional brasileiro elaborado principalmente a partir da fécula de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), matéria-prima naturalmente isenta de glúten e amplamente empregada na produção de alimentos expandidos. Suas características típicas, como leveza, elevada expansão e crocância, estão relacionadas às propriedades do amido e às transformações que ocorrem durante a escaldagem e o assamento. Nesse processo, a gelatinização parcial do amido, associada à formação e retenção de vapor de água na massa, desempenha papel determinante no desenvolvimento da estrutura característica do produto. Além disso, diferenças entre o polvilho nativo e o fermentado podem modificar propriedades físico-químicas, reológicas e de expansão dos produtos obtidos (Ferreira et al., 2025).

Paralelamente, a produção de queijos gera volumes expressivos de soro, correspondentes a aproximadamente 80–90% do volume de leite processado ou cerca de 9–10 L de soro para cada quilograma de queijo produzido. Embora frequentemente considerado um coproduto de baixo valor comercial, o soro de queijo contém componentes relevantes do leite, especialmente lactose, proteínas solúveis e minerais. Sua elevada carga orgânica, entretanto, confere altos valores de demanda bioquímica e química de oxigênio, tornando o descarte inadequado um potencial problema ambiental. Dessa forma, sua valorização por meio do desenvolvimento de novos ingredientes e produtos alimentícios tem recebido crescente atenção dentro dos princípios da economia circular e do aproveitamento sustentável de recursos da indústria de alimentos (Pires et al., 2021; Mota et al., 2026).

Entre as alternativas de valorização, a utilização do soro líquido diretamente em formulações alimentícias apresenta interesse tecnológico por possibilitar seu aproveitamento sem a necessidade de etapas de concentração ou secagem. Em produtos de panificação, a substituição da água por soro pode modificar propriedades da massa e do produto final, incluindo gelatinização do amido, textura, volume, porosidade e coloração. Iuga et al. (2020) demonstram que componentes do soro, particularmente proteínas e lactose, podem interagir com o amido durante o processamento e participar de reações de escurecimento não enzimático durante o forneamento, influenciando as características tecnológicas e sensoriais do produto.

Nesse contexto, a substituição da água por soro de queijo na elaboração de biscoitos de polvilho constitui uma alternativa para a valorização desse coproduto lácteo, ao mesmo

tempo em que pode promover modificações na composição e nas propriedades tecnológicas do produto. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da substituição da água por soro de queijo nas características físico-químicas e tecnológicas de biscoitos de polvilho.

OBJETIVO

Investigar a influência da incorporação de soro de queijo, em substituição à água, sobre a qualidade físico-química e o desempenho tecnológico de biscoitos de polvilho.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Alimento, da Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus XX, localizado no município de Castanhal, Pará, Brasil. A elaboração dos biscoitos e as determinações físico-químicas e tecnológicas foram realizadas nas dependências do referido laboratório.

Para a elaboração dos biscoitos foram utilizados polvilho azedo, sal, óleo de soja, ovos, água e soro de queijo. As matérias-primas, exceto o soro de queijo, foram adquiridas no comércio local de Castanhal, Pará, e armazenadas de acordo com as recomendações dos fabricantes até o momento de sua utilização. O soro de queijo foi fornecido por um produtor local de queijo muçarela, e, imediatamente após sua obtenção, acondicionado em recipiente previamente higienizado e hermeticamente fechado. O transporte até o laboratório foi realizado em caixa térmica contendo gelo, sob condições de refrigeração, mantendo-se a temperatura entre 5 °C ± 1. O tempo transcorrido entre a coleta e a chegada ao laboratório foi de aproximadamente 30 minutos. Após a recepção, a temperatura do soro foi verificada (5 °C) e foi mantido sob refrigeração, a aproximadamente 4 °C, até sua utilização na elaboração dos biscoitos, visando preservar suas características físico-químicas e microbiológicas e minimizar possíveis alterações decorrentes do armazenamento.

No dia seguinte, foram elaboradas três formulações de biscoitos de polvilho, diferenciadas exclusivamente pela proporção de substituição da água pelo soro, mantendo-se constantes as quantidades dos demais ingredientes. A formulação controle (F0) foi elaborada utilizando água como fase líquida, enquanto as formulações experimentais receberam soro em substituição à água nas proporções previamente estabelecidas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Formulações dos biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de substituição da água por soro de queijo.

Ingredientes (g)	F0 (0%, controle)	F1 (50%)	F2 (100%)
Polvilho azedo	300	300	300
Sal	6	6	6
Óleo de soja	131,6	131,6	131,6
Ovo	50	50	50
Água	70	35	0
Soro de queijo	0	35	70

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: F0 = 0% de substituição da água por soro de queijo; F1 = 50% de substituição; F2 = 100% de substituição.

Os biscoitos foram elaborados seguindo a metodologia de Montenegro et al. (2008) com adaptações. Inicialmente, os ingredientes foram pesados individualmente em balança analítica Shumadzu (modelo AUX220). Em uma batedeira planetária da marca Oster (modelo Power 850), foram misturados o polvilho azedo, o sal e 5% do líquido, em velocidade baixa, por 4 minutos. A seguir, foi realizado o escaldamento desse material, adicionando-se uma mistura aquecida (90 °C) com o restante do líquido e óleo, misturando por mais 3 minutos em velocidade baixa. Sem desligar a batedeira, adicionou-se o ovo, misturando por 1 minuto, em velocidade baixa. Para melhor incorporação de ar, a massa foi mantida sob batimento por mais 3 minutos em velocidade alta. A massa, à temperatura de 26 °C, foi usada para moldar os biscoitos padronizados no formato cilíndrico de 4,0 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro, distribuídos uniformemente em assadeira com o auxílio de um bico de confeitar nº 2 (circular, com diâmetro de 0,5 cm). Os biscoitos foram assados em um fogão Esmaltec, a 200 °C, por 15 minutos, sendo posteriormente resfriados naturalmente à temperatura ambiente. Após completo resfriamento, os biscoitos foram acondicionados em embalagens plásticas apropriadas para alimentos e selados a vácuo. As amostras foram identificadas de acordo com cada tratamento e mantidas em temperatura ambiente, protegida de luz e umidade até a realização das análises físico-químicas e tecnológicas.

O soro de queijo utilizado nas formulações foi caracterizado quanto ao pH, sólidos totais, proteínas e lipídios. O pH foi determinado por potenciometria, conforme os Métodos Oficiais para Análise de Produtos de Origem Animal do MAPA; o teor de sólidos totais, pelo método gravimétrico AOAC 925.23; e o teor de proteínas, pelo método de Kjeldahl, conforme AOAC 991.20. O teor de lipídios foi determinado pelo método gravimétrico estabelecido na ISO 23318:2022. Todas as determinações foram realizadas em triplicata, sendo os resultados expressos como média ± desvio-padrão.

A composição centesimal dos biscoitos de polvilho foi determinada por meio das análises de umidade, cinzas, lipídios e proteínas, de acordo com métodos oficiais da AOAC International (2023). Previamente às determinações, amostras representativas de cada formulação foram trituradas e homogeneizadas, sendo as análises realizadas em triplicata. O teor de umidade foi determinado por método gravimétrico de secagem em estufa, conforme

AOAC 925.10; as cinzas, por incineração em forno mufla, segundo AOAC 923.03; os lipídios, pelo método de hidrólise ácida seguida de extração gravimétrica, conforme AOAC 922.06; e o teor de proteínas, pela determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldahl, conforme AOAC 920.87, utilizando-se fator de conversão adequado à matriz. O teor de carboidratos totais foi estimado por diferença, conforme a equação: Carboidratos (%) = 100 − [umidade (%) + proteínas (%) + lipídios (%) + cinzas (%)]. Os resultados foram expressos em g/100 g de amostra, como média ± desvio-padrão.

As propriedades tecnológicas dos biscoitos foram avaliadas após o resfriamento, utilizando-se unidades selecionadas aleatoriamente de cada formulação e mantendo-se o mesmo número de repetições entre os tratamentos. Foram determinados o índice de expansão, volume específico, densidade aparente, cor instrumental e textura.

O índice de expansão foi determinado a partir das dimensões dos biscoitos antes e após o assamento, mensuradas com paquímetro digital, conforme metodologia adaptada de Maeda e Cereda (2001) e Fernandes et al. (2015). O volume específico foi obtido pelo método de deslocamento de sementes, conforme Montenegro et al. (2008), e calculado pela razão entre o volume (V) e a massa (m) do biscoito (VE = V/m), sendo expresso em cm^3/g. A densidade aparente foi calculada pela relação inversa entre massa e volume ($\rho = m/V$), expressa em g/cm^3. A cor instrumental dos biscoitos foi determinada utilizando colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Sensing, Japão), previamente calibrado, sendo registrados os parâmetros L*, a* e b* no sistema CIE L*a*b*, conforme ISO/CIE 11664-4:2019.

A textura dos biscoitos foi avaliada instrumentalmente por meio da determinação da dureza, conforme metodologia descrita por Montenegro et al. (2008) com adaptações. As análises foram realizadas em analisador de textura TA.XTplusC (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) equipado com dispositivo de flexão em três pontos (*3-Point Bending Rig*, probe HDP/3PB). Os biscoitos foram posicionados horizontalmente sobre os apoios do dispositivo, mantendo-se distância de 40 mm entre os pontos de apoio. Foram adotadas as seguintes condições de ensaio: velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 3,0 mm/s e velocidade pós-teste de 10,0 mm/s. A dureza foi determinada pela força máxima necessária para provocar a ruptura da amostra, sendo expressa em Newton (N). Foram realizadas dez determinações para cada formulação, utilizando-se uma unidade de biscoito em cada ensaio. Os resultados das análises tecnológicas foram utilizados para avaliar as modificações estruturais decorrentes da substituição parcial ou total da água por soro de queijo nas formulações.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar, versão 6.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a caracterização físico-química do soro de queijo, considerando os parâmetros pH, sólidos totais, proteínas e lipídios, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização físico-química do soro de queijo utilizado na elaboração dos biscoitos de polvilho.

Parâmetro	Valor
pH	6,30 ± 0,01
Sólidos totais (g/100 mL)	6,23 ± 0,05
Proteínas (g/100 g)	0,84 ± 0,40
Lipídios (g/100 g)	0,32 ± 0,21

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Os resultados estão expressos como média ± desvio-padrão de determinações realizadas em triplicata (n = 3).

Os resultados obtidos foram compatíveis com a composição característica de soro doce de queijo muçarela. Gernigon et al. (2009) encontraram pH de 6,38 ± 0,15 e sólidos totais de 6,06 ± 0,17 g/100 g em soro de muçarela, valores próximos aos observados neste estudo (6,30 e 6,20 g/100 mL, respectivamente). Os teores de proteínas (0,80 g/100 g) e lipídios (0,30 g/100 g) também se mostraram coerentes com valores encontrados por Franceschi et al. (2023) para soros doces, em torno de 0,82 e 0,49 g/100 g, respectivamente.

Os resultados da composição centesimal dos biscoitos de polvilho, referentes aos teores de umidade, cinzas, lipídios e proteínas, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Composição centesimal dos biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de substituição da água por soro de queijo.

Parâmetros (%)	F0 (0%, controle)	F1 (50%)	F2 (100%)
Umidade	$5,01^{a}$ ± 0,35	$5,06^{a}$ ± 0,12	$5,08^{a}$ ± 0,40
Cinzas	$1,64^{a}$ ± 0,11	$1,67^{ab}$ ± 0,36	$1,76^{b}$ ± 0,29
Proteínas	$1,60^{a}$ ± 0,34	$1,70^{b}$ ± 0,98	$1,78^{b}$ ± 0,85
Lipídios	$31,40^{a}$ ± 0,29	$31,33^{a}$ ± 0,65	$31,16^{a}$ ± 0,26
Carboidratos	$60,35^{a}$ ± 0,29	$60,24^{a}$ ± 0,74	$60,22^{a}$ ± 0,43

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: Os resultados estão expressos como m*édias* ± desvio padrão com letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A substituição da água por soro de queijo não promoveu diferenças significativas ($p > 0,05$) nos teores de umidade, lipídios e carboidratos. Em contrapartida, F2 apresentou maior teor de cinzas que F0, enquanto F1 apresentou comportamento intermediário, indicando contribuição dos minerais presentes no soro. As formulações F1 e F2 também apresentaram maior teor proteico que o controle ($p < 0,05$), sem diferença entre si. Tendência semelhante foi observada por Alexa et al. (2026) em biscoitos sem glúten enriquecidos com soro, nos

quais a incorporação desse coproduto aumentou significativamente os teores de proteínas e minerais. A menor magnitude das alterações neste estudo pode ser atribuída ao uso de soro líquido, que apresenta baixa concentração de sólidos, diferentemente do soro em pó empregado pelos autores.

Os resultados das propriedades tecnológicas dos biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de substituição da água por soro de queijo estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades tecnológicas dos biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de substituição da água por soro de queijo.

Parâmetros	F0 (0%, controle)	F1 (50%)	F2 (100%)
Índice de expansão[1]	$1,80^{a} \pm 0,06$	$1,75^{a} \pm 0,03$	$1,68^{b} \pm 0,09$
Volume específico (mL/g)	$4,80^{a} \pm 0,23$	$4,64^{a} \pm 0,47$	$4,36^{b} \pm 0,33$
Densidade aparente (g/cm³)	$0,21^{a} \pm 0,07$	$0,22^{a} \pm 0,03$	$0,23^{a} \pm 0,05$
L*	$74,00^{a} \pm 0,20$	$70,00^{b} \pm 0,22$	$66,00^{c} \pm 0,29$
a*	$3,00^{a} \pm 0,12$	$4,00^{b} \pm 0,34$	$5,50^{c} \pm 0,16$
b*	$20,00^{a} \pm 0,32$	$22,00^{ab} \pm 0,63$	$24,00^{b} \pm 0,81$
Dureza (N)	$18,00^{a} \pm 0,94$	$21,00^{ab} \pm 1,04$	$24,00^{b} \pm 1,60$

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nota: [1]Considerando o índice de expansão calculado pela relação entre a dimensão após e antes do assamento. Os resultados estão expressos como m*édias* ± desvio padrão com letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A substituição total da água por soro de queijo reduziu significativamente o índice de expansão e o volume específico ($p < 0,05$), enquanto F0 e F1 não diferiram entre si, indicando que a substituição de 50% preservou melhor a capacidade de expansão dos biscoitos. Os volumes específicos obtidos (4,36–4,80 mL/g) encontram-se na faixa de baixa expansão (<5 mL/g) proposta para produtos de polvilho azedo por Ferreira et al. (2025). A densidade apresentou pequeno aumento com a adição de soro, porém sem diferença significativa entre as formulações, resultado coerente com sua relação inversa com o volume específico.

Kazerski et al. (2022) estudando produtos à base de amido de mandioca também demonstram que alterações na formulação modificam significativamente a expansão e a estrutura do produto assado. A substituição pelo soro também promoveu alterações significativas na cor, com redução de L* e aumento de a* e b*, indicando biscoitos progressivamente mais escuros, avermelhados e amarelados. Tendência semelhante foi observada por Zhu et al. (2023) em biscoitos sem glúten adicionados de concentrado proteico de soro, nos quais o aumento do ingrediente lácteo intensificou o escurecimento e modificou a textura. A dureza aumentou de 18 para 24 N, sendo F1 estatisticamente intermediária entre F0 e F2, sugerindo estrutura mais firme com a substituição total. Zhu et al. (2023) também observaram aumento da dureza e fragilidade em determinadas concentrações de proteína de soro, atribuído à gelificação das proteínas e às interações

proteína-amido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do soro de queijo muçarela mostrou-se viável na elaboração de biscoitos de polvilho, promovendo aumento nos teores de proteínas e cinzas sem alterar significativamente a umidade, os lipídios e os carboidratos. A substituição de 50% da água pelo soro manteve o índice de expansão e o volume específico semelhantes ao controle, enquanto a substituição total reduziu essas propriedades e resultou em biscoitos mais escuros e firmes. Assim, a substituição parcial da água por soro de queijo apresenta-se como alternativa promissora para valorização desse coproduto, preservando as principais características tecnológicas do produto.

REFERÊNCIAS

ALEXA, Ersilia; FLUERASU, Diana; ARGYELAN, Cristian; STOIN, Daniela; JIANU, Călin; NEAGU, Christine; DOSSA, Sylvestre; NEGREA, Monica; BERBECEA, Adina; SUBA, Mariana; IANĂȘI, Cătălin. Valorization of whey as a natural functional ingredient in gluten-free rice biscuits: formulation, optimization, and chemical profiling. *Applied Sciences*, v. 16, n. 12, 6081, 2026. DOI: 10.3390/app16126081.

AOAC INTERNATIONAL. *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL*. 22. ed. Editado por George W. Latimer Jr. Rockville, MD: AOAC International, 2023. DOI: 10.1093/9780197610145.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Métodos oficiais para análise de produtos de origem animal*. 1. ed. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022.

FERNANDES, Daiana de Souza; DEL BEM, Marília Sbragia; SORROCHE, Camila; LEONEL, Magali; LEONEL, Sarita. Elaboração de pão de queijo adicionado com farinha de banana verde: características físicas e sensoriais. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 11, n. 1, p. 56-65, 2015. DOI: 10.17766/1808-981X.2015v11n1p56-65.

FERREIRA, Cássia Berlesi Brigatto; BACH, Daniele; WOJEICCHOWSKI, José Pedro; LACERDA, Luiz Gustavo; ALBERTI, Aline; DEMIATE, Ivo Mottin. Revolutionizing gluten-free baking: the role of cassava sour starch in specialty breads. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 68, e25241051, 2025. DOI: 10.1590/1678-4324-2025241051.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FRANCESCHI, Piero; MARTUZZI, Francesca; FORMAGGIONI, Paolo; MALACARNE, Massimo; SUMMER, Andrea. Seasonal variations of the protein fractions and the mineral contents of the cheese whey in the Parmigiano Reggiano cheese manufacture. *Agriculture*, v. 13, n. 1, 165, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13010165.

GERNIGON, Gwénolé; PIOT, Michel; BEAUCHER, Eric; JEANTET, Romain; SCHUCK,

Pierre. Physicochemical characterization of Mozzarella cheese wheys and stretchwaters in comparison with several other sweet wheys. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 11, p. 5371–5377, 2009. DOI: 10.3168/jds.2009-2359.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 23318:2022 | IDF 249:2022: *Milk, dried milk products and cream — Determination of fat content — Gravimetric method*. Geneva: ISO, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. ISO/CIE 11664-4:2019: *Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space*. Geneva: ISO, 2019.

IUGA, Mădălina; BOESTEAN, Olga; GHENDOV-MOSANU, Aliona; MIRONEASA, Silvia. Impact of dairy ingredients on wheat flour dough rheology and bread properties. *Foods*, v. 9, n. 6, 828, 2020. DOI: 10.3390/foods9060828.

KAZERSKI, Rosemeri Teresinha da Silva; BIDUSKI, Bárbara; WEBER, Fernanda Hart; PLATA-OVIEDO, Manuel Salvador Vicente; GUTKOSKI, Luiz Carlos; BERTOLIN, Telma Elita. Substitution of chemically modified corn starch with heat-moisture treated cassava starch in Brazilian *pão de queijo*. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 28, 100541, 2022. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2022.100541.

MAEDA, Kelly Cristina; CEREDA, Marney Pascoli. Avaliação de duas metodologias de expansão ao forno do polvilho azedo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 139-143, 2001. DOI: 10.1590/S0101-20612001000200003.

MONTENEGRO, Flavio Martins; GOMES-RUFFI, Cristiane Rodrigues; VICENTE, Cláudia Aparecida; COLLARES-QUEIROZ, Fernanda Paula; STEEL, Caroline Joy. Biscoitos de polvilho azedo enriquecidos com fibras solúveis e insolúveis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, supl., p. 184-191, 2008. DOI: 10.1590/S0101-20612008000500029.

MOTA, João; MOURA-ALVES, Márcio; TEIXEIRA, Ana Francisca; NÓBREGA, Rafaela; LAMEIRÃO, Diogo; GONÇALVES, Carla. From cheese whey to functional ingredients: upcycling whey proteins for cardiovascular and immunomodulatory health—evidence mapping and perspectives from Portugal. *Foods*, v. 15, n. 5, 908, 2026. DOI: 10.3390/foods15050908.

PIRES, Arona Figueroa; MARNOTES, Natalí Garcia; RUBIO, Olga Díaz; GARCIA, Angel Cobos; PEREIRA, Carlos Dias. Dairy by-products: a review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, v. 10, n. 5, 1067, 2021. DOI: 10.3390/foods10051067.

ZHU, Lijia; SNIDER, Luke; VU, Thanh Hien; DESAM, Gnana Prasuna; HERALD, Tomas J.; DOGAN, Hulya; KHALED, Alfadhl Y.; ADEDEJI, Akinbode A.; ALAVI, Sajid. Effect of whey protein concentrate on rheological properties of gluten-free doughs and their performance in cookie applications. *Sustainability*, v. 15, n. 13, 10170, 2023. DOI: 10.3390/su151310170.

CAPÍTULO 45

MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO DE SISTEMAS ANTI-GRANIZO EM POMARES DE MAÇÃ

Kleber Trabaquini[1];
[1]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.
http://lattes.cnpq.br/5680348426925268
Maêve Silveira Castelo Branco[2];
[2]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC
http://lattes.cnpq.br/6222069160178631
Marcelo Cruz de Liz[3].
[3]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC
http://lattes.cnpq.br/0310867911612371

RESUMO: A produção de maçãs na Serra Catarinense enfrenta desafios devido a tempestades de granizo, impulsionando a adoção de redes plásticas de proteção. Este trabalho objetivou aplicar uma metodologia de sensoriamento remoto baseada em imagens de alta resolução espacial do satélite CBERS-4A e inteligência artificial para o mapeamento automatizado de pomares com telas antigranizo. Utilizou-se o sensor WPM com fusão de imagens (*pansharpening*) para gerar produtos com 2 metros de resolução espacial nas classes: pomar sem tela, tela branca e tela preta. A segmentação semântica pixel a pixel foi conduzida pela arquitetura U-Net acoplada ao codificador ResNet-18, inicializado com pesos pré-treinados do ImageNet via *transfer learning*, além de validação por verdade de campo. Os resultados revelaram que, dos 12.198 ha de pomares da região, 2.335 ha utilizam telas antigranizo, representando uma taxa de adoção regional de 19,14%. São Joaquim lidera em área absoluta (1.805 ha), enquanto Urupema apresenta a maior cobertura proporcional (40,48%). A abordagem baseada em Aprendizado Profundo demonstrou alta precisão na extração de feições geométricas complexas, consolidando-se como ferramenta viável para o monitoramento em larga escala e suporte à tomada de decisões na agricultura digital.
PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial. Sensoriamento Remoto. Monitoramento Agrícola.

REMOTE SENSING MAPPING OF ANTI-HAIL PROTECTION SYSTEMS IN APPLE ORCHARDS

ABSTRACT: Apple production in the Mountain Region of Santa Catarina faces severe challenges due to hailstorms, driving the adoption of protective plastic nets. This study

aimed to apply a remote sensing methodology based on high-spatial-resolution imagery from the CBERS-4A satellite and artificial intelligence for the automated mapping of orchards under anti-hail screens. Data from the WPM sensor was processed using pansharpening to generate 2-meter resolution products, categorized into three classes: orchard without screen, white screen, and black screen. Pixel-by-pixel semantic segmentation was performed using the U-Net architecture coupled with a ResNet-18 backbone, initialized with pre-trained ImageNet weights via transfer learning, and validated through ground truth. The results revealed that out of 12,198 ha of orchards in the region, 2,335 ha utilize anti-hail screens, representing a regional adoption rate of 19.14%. São Joaquim leads in absolute area (1,805 ha), while Urupema shows the highest proportional coverage (40,48%). The Deep Learning-based approach demonstrated high precision in extracting complex geometric features, establishing itself as a viable tool for large-scale monitoring and decision-making support in digital agriculture.
KEYWORDS: Artificial Intelligence. Remote Sensing. Agricultural Monitoring.

INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina destaca-se como o maior produtor nacional de maçã, sendo a pomicultura um dos pilares socioeconômicos mais relevantes do agronegócio catarinense, especialmente na região serrana (IBGE, 2025). No entanto, a produção dessa cultura é recorrentemente ameaçada por adversidades climáticas, com destaque para a precipitação de granizo.

A vulnerabilidade dos pomares a desastres meteorológicos, especialmente tempestades de granizo, tem levado a uma mudança significativa nas práticas de manejo. Recentemente, tem-se observado um aumento notável no uso de coberturas de redes plásticas anti-granizo em pomares comerciais (BIFFI et al. 2000).

O sensoriamento remoto, integrado a técnicas de inteligência artificial (IA), tornou-se uma ferramenta indispensável para avaliar diversos problemas relacionados à agricultura. Especificamente na fruticultura, o desenvolvimento de métodos de Deep Learning (DL) aplicados a imagens adquiridas em diferentes níveis tem permitido avanços no mapeamento e na identificação dos pomares em nível orbital (TUFAIL et al., 2025).

A aplicação de redes convolucionais para o mapeamento de culturas agrícolas e estruturas de proteção em dados orbitais tem sido amplamente respaldada na literatura. Tetteh et al. (2021) demonstraram a eficácia da U-Net na identificação de pomares de frutas explorando respostas espectro-temporais, enquanto Guan et al. (2022) ressaltaram a capacidade da arquitetura em mapear coberturas plásticas e telas agrícolas, superando a inconsistência provocada pela alteração no sinal do Infravermelho Próximo (NIR). Complementarmente, Chen et al. (2020) evidenciaram a capacidade da U-Net na delimitação precisa de parcelas sob sensores orbitais multiespectrais. Portanto o método U-Net tem sido uma alternativa em relação aos métodos tradicionais de classificação por limiarização (JI et al. 2020).

Este trabalho explora como o sensoriamento remoto pode ser utilizado para o mapeamento de sistemas de telas anti-granizo em pomares comerciais, como é o caso da região serra Catarinense, onde concentram mais de 80% do cultivo do estado.

OBJETIVO

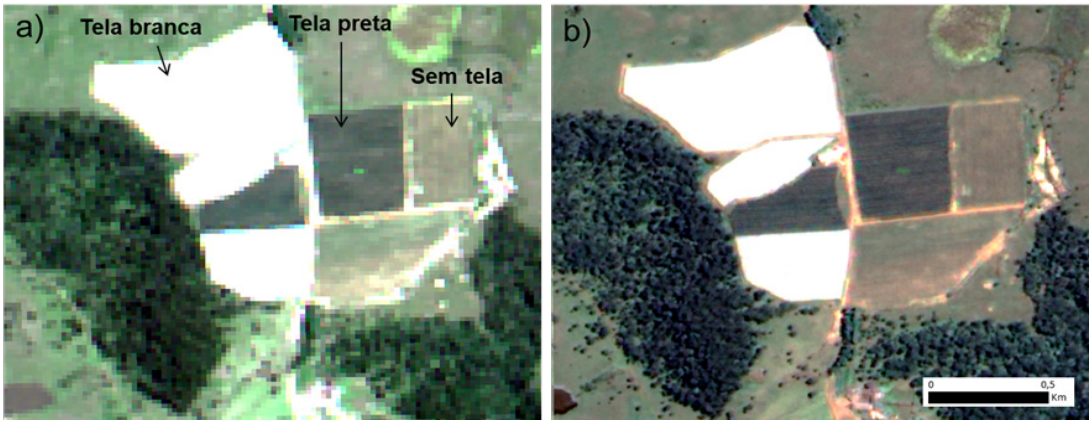
Este trabalho tem por objetivo aplicar uma metodologia de sensoriamento remoto utilizando imagens de alta resolução espacial CBERS-4A e rede neural convolucional *U-Net como solução* eficaz para a extração automatizada de feições com geometrias complexas e detalhadas, neste caso os pomares com telas anti-granizo.

METODOLOGIA

O mapeamento foi realizado através do satélite CBERS-4A (China-Brazil Earth-Resources Satellite), um programa de cooperação tecnológica entre China e Brasil onde traz o sensor Multiespectral e Pancromático Wide-Scan Camera (WPM) distribuído pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O CBERS-4A possui cinco bandas espectrais: Banda 1, Banda 2, Banda 3 e Banda 4, com resolução espacial de 8 m, correspondente ao azul (450-520 nm), verde (520-590 nm), vermelho (630-690 nm) e infravermelho próximo (770-890 nm). Além disso, este satélite possui uma banda pancromática (Banda PAN) com comprimento de onda de 450-900 nm e resolução espacial de 2 m.

As bandas multiespectrais originais, com resolução espacial de 8 metros, foram integradas à banda pancromática (PAN) de 2 metros (*pansharpening*). Esse procedimento gerou um produto final composto com resolução espacial de **2 metros** (Figura 1). Nesta etapa também foram preparadas as amostras para o modelo U-Net, onde é treinado para a interpretação da cena restante. Na Figura 1 é apresentando um exemplo de um pomar coberto por tela branca, preta e um pomar sem tela. Portanto, foram definidas três classes mutuamente exclusivas: Pomar Sem Tela (Classe 0), Tela Branca (Classe 1) e Tela Preta (Classe 2).

Figura 1. Imagem CBERS-4A de 8 m de resolução com destaque para os pomares sem cobertura e os cobertos com telados branco e preto (a) e a mesma cena após processamento *pansharpening (*fusionada de 2 m) (b).



Com o objetivo de padronizar a escala de entrada e mitigar variações de iluminação causadas por eventuais efeitos de geometria de iluminação e sombreamento, aplicou-se uma normalização radiométrica Z-score de forma individualizada para cada banda espectral *b*:

$$Z_B = \frac{X_b - D_b}{O_b + \mathrm{p}}$$

Onde X_b representa a refletância do pixel, e denotam a média e o desvio-padrão da respectiva banda na imagem, e = 10^{-5} é um fator de estabilização numérico. Essa transformação Z-Score é essencial para equalizar a resposta dinâmica e realçar as respostas espectrais intrínsecas das telas em relação ao *background* (solo).

A segmentação semântica pixel a pixel foi conduzida utilizando a arquitetura U-Net acoplada a um codificador (*backbone*) ResNet-18, inicializado com pesos pré-treinados no conjunto de dados *ImageNet* via *transfer learning*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

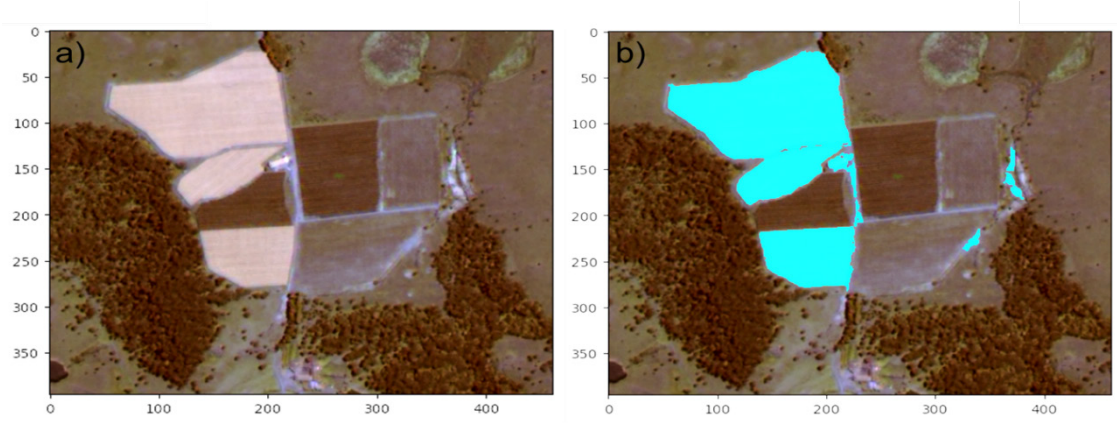
A análise proporcional entre a área mapeada com coberturas protetoras e a área total cultivada com pomares (IBGE) revelou variações significativas na taxa de adoção dessa tecnologia entre os municípios avaliados. Em termos absolutos, São Joaquim lidera com 1.805 ha protegidos, o que representa 20,06% do seu total cultivado (9.000 ha). Contudo, em termos relativos, Urupema e Painel apresentam os maiores índices de cobertura proporcional, com 40,48% (253 ha de 625 ha) e 32,57% (114 ha de 350 ha) de suas áreas de pomares sob tela, respectivamente. Bom Retiro registrou 20,67% de adoção (31 ha de 150 ha). Por outro lado, municípios como Urubici (6,94% — 42 ha de 605 ha) e Bom Jardim da Serra (6,57% — 90 ha de 1.370 ha) apresentaram baixas taxas de cobertura sintética, enquanto Rio Rufino não registrou estruturas de proteção (0%). No panorama consolidado da região, dos 12.198 ha de pomares declarados pelo IBGE, 2.335 ha utilizam telas antigranizo, o que equivale a uma taxa de adoção regional de 19,14% (Tabela 1). Os resultados da tabela são mostrados somando as telas pretas e brancas, sem distinção no presente estudo.

Tabela 1. Relação de áreas de pomares de maçã protegidas por telas antigranizo por município na Serra Catarinense.

Município	**Pomares com tela (ha)**	Área cultivada (ha) - IBGE	**Proporção/ Cobertura (%)**
São Joaquim	1.805	9.000	20,06
Bom Jardim da Serra	90	1.370	6,57
Urubici	42	605	6,94
Urupema	253	625	40,48
Painel	114	350	32,57
Bom Retiro	31	150	20,67
Rio Rufino	0	98	0
Total	**2.335**	**12.198**	**20**

A Figura 2 apresenta a comparação entre a composição em cor verdadeira da imagem do satélite CBERS-4A (Figura 2a) e o resultado do mapeamento automático de pomares cobertos com tela (Figura 2b). Observa-se que o algoritmo (U-Net) foi capaz de delimitar com elevada precisão geométrica a extensão contínua dos talhões telados de maior albedo (alta refletância), preservando as bordas reais das estruturas. Notam-se também pequenas áreas classificadas à direita do corpo principal, correspondentes a resíduos espectrais e bordas de estruturas secundárias que podem ser tratadas via filtro espacial de pós-processamento de área mínima.

Figura 2. Composição RGB em cor verdadeira mostrando os talhões agrícolas; (b) Sobreposição do resultado da classificação temática (em ciano), destacando a delimitação automática das estruturas de tela branca.



A validação dos mapas de segmentação semântica gerados pela rede U-Net foi realizada por meio de auditoria visual apoiada por verdade de campo (*ground truth*). Foram coletados registros fotográficos *in loco* em pontos estratégicos da área de estudo para documentar as características biofísicas e a geometria espacial dos alvos. Essas fotografias de campo permitiram confirmar de forma inequívoca a presença e a delimitação dos blocos de pomares sob cobertura de telas antigranizo, servindo como amostragem de referência

para atestar o acerto do modelo na distinção entre a classe de interesse e a vegetação do entorno (Figura 4).

Figura 3. Validação em campo da resposta espectral de pomares de macieira. Na imagem orbital (topo), delimitada em vermelho, observa-se o contraste radiométrico entre pomares cobertos por tela antigranizo preta (inferior esquerdo) e tela antigranizo branca (inferior direito).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento por sensoriamento remoto de sistemas antigranizo em pomares de maçã representa um pilar fundamental da agricultura digital. A crescente adoção de redes de proteção exige o desenvolvimento de sistemas de monitoramento orbitais que possam resultar em mapeamentos confiáveis e de alta acurácia. Nesse cenário, a abordagem desenvolvida neste estudo, utilizando a arquitetura U-Net/ResNet-18 acoplada a imagens do sensor WPM/CBERS-4A, demonstrou ser uma ferramenta viável e precisa para viabilizar esse monitoramento em larga escala. Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a validação e o teste deste modelo em diferentes regiões produtoras, bem como a avaliação do desempenho da rede utilizando imagens de novos sistemas orbitais e constelações de satélites com resoluções espaciais e temporais distintas.

REFERÊNCIAS

BIFFI, L. J., MITISHITA, E., LIESENBERG, V., SANTOS, A. A. D., GONÇALVES, D. N., ESTRABIS, N. V., SILVA, J. D. A., OSCO, L. P., RAMOS, A. P. M., CENTENO, J. A. S., SCHIMALSKI, M. B., RUFATO, L., NETO, S. L. R., MARCATO JUNIOR, J., & GONÇALVES, W. N. (2021). ATSS Deep Learning-Based Approach to Detect Apple Fruits. *Remote Sensing*, *13*(1), 54. https://doi.org/10.3390/rs13010054.

CHEN, Y., LU, D., MORAN, E., BATISTELLA, M., SILVA, R. F., & GUERRA, F. (2020). Mapping orchard distribution using Deep Learning with Sentinel-2 and Landsat-8 imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105584. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105584.

CSILLIK, O., CHERBINI, J., JOHNSON, R., LYONS, A., & KELLY, M. (2019). Identification of citrus trees from unmanned aerial vehicle imagery using deep learning and convolutional neural networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 155, 129-141. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. (Fonte dos dados oficiais de volume e área de produção).Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html.

GUAN, S., ZHU, Z., & SU, Y. (2022). Plastic greenhouse mapping from high-resolution satellite imagery using deep learning and spectral-spatial features. *Remote Sensing*, 14(3), 612. https://doi.org/10.3390/rs14030612

JI, S., WEI, S., & LU, M. (2020). *Fully convolutional networks for multisource remote sensing data segmentation*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 58(2), 1223-1238.

TETTEH, G. I., GOCHT, A., & FREYTAG, C. (2021). Fruit tree crop mapping using U-Net and Sentinel-2 time series data. *Remote Sensing*, 13(17), 3386. https://doi.org/10.3390/rs13173386

TUFAIL, R.; TASSINARI, P.; TORREGGIANI, D. Deep Learning Applications for Crop Mapping Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data and Red-Edge Vegetation Indices: Integrating Convolutional and Recurrent Neural Networks. *Remote Sens.* 2025, *17*, 3207.

CAPÍTULO 46

CONFORTO TÉRMICO DE SUÍNOS NA AMAZÔNIA – UMA REVISÃO DE ESCOPO

Bianca Izabelly Pereira Gomes[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Nathália de Lima Mendes[2];
[2]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Marco Túlio Santos Siqueira[3];
[3]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Marcela Rodrigues de Oliveira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[5];
[5]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Rodolfo Henrique Silva Pereira[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP, Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Isabella Mariano Machado[7].
[7]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707

RESUMO: Esta revisão de escopo busca sintetizar os principais conhecimentos da literatura científica acerca do bem-estar térmico de suínos na região Amazônica, identificando os principais indicadores de estresse térmico e as estratégias de mitigação adotadas pelo setor de produção. A revisão abrangeu pesquisas do período de 1970 até 2025 utilizando bases de busca online nas plataformas *SciELO, Portal de Periódicos da CAPES, PubMed, Scopus* e *Google Acadêmico.* Para a seleção de resultados foi utilizada a estratégia PCC (População, Conceito, Contexto) seguindo as diretrizes PRISMA-ScR. Como resultado, foram encontrados diferentes desafios entre as fases produtivas, apresentando um cenário de emergência para toda a cadeia de produção. Dentre as problemáticas se destacaram problemas nas instalações devido ao acúmulo de calor e a restrição dos confinamentos em gaiolas. As principais formas de mitigação destes problemas vêm através de ações multidisciplinares que atravessam desde a nutrição até o enriquecimento ambiental e o monitoramento automatizado via inteligência artificial. Concluiu-se que a gestão bioclimática integrada é essencial para a sustentabilidade da suinocultura regional.
PALAVRAS-CHAVE: Suinocultura. Amazônia. Bioclimatologia.

THERMAL COMFORT OF PIGS IN THE AMAZON – A SCOPING REVIEW

ABSTRACT: This scoping review aims to synthesize key findings from the scientific literature regarding the thermal well-being of pigs in the Amazon region, identifying primary heat stress indicators and mitigation strategies adopted by the production sector. The review covered research conducted between 1970 and 2025, utilizing online databases such as SciELO, the CAPES Journal Portal, PubMed, Scopus, and Google Scholar. Results were selected using the PCC (Population, Concept, Context) framework in accordance with PRISMA-ScR guidelines. The findings reveal distinct challenges across production stages, presenting an urgent situation for the entire production chain. Notable issues include facility-related problems caused by heat accumulation and the constraints of cage confinement. Key mitigation strategies involve multidisciplinary approaches ranging from nutrition and environmental enrichment to automated monitoring via artificial intelligence. The study concludes that integrated bioclimatic management is essential for the sustainability of regional swine production.
KEYWORDS: Pig farming. Amazon. Bioclimatology.

INTRODUÇÃO

A região Amazônica é caracterizada por seu clima tropical e equatorial, é predominantemente quente e úmida e mantém médias de temperatura e umidade relativa alto sendo um desafio constante para o conforto térmico de animais de produção (ALVES, 2026). O avanço do aquecimento global e as mudanças dos microclimas no bioma amazônico apenas intensificaram o estresse térmico regional e o desempenho na criação de suínos, tornando o clima amazônico um dos cenários bioclimáticos mais severos e limitantes de desenvolvimento para a exploração da suinocultura. Paralelamente a este acontecimento, a crescente tecnificação do setor agropecuário tornou necessário elevar cada vez mais a eficiência nos sistemas de produção de suínos (Machado Filho e Hötzel, 2000; Campos, 2010). A criação de suínos comerciais que até então era desenvolvida de maneira extensiva e com pouca mão de obra envolvida teve que se adaptar ao modo de criação intensivo, utilizando o confinamento como principal ferramenta, reduzindo o espaço de trabalho e necessitando e mão de obra mais especializada. Com esta mudança de panorama houve um impacto direto no bem-estar dos animais, desencadeando quadros de estresse crônico, causando um desequilíbrio no sistema imunológico e favorecendo o surgimento de patologias, além de comprometer o desempenho zootécnico (PANDORFI et al., 2006; HEMSWORTH et al., 1996).

OBJETIVO

Mapeamento e sintetize acerca da literatura científica sobre o bem-estar térmico de suínos na região amazônica, identificando os principais indicadores de estresse térmico, estratégias de mitigação adotadas na região até então.

METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico para esta pesquisa abrangeu período de 1970 a 2025 em uma coleta de dados extensa nas plataformas *SciELO, Portal de Periódicos da CAPES, PubMed, Scopus* e *Google Acadêmico*. O desenvolvimento segue as diretrizes do PRISMA-ScR utilizando a estrutura População, Conceito e Contexto (PCC), onde População refere-se ao suíno, Conceito refere-se a bem-estar e Contexto refere-se à Amazônia.

Como estratégia de busca foram utilizadas combinações de termos chaves por meio conectores (E) e (OU): "suínos" (OU) "swine" (E) "bem-estar térmico" (OU) "conforto térmico" (OU) "estresse térmico" (E) "Amazônia" (OU) "amazon" (OU) "Amazonas".

Para legitimar a elegibilidade das pesquisas utilizadas foram criados critérios de inclusão onde se priorizou artigos e teses originais tanto em português quanto em inglês e espanhol, realizados na Amazônia e focados em variáveis bioclimáticas (ITU, Temperatura, Umidade), variáveis fisiológicas (Frequência respiratória, Temperatura Retal) ou mitigação térmica para suínos.

Quadro 1. Artigos selecionados através das diretrizes PRISMA-ScR do período de 1970 até 2025.

Autor	Ano	Problemática	Solução Proposta	Fase de Vida do Suíno
Hinde	1970	Estresse microclimático	Enriquecimento ambiental e adequação da estrutura física do alojamento	Todas as fases
Stephens	1980	Estresse ambiental/ térmico e respostas fisiológicas	Monitoramento fisiológico do estresse e adaptação do microclima das instalações	Suínos em crescimento
Toates	1980	Falha nos mecanismos de homeostase e termorregulação	Aplicação de modelos sistêmicos para controle de variáveis ambientais e térmicas	Todas as fases
Barnett, Hemsworth et al.	1984	Desconforto térmico e estresse fisiológico	Adequação do tipo de piso/cama e melhoria no ambiente para favorecer a termorregulação	Porcas gestantes e suínos jovens
Price	1984	Inadaptabilidade ambiental e comportamental	Adequação das instalações às necessidades fisiológicas e térmicas da espécie	Todas as fases
Hemsworth, Barnett et al.	1989	Estresse térmico e desconforto ambiental	Otimização no design das instalações de alojamento e manejo positivo para reduzir o estresse crônico	Porcas em reprodução / gestação
Hemsworth, Barnett et al.	1995	Flutuações microclimáticas e estresse térmico nas instalações de maternidade	Controle das condições microclimáticas nas salas de parto e mitigação de estressores	Porcas em lactação e leitões

Wegner et al.	2014	Impactos de variações climáticas na fertilidade e na mortalidade de leitões	Controle das condições ambientais para mitigar os efeitos do clima	Matrizes (Porcas) e Leitões
Waberski et al.	2019	Estresse térmico e fatores ambientais que afetam a qualidade do sêmen preservado	Aplicação de técnicas avançadas de preservação e uso eficiente de sêmen na inseminação artificial	Reprodutores (Garraões/ Machos)
Zhao et al.	2019	Queda no desempenho e estresse térmico em condições de elevado calor e umidade	Ajuste nutricional na dieta	Matrizes (Porcas em lactação) e Leitões
Vicente-Pérez	2021	Vulnerabilidade às mudanças climáticas baseada em índices bioclimáticos	Avaliação e adaptação dos sistemas de alojamento	Todas as fases
Zhuang et al.	2025	Estresse térmico em sistemas de alojamento por celas/gaiolas	Monitoramento de parâmetros fisiológicos por *machine learning*	Matrizes (Porcas gestantes)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estresse térmico na suinocultura regional

O bem-estar animal é considerado como o estado em que o indivíduo através de suas tentativas de se adaptar ao meio em que vive tem sucessos superiores aos fracassos (BROOM, 1986; OLIVEIRA; SILVA, 2023). Quando se avalia o conforto térmico e ambiental destes, apoia-se principalmente no princípio das Cinco Liberdades estabelecidas pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC, 2012) que atualmente é amplamente utilizado na criação de animais de produção. Considerando: liberdade fisiológica, ambiental, sanitária, comportamental e psicológica.

Em regiões de clima tropical e equatorial como o bioma amazônico, que vem enfrentando profundas variações microclimáticas nas últimas décadas (MARENGO et al., 2008; GOMES, 2015), a temperatura ambiente tem atingido frequentemente marcas de 30 °C a 38 °C (AYOADE, 1991; SANTOS et al., 2022). Estas condições climáticas contribuem para aumentar a carga de estresse térmico para muitos animais de produção que sofrem com a combinação de altas temperaturas com alta umidade devido a flora local (ALVES,2026).

Sob tais condições, o estresse térmico configura-se como um dos entraves bioclimáticos mais severos para a suinocultura, especialmente em sistemas de confinamento que visam uma criação mais controlada e tecnificada (SEVEGNANI et al., 1994; VICENTE-PÉREZ, 2021). Os ambientes com elevadas temperaturas e umidade alta ultrapassam a capacidade de dissipação de calor dos animais, o que exige a mensuração por meio de índices de temperatura e umidade (ITU) para readequar instalações e mitigar prejuízos zootécnicos (VICENTE-PÉREZ, 2021).

Ao se deparar em uma situação de estresse por calor, o suíno altera seu padrão

comportamental a fim de mitigar os efeitos do clima: deitando sobre superfícies úmidas ou sombreadas, reduzindo o consumo de alimentos para diminuir o incremento calórico digestivo, aumentando a ingestão de água e acelerando as frequências cardíaca e respiratória (PEREIRA et al., 2005). A criação na região Amazônica enfrenta restrições severas devido à biologia da própria espécie. Suínos não possuem glândulas sudoríparas funcionais o que os incapacita de regular a temperatura através da evaporação do suor na pele de maneira eficiente (INGRAM, 1965; SAMPAIO, 2020; SILVA et al., 2024)

Instalações que não são equipadas com sistemas de ventilação adequados e/ou com pisos que dificultam a troca térmica (concreto, plástico liso, compactados) aumentam o estresse fisiológico pois dificultam a troca de temperatura da superfície com o ambiente (BARNETT et al., 1984; PRICE, 1984). A região exige um olhar mais focado em relação ao redirecionamento solar e isolamento térmico, a instalação deve funcionar de modo que não acumule calor radiante durante todo o dia (AYOADE, 1991; SILVA et al., 2024).

Além disso, muitos confinamentos usam por padrão baias ou gaiolas o que impede a expressão de comportamentos termorregulatórios naturais necessários para o ambiente, caracterizando um prejuízo direto à liberdade comportamental e ambiental (HEMSWORTH et al., 1989; PRICE, 1984). A falta de espaço impede que os animais possam acessar áreas sombreadas ou pisos mais frios ou molhados para realizar suas trocas térmicas. A exposição contínua a condições microclimáticas adversas supera os limites adaptativos da espécie, que já é bastante limitada, provocando falhas crônicas nos mecanismos de controle térmico atingindo toda a cadeia de produção suína (HINDE, 1970; STEPHENS, 1980; TOATES, 1980). Esse desequilíbrio afeta negativamente o sistema imunológico e o padrão fisiológico geral dos suínos, acarretando no seu baixo desempenho zootécnico e no bem-estar dos indivíduos (STEPHENS, 1980).

A importância da identificação da fase de desenvolvimento do animal

Mesmo que os suínos tentem manter a homeostase térmica controlando a temperatura interna para que ela seja regulada independente do ambiente, a tolerância individual e a resposta fisiológica ao meio térmico tem um peso diretamente em seu desempenho (TINOCO, 1996; FERREIRA, 2011). As respostas podem variar consideravelmente quando a fase de desenvolvimento e categoria do animal é analisada.

Para os machos reprodutores, o estresse calórico especificadamente compromete a espermatogênese e prejudica a motilidade e integridade funcional do sêmen através da baixa deposição líquida no meio (WABERSKI et al., 2019). Esse entrave reduz as taxas de concepção e a eficiência dos programas de inseminação artificial causando o baixo desempenho zootécnico tanto do reprodutor quanto da sua progênie (WABERSKI et al., 2019).

Em porcas gestantes e em lactação o estado de exigência energética aumenta e estas acabam desenvolvendo durante este período uma elevada carga metabólica. Variações microclimáticas na maternidade impactam direta e negativamente o consumo diário de

ração e a produção de leite, refletindo em queda de fertilidade e maior taxa de mortalidade pré-desmame dos seus leitões (WEGNER et al., 2014; ZHAO et al., 2019). Além disso, o confinamento restritivo em gaiolas, que é ainda a principal realidade em granjas comerciais da região, eleva o desconforto calórico da matriz gestante (ZHUANG et al., 2025).

Já no ambiente da maternidade é apresentado um paradoxo climático, onde o leitão recém-nascido necessita de altas temperaturas no ambiente, pois não tem capacidade de se auto regular ainda, enquanto a porca exige temperaturas significativamente menores já que seu corpo produz uma quantidade significamente maior de calor (WEGNER et al., 2014). A inconsistência climática criada pelo microclima ainda sofre com a ação direta das temperaturas altas da região o que pode causar uma desregulação térmica no leitão levando a mortalidade e a um desequilíbrio de energia da porca que ao priorizar o gasto de energia na regulação térmica em substituição a produção de leite.

Nas fases de crescimento e terminação, os animais atingem a zona crítica de estresse térmico em torno de 27 °C (BRIDI, 2010), o que já esta perigosamente abaixo da temperatura do ambiente ao redor dela. Em temperaturas superficiais mais altas, com acréscimo de até 9,5% sob 32 °C comparado a 22 °C (MANNO et al., 2006), há o risco real de superaquecimento e óbito caso o calor persistir (BRIDI, 2010). Muitas vezes os animais ficam em baias coletivas altamente povoadas o que eleva o desconforto físico e térmico.

Estratégias de mitigação encontradas

Para minimizar o ganho de calor nesta região, recomenda-se a adequação das edificações com sistemas de sombreamento nas instalações (pé-direito alto, piso adequado, ventilação eficaz) e piquetes (áreas de sombreamento, solo adequado, fontes de água) (AYOADE, 1991), a escolha de materiais adequados para os pisos/camas para aqueles que favorecem a troca facilitada de calor por condução (BARNETT et al., 1984) e a implementação de enriquecimento ambiental, que reduz a frustração comportamental no sistema mais restrito de um confinamento, assim como auxilia na diminuição da resposta fisiológica ao estresse crônico associado a alta temperatura (HINDE, 1970; HEMSWORTH et al., 1989). Essas medidas viabilizam a dissipação térmica que diminui a reação ao estresse crônico (HEMSWORTH et al., 1989) diminuindo a amplitude térmica do ambiente e facilitando a adaptação ao microclima.

Quanto a nutrição, esta tem papel crucial no monitoramento da saúde dos animais visto que alterações bruscas no consumo sempre são vistas como sinais de problemas na produção. O reajuste de aminoácidos na ração e a redução de proteínas brutas minimizam a produção de calor metabólico e preservam o desempenho produtivo em climas quentes e úmidos (ZHAO et al., 2019). Para preservar o sêmen de machos reprodutores é comum utilizar diluentes e técnicas atualizadas de preservação, assim mitigando os efeitos do calor na viabilidade espermática (WABERSKI et al., 2019) para que este aguente longos períodos de transporte e armazenamento sem a perda de viabilidade.

Para impedir os problemas gerados pelo conflito microclimático nas salas de

parto e gestação (HEMSWORTH et al., 1995), há a integração de modelos sistêmicos ambientais (TOATES, 1980) a sistemas modernos de inteligência artificial (machine learning) possibilitando o monitoramento contínuo dos parâmetros fisiológicos dos animais (ZHUANG et al., 2025). Isso facilita correções automatizadas e imediatas no sistema de ventilação/resfriamento das baias e permite que o impacto das alterações em microclimas sejam corrigidos antes que isto afete o desempenho e sobrevivência do rebanho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suinocultura na região Amazônica encontra-se em um ponto de inflexão decisivo. Os desafios climáticos que o clima tropical apresenta, considerando as elevadas temperaturas e alta umidade vai de encontro com as limitações das fisiológicas e genéticas dos suínos. Os entraves bioclimáticos ao desempenho produtivo e ao bem-estar da espécie apenas tendem a crescer devido ao aumento da temperatura global e a lenta tecnificação da região. A compreensão das necessidades e respostas fisiológicas e comportamentais de cada fase de desenvolvimento evidencia que as soluções hoje apresentadas são apenas paliativas e se tornarão insuficientes para garantir a sobrevivência do setor em breve. Desta forma, solucionar de maneira efetiva o problema do estresse térmico em suínos requer uma abordagem mais multidisciplinar, integrando conhecimentos nutricionais, comportamentais, arquitetônicos e competência digital. Esse conjunto de áreas viabiliza não apenas o aumento da eficiência zootécnica e econômica da produção como também garante uma criação ética, sustentável e resiste as mudanças climáticas regionais.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. H. R. A. **Conforto térmico ambiental e sustentabilidade na suinocultura: um estudo de caso na região Amazônica**. 2026.

BARNETT, J. L. *et al.* Effects of housing scheme and floor type on welfare and physiological stress in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 12, n. 3, p. 223-232, 1984.

BRIDIS, A. M. **Efeitos do ambiente tropical sobre a produção animal**. Londrina: UEL, 2010. Disponível em: http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/EfeitosdoAmbienteTropicalsobreaProduçãoAnimal.pdf. Acesso em: 19 ago. 2026.

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal**, London, v. 142, n. 6, p. 524-526, 1986.

CARVALHO, P. H. *et al.* Bem-estar animal em suínos. *In:* **Suinocultura e avicultura: do básico à zootecnia de precisão**. [S. l.]: Editora Pasteur, cap. 3, p. 25-34. 2021.

CHRISTON, R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 66, n. 12, p. 3112-3123, 1988.

CORASSA, A. *et al.* Comportamento e parâmetros fisiológicos de porcas em lactação na transição Cerrado-Amazônia. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 386-394, 2014.

COSTA, O. A. D.; LUDKE, J. V.; COSTA, M. J. R. P. Aspectos econômicos e de bem-estar animal no manejo dos suínos da granja até o abate. *In:* Seminário Internacional de Aves e

Suínos, 4., 2005, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: AVESUI, 2005.
DE SOUZA, B. B. **Adaptabilidade e bem-estar em animais de produção**. 2019. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/Adaptabilidade/index.htm. Acesso em: 19 ago. 2026.
FERNANDES, T. S. *et al.* Cinco liberdades do bem-estar animal aplicadas à suinocultura intensiva. **Revista de Agronomia**, v. 7, n. 2, p. 45-52, 2021.
FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente: para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011.
FRASER, D. Understanding animal welfare. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 50, n. 1, p. S1, 2008.
GARCÍA-DIÉGUEZ, C.; KEELING, L. *et al.* Including animal welfare targets in the SDGs: the case of animal farming. **Agriculture and Human Values**, v. 40, p. 1125–1138, 2023.
GOMES, A. C. S. *et al.* Análise estatística das tendências de elevação nas séries de temperatura média máxima na amazônia central: Estudo de caso para a região do oeste do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 214-228, 2015.
HANNAS, M. I.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L. Efeito da temperatura ambiente sobre parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões dos 15 aos 30 kg. *In:* Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: p. 226. SBZ, 1999.
HEMSWORTH, P. H.; BARNETT, J. L. *et al.* The effects of housing conditions on the welfare and stress responses of breeding sows. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 23, n. 4, p. 301-314, 1989.
HEMSWORTH, P. H.; BARNETT, J. L. *et al.* Chronic stress and microclimate fluctuations in farrowing facilities. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 5, p. 1320-1329, 1995.
HEMSWORTH, P. H.; COLEMAN, G. J. Human-Livestock interactions: the stockperson and the productivity and welfare of intensively farmed animals. **Wallingford: CAB International**, 1998. p. 91-106.
HINDE, R. A. Animal Behaviour: A Synthesis of Ethology and Comparative Psychology. **New York: McGraw-Hill**, 1970.
KIEFER, C. *et al.* Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 221, p. 55-64, 2009.
LUDTKE, C. B. *et al.* Eutanásia de suínos em granjas: boas práticas para o bem-estar na suinocultura. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2019.
MANNO, M. C. *et al.* Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 471-477, 2006.
MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.
MARQUES, H. Z. *et al.* Comportamento alimentar ao longo do dia e influência da temperatura e luminosidade na dinâmica de consumo voluntário individual de suínos em ambiente não-controlado. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, e-74521, 2023.

OLIVEIRA, R. M.; SILVA, A. P. Bem-estar na produção de suínos: comportamento e uso de enriquecimento ambiental. *In:* Congresso Brasileiro de Biociências, 2., 2023, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: IME Events, 2023.

PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005.

PRICE, E. O. Behavioral aspects of animal domestication. **Quarterly Review of Biology**, v. 59, n. 1, p. 1-32, 1984.

SANTOS, M. A. *et al.* Avaliação do estresse térmico em suínos no Norte/Noroeste do Brasil por meio do Índice de Temperatura e Umidade (ITU). **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38102-38115, 2022.

SEVEGNANI, K. B.; FILHO, H. G.; SILVA, I. J. O. **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994.

SILVA, J. P. *et al.* Bem-estar animal na suinocultura: Análise sobre as práticas e perspectivas para um manejo ético e sustentável. **Scientia Generalis**, v. 6, n. 1, p. 102-115, 2025.

SILVA, R. V. *et al.* Índices bioclimáticos e respostas fisiológicas de suínos confinados em regiões de altas temperaturas. **Acta Veterinaria Tropica**, v. 18, n. 1, p. 11-20, 2024.

STEPHENS, D. B. Stress and its physiological indicators in farming environments: a review. **Research in Veterinary Science**, v. 28, n. 3, p. 263-267, 1980.

TOATES, F. M. **Animal Behaviour: A Systems Approach**. Chichester: John Wiley & Sons, 1980.

VICENTE-PÉREZ, R. Bioclimatic indices and vulnerability assessment of swine production in arid regions. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, n. 4, p. 589-601, 2021.

WABERSKI, D. *et al.* Environmental and thermal stress affecting preserved boar semen quality in artificial insemination programs. **Theriogenology**, v. 137, p. 105-112, 2019.

WEGNER, K. *et al.* Climate variation impacts on sow fertility and piglet mortality in moderate regions. **Porcine Health Management**, v. 1, n. 4, p. 12-21, 2014.

ZHAO, Y. *et al.* Dietary valine-to-lysine ratio adjustments to reduce heat stress effects on lactating sows and piglets. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 2, p. 45-56, 2019.

ZHUANG, X. *et al.* Real-time physiological parameters monitoring via machine learning for heat stress assessment in sow gestating crates. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 228, e109120, 2025.

CAPÍTULO 47

USO DE *Azospirillum* spp. COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO EM CAPIM-BRAQUIÁRIA (*Urochloa* spp.)

Rodolfo Henrique Silva Pereira[1];
[1]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8694705056685438
Marco Túlio Santos Siqueira[2];
[2]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2171869569188113
Nathália de Lima Mendes[3];
[3]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2630000990581090
Marcela Rodrigues de Oliveira[4];
[4]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/2986844726429159
Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[5];
[5]Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.
http://lattes.cnpq.br/3084652122841929
Bianca Izabelly Pereira Gomes[6];
[6]Universidade de São Paulo (USP, Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/8954741213693952
Isadora Menezes Costa Tarôco[7];
[7]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/4778043576414774
Isabella Mariano Machado[8];
[8]Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.
http://lattes.cnpq.br/0243984456814707
Marcos Borges Santa Rosa[9].
[9]Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais.
https://lattes.cnpq.br/6920158650548124

RESUMO: O uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal representa uma alternativa promissora para aumentar a eficiência e a sustentabilidade da produção de forragem. Nesse contexto, o presente capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os principais aspectos relacionados ao uso de *Azospirillum* spp. como promotor de crescimento em capim-braquiária, com ênfase em seus mecanismos de ação, efeitos sobre o desenvolvimento vegetal, produção de forragem e interação com a adubação nitrogenada. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, natureza básica e caráter exploratório e descritivo, utilizando artigos científicos disponíveis nas bases *Web of Science*, *Scopus*,

SciELO, *ScienceDirect*, *PubMed* e *Google Scholar*. Foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos, complementados por trabalhos clássicos relevantes para a compreensão da atuação de *Azospirillum*. A literatura evidencia que a inoculação pode estimular o desenvolvimento radicular, favorecer a absorção de nutrientes, contribuir para a fixação biológica de nitrogênio e aumentar a produção de biomassa. Entretanto, as respostas variam conforme a espécie forrageira, condições ambientais e manejo da adubação. Assim, *Azospirillum* apresenta potencial como tecnologia complementar para melhorar a produtividade e a sustentabilidade das pastagens tropicais.
PALAVRAS-CHAVE: Fixação biológica de nitrogênio. Desenvolvimento radicular. Adubação nitrogenada.

USE OF *Azospirillum* spp. AS A GROWTH PROMOTER IN BRACHIARIA GRASS (*Urochloa* spp.)

ABSTRACT: The use of plant growth-promoting bacteria represents a promising alternative for enhancing the efficiency and sustainability of forage production. In this context, this chapter aims to present and discuss key aspects regarding the use of *Azospirillum* spp. as a growth promoter in *Brachiaria* grass, emphasizing its mechanisms of action, effects on plant development and forage yield, and interaction with nitrogen fertilization. A qualitative literature review of a basic, exploratory, and descriptive nature was conducted using scientific articles from the Web of Science, Scopus, SciELO, ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar databases. Priority was given to studies published within the last ten years, complemented by seminal works relevant to understanding the activity of *Azospirillum*. The literature indicates that inoculation can stimulate root development, enhance nutrient uptake, contribute to biological nitrogen fixation, and increase biomass production. However, responses vary depending on the forage species, environmental conditions, and fertilization management. Thus, *Azospirillum* shows potential as a complementary technology to improve the productivity and sustainability of tropical pastures.
KEYWORDS: Biological nitrogen fixation. Root development. Nitrogen fertilization.

INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira caracteriza-se, predominantemente, por sistemas de produção extensivos, os quais representam um dos principais diferenciais do setor. O país dispõe de aproximadamente 164 milhões de hectares de pastagens (MapBiomas, 2024; Dias-Filho, 2023), além de condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de plantas forrageiras com elevado potencial de produção de biomassa durante grande parte do ano. Essas características tornam o Brasil um grande produtor de ruminantes criados a pasto (Menezes et al., 2021).

Quando manejadas adequadamente, as pastagens apresentam elevado potencial de produção de forragem e constituem a principal base alimentar dos sistemas brasileiros de

produção de ruminantes. A utilização de pastagens também favorece sistemas de produção com menor dependência de insumos e tecnologias de maior custo. Entretanto, a baixa adoção de práticas adequadas de manejo, fertilização e correção da fertilidade do solo pode comprometer a produtividade e acelerar a degradação das pastagens (Martha et al., 2021; Oliveira et al., 2020).

A ausência de práticas adequadas de manejo, especialmente relacionadas à correção da fertilidade do solo e à adubação, compromete a produtividade e a sustentabilidade das pastagens, favorecendo processos de degradação. No Brasil, estimativas indicam que 58,9% das áreas de pastagem apresentavam algum nível de degradação em 2018, evidenciando a necessidade de estratégias de manejo e tecnologias que promovam a recuperação e a intensificação sustentável desses sistemas (Santos et al., 2022). Dessa forma, práticas como correção do solo, adubação e manejo adequado do pastejo são fundamentais para aumentar a produtividade e a persistência das pastagens.

Entre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das gramíneas, o nitrogênio (N) destaca-se por sua importância no crescimento e na formação de tecidos vegetais, sendo sua deficiência um dos principais fatores limitantes à produtividade das pastagens. A adubação nitrogenada pode estimular o perfilhamento, o crescimento foliar e a produção de forragem, embora a resposta dependa da espécie, da dose aplicada e das condições de cultivo (Pereira et al., 2022; Pereira et al., 2021).

Como alternativa complementar à adubação nitrogenada, destacam-se as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), entre elas *Azospirillum brasilense*. Além da capacidade de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico em gramíneas, essa bactéria promove o crescimento vegetal por diferentes mecanismos, incluindo a produção de fitormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas, o aumento da disponibilidade de nutrientes e o estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular (Cassán; Diaz-Zorita, 2016; Fukami; Cerezini; Hungria, 2018).

As espécies do gênero *Azospirillum* também estimulam o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a superfície de absorção das raízes e o volume de solo explorado, o que melhora a absorção de água e nutrientes (Okon; Vanderleyden, 1997; Oliveira et al., 2007). Em *Urochloa brizantha* cv. Marandu, por exemplo, a inoculação de sementes com *A. brasilense* tem sido recomendada por favorecer o estabelecimento inicial da pastagem e contribuir para o melhor desempenho da cultura (Oliveira et al., 2007).

OBJETIVO

Apresentar e discutir os principais aspectos relacionados ao uso de *Azospirillum brasilense* como promotor de crescimento em capim-braquiária, abordando seus mecanismos de ação, os efeitos sobre o desenvolvimento das plantas, a produção de forragem e o potencial dessa tecnologia para o aumento da produtividade e da sustentabilidade dos sistemas de produção de pastagens.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratório e descritivo, desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica. A pesquisa foi realizada por meio da consulta a artigos científicos publicados em periódicos de reconhecida relevância na área de Ciência Animal, Forragicultura, Microbiologia Agrícola e Fertilidade do Solo. As buscas foram conduzidas nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *SciELO*, *ScienceDirect*, *PubMed* e *Google Scholar*, utilizando combinações de descritores em português e inglês, como: “Azospirillum”, “plant growth-promoting bacteria”, “plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)”, “biological nitrogen fixation”, “Brachiaria”, “Urochloa brizantha”, “forage grasses”, “pastures”, “nitrogen fertilization”, “forage production” e “pasture management”, nos meses de julho e agosto de 2026.

Foram priorizados artigos científicos publicados, preferencialmente, nos últimos dez anos, sem excluir trabalhos clássicos considerados fundamentais para a compreensão dos mecanismos de ação de *Azospirillum* spp. e da promoção do crescimento vegetal. Os estudos selecionados foram analisados quanto à qualidade científica, relevância para o tema e contribuição para a compreensão dos efeitos da inoculação sobre o desenvolvimento das gramíneas forrageiras, a produtividade das pastagens e a interação com a adubação nitrogenada.

Os dados obtidos foram organizados e analisados de forma descritiva e interpretativa, buscando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura, com o propósito de sintetizar o conhecimento científico disponível e fornecer uma visão atualizada sobre a utilização de *Azospirillum* spp. como tecnologia para o manejo sustentável de pastagens.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Gênero *Brachiaria*

Entre as gramíneas tropicais utilizadas no país, o gênero *Urochloa* (sin. *Brachiaria*) destaca-se pela ampla distribuição e utilização em sistemas de produção animal. Estimativas recentes indicam que espécies de *Urochloa* ocupam aproximadamente 90 milhões de hectares de pastagens brasileiras, sendo responsáveis por grande parte da produção de forragem destinada à pecuária (Menezes et al., 2021). Essa ampla utilização está relacionada à capacidade dessas gramíneas de produzir elevada quantidade de biomassa, apresentar boa persistência sob pastejo e adaptar-se a diferentes condições edafoclimáticas.

O gênero *Urochloa*, compreende gramíneas forrageiras de origem predominantemente africana e grande importância para a pecuária tropical. Entre as espécies mais utilizadas destacam-se *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *U. humidicola*, reconhecidas pela elevada produção de biomassa, capacidade de rebrota e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Ferreira et al., 2021).

A ampla utilização dessas espécies está relacionada também à sua plasticidade morfofisiológica e ao metabolismo fotossintético C4, que favorece o crescimento sob

condições de elevada temperatura e luminosidade. Além da produção de forragem, *Urochloa* apresenta potencial para sistemas integrados de produção, contribuindo para a cobertura do solo, ciclagem de nutrientes e sustentabilidade das pastagens (Ferreira et al., 2021; Cherr et al., 2020).

Do ponto de vista taxonômico, o grupo apresenta complexidade devido à semelhança morfológica entre espécies e à ampla variabilidade genética. Estudos recentes de genética e genômica têm contribuído para esclarecer as relações entre as espécies e apoiar programas de melhoramento de forrageiras tropicais (Ferreira et al., 2021).

Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes para o crescimento e a produtividade das gramíneas forrageiras tropicais, participando da síntese de proteínas, clorofila e enzimas relacionadas ao metabolismo vegetal. Em pastagens de *Urochloa*, a adubação nitrogenada pode aumentar o perfilhamento, a produção de matéria seca e o valor nutritivo da forragem, sendo especialmente importante em sistemas intensivos de produção (Pereira et al., 2022).

A resposta ao N depende da dose aplicada, da fonte do fertilizante, das condições edafoclimáticas e do manejo da pastagem. O aumento das doses geralmente eleva a produção de forragem, porém a eficiência de utilização do nutriente tende a diminuir em doses elevadas. Dessa forma, o fornecimento de N deve ser ajustado à capacidade produtiva da pastagem e à demanda das plantas, buscando maior eficiência de uso do fertilizante (Pereira et al., 2022).

Do ponto de vista econômico, a adubação nitrogenada representa um dos principais custos da intensificação de pastagens. Assim, a maior produção de forragem nem sempre corresponde ao maior retorno econômico, pois doses elevadas aumentam o custo do sistema e podem apresentar menor eficiência de utilização do N. Estudos com *Urochloa brizantha* cv. Marandu demonstram que doses intermediárias podem proporcionar melhor relação entre produtividade e custo da fertilização, destacando a importância de definir uma dose economicamente eficiente para cada sistema de produção (Reis et al., 2022; Silva et al., 2023).

Além dos aspectos produtivos e econômicos, o uso adequado do N é importante para reduzir perdas por volatilização, lixiviação e emissões de gases de efeito estufa. Estratégias como o parcelamento da adubação e a aplicação do fertilizante em períodos de maior demanda da planta podem aumentar a eficiência de utilização do nutriente e reduzir perdas. Portanto, o manejo adequado da adubação nitrogenada é fundamental para conciliar produtividade, eficiência econômica e sustentabilidade das pastagens tropicais (Pereira et al., 2022).

Inoculação de *Azospirillum* em pastos de *Urochloa*

Bactérias do gênero *Azospirillum* (Figura 1) são conhecidas como bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), podendo beneficiar as plantas por diferentes

mecanismos, incluindo fixação biológica de nitrogênio, produção de fitormônios e estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular. A produção de auxinas, especialmente ácido indolacético, favorece a formação e a ramificação das raízes, aumentando a capacidade da planta de explorar o solo e absorver água e nutrientes (Hungria et al., 2021; Pereira et al., 2022).

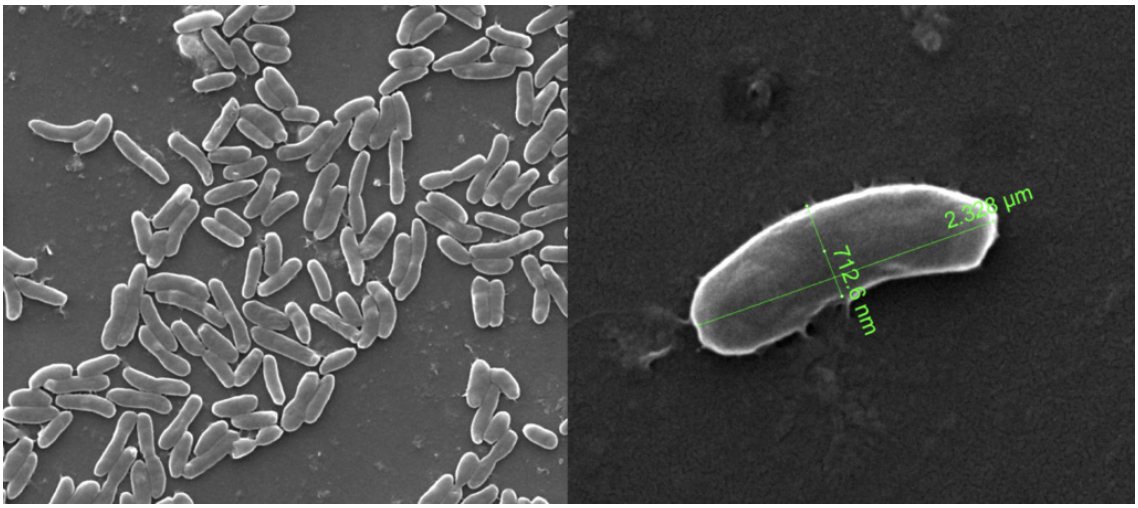
Entre as espécies estudadas, *A. brasilense* apresenta grande potencial para aplicação em gramíneas forrageiras. Em espécies de *Urochloa*, sua utilização pode aumentar a produção de biomassa e melhorar o estado nutricional das plantas, sendo os efeitos atribuídos principalmente à modificação da arquitetura radicular e à maior eficiência na aquisição de nutrientes. Hungria et al. (2021) observaram aumento médio de 16,8% na biomassa da parte aérea de *Urochloa* após a inoculação com *A. brasilense*, além de incrementos no conteúdo de N e K das plantas. Em Urochloa brizantha cv. Marandu, a inoculação aumentou a produção de massa seca da parte aérea e das raízes em determinadas condições de cultivo, enquanto a adubação nitrogenada também promoveu incrementos na produção de forragem (Moreira et al., 2020).

A interação entre A. brasilense e a adubação nitrogenada pode aumentar também a eficiência de utilização do N e o crescimento de gramíneas forrageiras, devido à combinação entre fixação biológica de nitrogênio, produção de fitormônios e estímulo ao desenvolvimento radicular. Em *Urochloa* spp., a inoculação pode aumentar a produção de biomassa, especialmente quando associada à adubação nitrogenada (Hungria et al., 2021) (Tabela 1). Entretanto, os resultados variam conforme a espécie, a dose de N e as condições ambientais, indicando que *A. brasilense* deve ser utilizado como estratégia complementar, e não necessariamente como substituto da adubação nitrogenada (Castro et al., 2025; Fonseca López et al., 2024).

Resultados recentes também demonstram que a resposta à inoculação pode variar entre espécies e cultivares. Gomes et al. (2023) verificaram que a inoculação com *Azospirillum baldaniorum* aumentou o acúmulo de matéria seca e o número de raízes em algumas cultivares de *Urochloa*, incluindo Marandu, Llanero, Ruziziensis e Convert HD364. Esses resultados reforçam o potencial do *Azospirillum* como ferramenta para estimular o crescimento radicular e aumentar a capacidade produtiva das forrageiras.

Assim, a inoculação com *Azospirillum* pode ser utilizada como estratégia complementar à adubação nitrogenada, buscando estimular o crescimento das plantas e aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes e com potencial para reduzir a dependência de fertilizantes em determinadas condições. Entretanto, os efeitos não são uniformes e dependem da interação entre a bactéria, a cultivar, as condições ambientais e o manejo da fertilização. Em *Urochloa humidicola*, por exemplo, estudo recente não encontrou efeito da inoculação sobre a produção de forragem, demonstrando que a aplicação de *Azospirillum* deve ser avaliada de acordo com as condições específicas de cada sistema de produção (Silva et al., 2025).

Figura 1: imagem de microscopia de varredura eletrônica de uma cepa de *Azospirillum* sp.



Fonte: dos Santos Ferreira et al., 2022.

Tabela 1: Biomassa da parte aérea e da raiz de *Urochloa brizantha* e *Urochloa decumbens* submetidas a diferentes tipos de inoculação.

Avaliação e adaptação dos sistemas de alojamento	Zhuang et al. sistemas de alojamento	Tang et al. sistemas de alojamento	Zhuang et al. sistemas de alojamento	2025 estultérmico em sistemas de alojamento
sistemas de alojamento	Monitoramento de parâmetros por celas/gaiolas fisiológicos por *machine*	Monitoramento de parâmetros por celas/gaiolas fisiológicos por *machine*	Monitoramento de parâmetros por celas/gaiolas fisiológicos por *machine*	Monitoramento de parâmetros por celas/gaiolas fisiológicos por *machine*
Massa seca da parte aérea	**Massa seca da parte aérea**	**Massa seca da parte aérea**	**Massa seca da parte aérea**	**Massa seca da parte aérea**
Tratamento	**Massa seca da raiz**	**Massa seca da raiz**	**Massa seca da raiz**	**Massa seca da raiz**
	(g planta^{-1})	**(g planta^{-1})**	**(g planta^{-1})**	**(g planta^{-1})**
	Controle 2,03 b	2,03 b	1,47 c	2,03 b
	SI Azo 1,47 c	SI Azo 3,38 a	3,38 a	3,38 a
	U. brizantha	U. brizantha	U. brizantha	U. brizantha

Controle = não inoculado; SI Azo = inoculação das sementes com *A. brasilense*; LSI Azo = inoculação por pulverização foliar com *A. brasilense* no estádio V3; SI Pf = inoculação das sementes com *P. fluorescens*; LSI Pf = inoculação por pulverização foliar com *P. fluorescens* no estádio V3.

Os dados representam médias de seis repetições. Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05); n.s. = não significativo.

Fonte: Adaptado de Hungria et al. (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Azospirillum apresenta potencial como promotor de crescimento em *Urochloa*, favorecendo o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a produção de biomassa. Entretanto, seus efeitos variam conforme a espécie, as condições ambientais e o manejo da adubação. Portanto, a inoculação deve ser considerada uma estratégia complementar à adubação nitrogenada, com potencial para aumentar a eficiência produtiva

e contribuir para a sustentabilidade das pastagens.

REFERÊNCIAS

CASSÁN, F.; DÍAZ-ZORITA, M. Azospirillum sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 117-130, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020.

CHERR, C. M. et al. Urochloa in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 119, 2020. DOI: https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção**. Belém, PA: Edição do Autor, 2023. 59 p. ISBN 978-65-00-73154-5.

DOS SANTOS FERREIRA, N.; CONIGLIO, A.; PUENTE, M.; SANT'ANNA, F. H.; MARONICHE, G.; GARCÍA, J.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; GAZOLLA VOLPIANO, C.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P.; PEDRAZA, R. O.; MASSENA REIS, V.; ZILLI, J. E.; CASSAN, F. Genome-based reclassification of Azospirillum brasilense Az39 as the type strain of Azospirillum argentinense sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 72, n. 8, 005475, 2022. DOI: https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005475

FERREIRA, R. C. U. et al. An overview of the genetics and genomics of the Urochloa species most commonly used in pastures. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 770461, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2021.770461.

FONSECA LÓPEZ, D.; VIVAS QUILA, N.; CUERVO MULET, R.; RODRÍGUEZ MOLANO, C. E. Contribution of forage grasses to biological nitrogen fixation and their response to diazotroph inoculation: review. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 15, n. 2, p. 446-461, 2024. DOI: https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6539.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, 73, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1.

GOMES, L. B. E.; SILVA, T. F. R.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Growth promotion in different Urochloa species inoculated with Azospirillum baldaniorum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e03079, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03079.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (Urochloa spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, v. 463, p. 171-186, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-021-04908-x.

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2023 – Coleção 9: Pastagem**. São Paulo: Projeto MapBiomas, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org. Acesso em: 27 jul. 2026.

MARTHA JUNIOR, G. B. et al. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production

and forest restoration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 376, 20210010, 2021. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0010.
MENEZES, et al. Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, e-69609, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609.
MOREIRA, A. et al. Inoculação do Azospirillum em sementes de capim Marandu: efeitos na produção de forragem e estado nutricional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 465-476, 2020. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n2p465.
OLIVEIRA, E. R. et al. Technology and degradation of pastures in livestock in the Brazilian Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 626-638, 2020. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-55795.
OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; BARIONI JUNIOR, W. **Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 6 p. (Circular Técnica, 54).
OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated Azospirillum species can stimulate plants. **ASM News**, v. 63, p. 364-370, 1997.
PEREIRA, L. E. T.; HERLING, V. R.; TECH, A. R. B. Current scenario and perspectives for nitrogen fertilization strategies on tropical perennial grass pastures: a review. **Agronomy**, v. 12, n. 9, 2079, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12092079.
PEREIRA, L. E. T.; SOUSA, L. J.; BERTIPAGLIA, L. M. A.; HERLING, V. R.; TECH, A. R. B. Critical concentration and management of nitrogen fertilization in the establishment of Brachiaria hybrid Mavun. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 4, e20207625, 2021. DOI: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210052.
REIS, E. M. B. et al. Technical and economic evaluation of nitrogen fertilization in Urochloa brizantha cv. Marandu in the Acre Valley Region, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, e44411125314, 2022. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25314.
SANTOS, C. O. et al. Assessing the wall-to-wall spatial and qualitative dynamics of the Brazilian pasturelands 2010-2018, based on the analysis of the Landsat data archive. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, 1024, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14041024.
SILVA, L. et al. Economic evaluation of nitrogen fertilization levels in beef cattle production: implications for sustainable tropical pasture management. **Agriculture**, v. 13, n. 12, 2233, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13122233.
SILVA, W. L. et al. Azospirillum brasilense associado à adubação nitrogenada em pastos de Urochloa humidicola cultivada na savana amazônica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 26, e-81007E, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-6891v26e-81007E

CAPÍTULO 48

BISCOITOS SEM GLÚTEN COM PSYLLIUM (*Plantago ovata*): DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E QUALIDADE NUTRICIONAL

Christine da Silva Macêdo[1].
[1]Universidade do Estado do Pará (UEPA), Castanhal, Pará.
http://lattes.cnpq.br/9549979734850809

RESUMO: Este estudo avaliou o efeito da incorporação de psyllium (*Plantago ovata*) nas características nutricionais, microbiológicas e sensoriais de biscoitos sem glúten. Foram elaboradas quatro formulações: controle (F0) e adicionadas de 1,38% (F1), 2,76% (F2) e 4,14% (F3) de psyllium. A incorporação do ingrediente aumentou significativamente os teores de umidade, proteínas, cinzas e fibras alimentares, além de reduzir os carboidratos e o valor energético, sem alterar o conteúdo lipídico. O teor de fibras aumentou de 0,24 para 3,72 g/100 g entre F0 e F3. Todas as formulações apresentaram qualidade microbiológica satisfatória, com ausência de *Salmonella* spp. em 25 g e baixas contagens dos demais microrganismos avaliados. Na análise sensorial, F1 apresentou as maiores médias de aceitação, preferência de 53,3% e intenção de compra de 47,0%. Conclui-se que a incorporação de psyllium melhorou a qualidade nutricional dos biscoitos sem comprometer sua segurança microbiológica.
PALAVRAS-CHAVE: Psyllium. Produtos sem glúten. Fibra alimentar.

GLUTEN-FREE BISCUITS WITH PSYLLIUM (*Plantago ovata*): TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND NUTRITIONAL QUALITY

ABSTRACT: This study evaluated the effect of psyllium (*Plantago ovata*) incorporation on the nutritional, microbiological, and sensory characteristics of gluten-free biscuits. Four formulations were developed: a control formulation (F0) and formulations containing 1.38% (F1), 2.76% (F2), and 4.14% (F3) psyllium. Psyllium incorporation significantly increased the moisture, protein, ash, and dietary fibre contents, while reducing the carbohydrate content and energy value, without significantly affecting the lipid content. Dietary fibre increased from 0.24 g/100 g in F0 to 3.72 g/100 g in F3. All formulations exhibited satisfactory microbiological quality, with the absence of *Salmonella* spp. in 25 g and low counts of the other microorganisms evaluated. In the sensory analysis, F1 achieved the highest mean acceptance scores, a preference rate of 53.3%, and a purchase intention of 47.0%. It was concluded that psyllium incorporation improved the nutritional quality of the biscuits without compromising their microbiological safety.
KEYWORDS: Psyllium. Gluten-free products. Dietary fiber

INTRODUÇÃO

A crescente valorização da saúde e do bem-estar tem provocado mudanças nos hábitos alimentares e ampliado a procura por alimentos de melhor qualidade nutricional. Esse comportamento está associado à maior compreensão da relação entre alimentação e desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes mellitus, hipertensão arterial e doenças cardiovasculares, além da busca por padrões alimentares mais equilibrados e sustentáveis (Baker et al., 2021).

Nesse contexto, observa-se maior interesse por produtos elaborados com ingredientes naturais, nutricionalmente relevantes e com menor utilização de aditivos artificiais. A expansão do consumo de alimentos orgânicos, sem glúten e com teores reduzidos de açúcares exemplifica essa tendência e tem estimulado a indústria alimentícia a reformular produtos convencionais e desenvolver novas alternativas. Ingredientes funcionais, como proteínas vegetais, ácidos graxos essenciais e fibras alimentares, vêm sendo incorporados às formulações com a finalidade de melhorar o perfil nutricional e contribuir para a promoção da saúde (Maruyama; Streletskaya; Lim, 2021).

Entre os consumidores que necessitam de produtos específicos encontram-se os indivíduos com doença celíaca, uma condição autoimune crônica desencadeada pela ingestão de glúten em pessoas geneticamente predispostas. A exposição ao glúten provoca inflamação da mucosa do intestino delgado, atrofia das vilosidades intestinais e comprometimento da absorção de nutrientes. As manifestações clínicas incluem diarreia, dor abdominal e perda de peso, podendo também ocorrer alterações extraintestinais, como osteoporose, anemia e infertilidade (Lebwohl et al., 2018).

O tratamento da doença celíaca consiste na exclusão permanente do glúten da alimentação, medida necessária para a recuperação da mucosa intestinal, o alívio dos sintomas e a prevenção de complicações em longo prazo. Entretanto, produtos sem glúten frequentemente apresentam menor teor de fibras, o que pode favorecer alterações do trânsito intestinal e inadequações nutricionais. Dessa forma, a incorporação de fibras solúveis, como o psyllium, constitui uma estratégia promissora para melhorar a qualidade nutricional e tecnológica desses alimentos (Rubio-Tapia et al., 2023).

O psyllium pode contribuir para a regularidade intestinal e para a redução da constipação, condição observada em alguns indivíduos após a adoção da dieta isenta de glúten (Makharia et al., 2015). Além disso, determinadas fibras alimentares podem exercer efeitos prebióticos, favorecendo micro-organismos benéficos e auxiliando na manutenção da microbiota intestinal, frequentemente alterada em pacientes com doença celíaca (Slavin, 2013). Assim, o desenvolvimento de produtos sem glúten adicionados de fibras representa uma abordagem relevante para ampliar o valor nutricional, a funcionalidade tecnológica e a diversificação alimentar destinada a esse público.

OBJETIVO

Avaliar o efeito da incorporação de diferentes concentrações de psyllium (*Plantago ovata*) sobre as características nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos sem glúten, a fim de identificar a formulação com melhor equilíbrio entre composição nutricional e desempenho tecnológico.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus Castanhal, Pará, Brasil. Nesse local, foram realizadas as etapas de desenvolvimento das formulações, processamento dos biscoitos e análises físico-químicas e sensoriais. As análises microbiológicas foram conduzidas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal do Pará (UFPA), empregando-se métodos padronizados para a avaliação da qualidade higiênico-sanitária dos produtos.

Matérias-primas e materiais

Para a elaboração dos biscoitos sem glúten, foram utilizados farinha de arroz integral (Urbano), fécula de batata (Natu Qualy), açúcar demerara (Cauaxi), margarina (Primor), extrato de baunilha (Fleischmann), goma xantana (Naturefoods) e psyllium (*Plantago ovata*) (Seara). Os ingredientes foram adquiridos em estabelecimentos comerciais localizados no município de Castanhal, Pará, Brasil.

A seleção das matérias-primas considerou suas propriedades nutricionais e tecnológicas. A farinha de arroz e a fécula de batata constituíram a base amilácea da formulação, enquanto a goma xantana e o psyllium atuaram como hidrocoloides, contribuindo para a retenção de água, coesão da massa e formação da estrutura dos biscoitos. Essas propriedades são particularmente relevantes em produtos sem glúten, nos quais a ausência da rede proteica característica do trigo pode comprometer a consistência e a estabilidade da massa (Fradinho; Nunes; Raymundo, 2015).

O psyllium foi empregado também como fonte de fibra alimentar, com a finalidade de melhorar o perfil nutricional das formulações (Tahmouzi et al., 2026). De acordo com Belório; Gómez (2022) a capacidade de absorção de água e a formação de sistemas viscosos do psyllium, pode contribuir para a textura e a estabilidade de produtos de panificação sem glúten.

No processamento, foram utilizados balança analítica, liquidificador, recipiente para homogeneização dos ingredientes, forma retangular de alumínio com dimensões de 26 × 17 × 4,5 cm, papel-manteiga, rolo para laminação da massa, moldes retangulares e forno. O liquidificador foi empregado para reduzir a granulometria do açúcar demerara e favorecer sua distribuição na massa, enquanto os moldes permitiram padronizar o formato e as dimensões dos biscoitos.

Elaboração dos biscoitos sem glúten

Os biscoitos foram elaborados com adaptações da metodologia descrita por Mariani et al. (2015). Primeiramente, preparou-se um mix de farinhas sem glúten constituído por 32,83% de farinha de arroz integral, 65,67% de fécula de batata e 1,50% de goma xantana. A seguir, foram realizados testes preliminares para definir as concentrações mínima e máxima de psyllium capazes de proporcionar características adequadas de manipulação, laminação, moldagem e aceitação sensorial. Com base nesses ensaios, foram estabelecidas quatro formulações experimentais: F0 (controle, sem adição do psyllium), F1 (1,38 % de psyllium), F2 (2,76 % de psyllium) e F3 (4,14 % de psyllium), conforme apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Composição percentual das formulações de biscoitos sem glúten elaboradas com diferentes concentrações de psyllium (*Plantago ovata*)

Ingredientes	Formulação			
	F0	F1	F2	F3
Mix de farinhas	49,75	48,37	47,00	45,62
Psyllium	0	1,38	2,76	4,14
Açúcar demerara	24,85	24,85	24,85	24,85
Margarina	22,09	22,09	22,09	22,09
Água	2,76	2,76	2,76	2,76
Baunilha	0,55	0,55	0,55	0,55

Fonte: Autoras (2026).

Nota: F0 = formulação controle, sem psyllium; F1 = 1,38% de psyllium; F2 = 2,76% de psyllium; F3 = 4,14% de psyllium.

Todos os ingredientes foram pesados individualmente em balança analítica Shumadzu (modelo AUX220), de acordo com as proporções definidas para cada tratamento experimental. Em seguida, o mix de farinhas, o açúcar demerara e o psyllium foram adicionados a um recipiente e homogeneizados manualmente. A margarina, o extrato de baunilha e a água foram incorporados posteriormente. A mistura foi homogeneizada até a obtenção de uma massa coesa, uniforme e com consistência adequada às etapas subsequentes de laminação e moldagem. A massa foi posicionada entre duas folhas de papel-manteiga e laminada com auxílio de um rolo até atingir espessura aproximada de 0,6 cm. Posteriormente, foi cortada com moldes retangulares de aproximadamente 3,0 × 2,0 cm, assegurando maior uniformidade entre as unidades experimentais. Após a moldagem, os biscoitos foram distribuídos em formas de alumínio e mantidos sob refrigeração a 10 ± 2 °C durante 5 minutos. Essa etapa teve como finalidade aumentar a estabilidade da massa antes do cozimento. Em seguida, foram realizadas pequenas perfurações na superfície dos biscoitos com auxílio de um garfo, a fim de reduzir a formação de bolhas e deformações durante a cocção. Os biscoitos foram assados em forno previamente aquecido a 180 °C durante 20 minutos. Após o cozimento, os biscoitos permaneceram em resfriamento à temperatura ambiente (25 ºC) até atingirem completa estabilização térmica. Posteriormente, foram acondicionados em embalagens plásticas de polietileno, seladas a

vácuo e mantidas fechadas até a realização das análises físico-químicas e microbiológicas. Todas as formulações foram produzidas em três repetições independentes, com o objetivo de assegurar maior reprodutibilidade ao processo experimental.

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas para determinar a composição centesimal dos biscoitos e avaliar as alterações decorrentes da incorporação de diferentes concentrações de psyllium. Foram determinados os teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídios, fibra alimentar e carboidratos, além do valor energético das formulações.

As determinações foram realizadas em triplicata, utilizando métodos oficiais da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2023). Os resultados foram expressos em gramas por 100 gramas de amostra (g/100 g), em base úmida. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico nº 934.01, mediante secagem das amostras em estufa com circulação de ar a 105 ± 2 °C até massa constante. O teor de cinzas foi determinado pelo método nº 942.05, por incineração das amostras até a obtenção do resíduo mineral. A concentração de proteínas foi determinada pelo método de Kjeldahl, conforme o método nº 960.52, mediante quantificação do nitrogênio total e conversão em proteína bruta utilizando-se o fator 6,25. O teor de lipídios foi determinado pelo método nº 920.39, por extração contínua em aparelho de Soxhlet, utilizando-se hexano como solvente extrator.

O teor de fibra alimentar total foi determinado pelo método enzimático-gravimétrico nº 991.43. Os carboidratos disponíveis foram estimados por diferença, considerando-se os componentes determinados experimentalmente, conforme a **Equação 1**.

Equação 1 – Cálculo do teor de carboidratos por diferença

Carboidratos (%) = 100 − [U (%) + P (%) + L (%) + C (%) + FA (%)]

Sendo: U = umidade; P = proteínas; L = lipídios; C = cinzas; FA = fibra alimentar total.

O valor energético foi estimado com base nos fatores gerais de Atwater, adotando-se 4 kcal/g para proteínas, 4 kcal/g para carboidratos disponíveis e 9 kcal/g para lipídios, conforme apresentado na **Equação 2**.

Equação 2 – Cálculo do valor energético

Valor energético (kcal/100 g) = (P × 4) + (L × 9) + (CD × 4)

Sendo: P = teor de proteínas; L = teor de lipídios; CD = teor de carboidratos disponíveis.

Os resultados foram utilizados para comparar o efeito das diferentes concentrações de psyllium sobre a composição nutricional e o valor energético dos biscoitos sem glúten.

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas para avaliar a qualidade higiênico-sanitária e a segurança das formulações. Embora os biscoitos geralmente apresentem reduzidos teores de umidade e atividade de água, essas características não eliminam a possibilidade de contaminação proveniente das matérias-primas, do processamento, da

manipulação ou das condições de armazenamento (Jay; Loessner; Golden, 2005). As determinações foram conduzidas em triplicata, de acordo com metodologias padronizadas e reconhecidas internacionalmente. Foram realizadas análises de enterobactérias, bolores e leveduras, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e *Bacillus cereus*. A enumeração de enterobactérias foi realizada pelo método de contagem de colônias, conforme estabelecido pela ABNT NBR ISO 21528-2:2020 (ABNT, 2020) utilizando-se o método de contagem de colónias. A enumeração de bolores e leveduras foi realizada conforme a ISO 21527-2:2008, aplicável a produtos com atividade de água igual ou inferior a 0,95 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2008). A pesquisa de *Salmonella* spp. foi realizada em 25 g de amostra, conforme o método horizontal estabelecido pela ISO 6579-1:2017, considerando-se as atualizações introduzidas pela ISO 6579-1:2017/Amd 1:2020 (ISO, 2017, 2020). A enumeração de *Escherichia coli* β-glucuronidase positiva foi realizada conforme a ISO 16649-2:2001, empregando-se a técnica de contagem de colónias a 44 °C em meio cromogénico contendo 5-bromo-4-cloro-3-indolil-β-D-glucuronídeo (ISO, 2001). A enumeração de *Bacillus cereus* presuntivo foi realizada pela técnica de contagem de colónias a 30 °C, conforme a ISO 7932:2004, considerando-se os testes opcionais incluídos pela ISO 7932:2004/Amd 1:2020 (ISO, 2004, 2020). Os resultados foram interpretados de acordo com os critérios microbiológicos estabelecidos pela Resolução da Diretoria Colegiada nº 724, de 1º de julho de 2022, e pela Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, atualizada pela Instrução Normativa nº 313, de 2024.

Análise estatística

Os dados das análises físico-químicas foram inicialmente organizados em planilhas eletrónicas no Microsoft Excel® e, posteriormente, submetidos ao tratamento estatístico no programa SISVAR 6.6 (Ferreira, 2019). Os resultados foram expressos como média ± desvio-padrão. As diferenças entre as formulações foram avaliadas por análise de variância de um fator. Quando identificada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises Físico-Químicas

A **Tabela 2** apresenta os resultados da caracterização físico-química das formulações de biscoitos sem glúten formuladas com diferentes concentrações de psyllium (*Plantago ovata*), permitindo analisar a influência da incorporação da fibra sobre os constituintes químicos e o valor nutricional dos produtos desenvolvidos.

Tabela 2 – Composição centesimal e valor energético (média ± desvio-padrão) das formulações de biscoitos sem glúten elaboradas com diferentes concentrações de psyllium (*Plantago ovata*)

Parâmetro (g/100g)	Amostra			
	F0	F1	F2	F3
Umidade	5,20^{a} ± 0,01	5,35^{b} ± 0,02	5,48^{c} ± 0,05	5,63^{d}± 0,02
Proteínas	3,08^{a} ± 0,10	3,11^{ab}± 0,07	3,14^{bc}± 0,04	3,17^{c} ± 0,02
Lipídios	17,70^{a} ± 0,06	17,69^{a} ± 0,12	17,68^{a} ± 0,11	17,67^{a} ± 0,04
Cinzas	0,79^{a} ± 0,04	0,83^{ab} ± 0,04	0,86^{bc} ± 0,02	0,89^{c} ± 0,01
Fibra alimentar	0,24^{a} ± 0,10	1,40^{b} ± 0,06	2,56^{c} ± 0,11	3,72^{d} ± 0,10
Carboidratos	72,99^{a} ± 0,03	71,62^{a} ± 0,03	70,28^{ab} ± 0,01	68,92^{b} ± 0,02
Valor energético (kcal/100g)	462^{a} ± 0,02	457^{b} ± 0,01	452^{c} ± 0,02	447^{d} ± 0,02

Nota1: Médias ± desvio padrão com letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Nota2: F0 = formulação controle; F1 = 1,38%; F2 = 2,76%; F3 = 4,14% de psyllium.

Fonte: Autoras (2026).

O aumento da quantidade de psyllium promoveu alterações significativas na composição dos biscoitos ($p < 0,05$). A umidade aumentou de 5,20 para 5,63 g/100 g, com diferença entre todas as formulações. Tal comportamento que pode estar relacionado à elevada capacidade de retenção de água do psyllium. Belorio, Moralejo e Gómez (2021) também observaram aumento da umidade em cookies contendo psyllium, atribuído à elevada capacidade de absorção de água dessa fibra. Entretanto, Fradinho, Nunes e Raymundo (2015) observaram redução da umidade com o aumento do psyllium em biscoitos, indicando que esse efeito também depende da composição da formulação e das condições de processamento. O teor de fibra alimentar apresentou o aumento mais expressivo, passando de 0,24 g/100 g em F0 para 3,72 g/100 g em F3, correspondendo a um valor de 15,5 vezes superior ao controle (F0), com diferença significativa entre todas as formulações. Ocorreu também um aumento gradual de cinzas (0,79–0,89 g/100 g), sendo F0 e F3 estatisticamente diferentes. Esses resultados são coerentes com Raymundo, Fradinho e Nunes (2014), que demonstraram que o psyllium apresenta elevado teor de fibra alimentar e maior conteúdo de cinzas que a farinha utilizada na sua pesquisa. Fradinho, Nunes e Raymundo (2015) também verificaram aumento significativo das cinzas com a incorporação de psyllium em biscoitos.

Em relação as proteínas, apresentaram um aumento, de 3,08 para 3,17 g/100 g, com F3 apresentando o maior valor, enquanto os lipídios não diferiram significativamente entre as formulações ($p > 0,05$), permanecendo próximos de 17,7 g/100 g. Em contrapartida, os carboidratos diminuíram de 72,99 para 68,92 g/100 g e o valor energético apresentou

redução significativa de 462 para 447 kcal/100 g, equivalente a aproximadamente 3,2%. Dessa forma, a incorporação do psyllium promoveu principalmente enriquecimento em fibra alimentar e discreta redução da densidade energética, sem alterar significativamente o teor lipídico dos biscoitos.

Análises Microbiológicas

Os resultados microbiológicos demonstraram que todas as formulações de biscoitos sem glúten, independentemente da concentração de psyllium (*Plantago ovata*), apresentaram qualidade higiênico-sanitária satisfatória. As contagens de enterobactérias, bolores, leveduras e *Escherichia coli* foram inferiores a 1,0 × 10^1 UFC/g, enquanto *Bacillus cereus* apresentou valores inferiores a 1,0 × 10^2 UFC/g. Além disso, verificou-se ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de amostra.

As baixas contagens observadas indicam que as matérias-primas, as condições de processamento, a manipulação e o armazenamento foram adequados, evidenciando a aplicação efetiva das Boas Práticas de Fabricação. A reduzida umidade e atividade de água dos biscoitos também contribuíram para limitar o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, especialmente bolores, leveduras e *B. cereus* (Jay; Loessner; Golden, 2005).

Resultados semelhantes foram relatados em biscoitos adicionados de psyllium e outros ingredientes funcionais, nos quais a incorporação de fibras não comprometeu a estabilidade microbiológica dos produtos (Dündar; Şahin; Sarıcaoğlu, 2023). A ausência de *Salmonella* spp. reforça a inocuidade das formulações, uma vez que esse patógeno constitui importante agente de doenças transmitidas por alimentos (Forsythe, 2020). Todas as formulações atenderam aos critérios microbiológicos estabelecidos pela RDC nº 724/2022 e pela IN nº 161/2022, atualizada pela IN nº 313/2024. Portanto, a incorporação de psyllium não comprometeu a segurança microbiológica dos biscoitos, confirmando sua viabilidade para o desenvolvimento de produtos sem glúten seguros e tecnologicamente estáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de psyllium (*Plantago ovata*) melhorou o perfil nutricional dos biscoitos sem glúten, promovendo aumento dos teores de fibras alimentares, proteínas e cinzas, além da redução dos carboidratos e do valor energético, sem alterar significativamente o conteúdo lipídico. Todas as formulações apresentaram qualidade microbiológica satisfatória, com ausência de *Salmonella* spp. em 25 g e baixas contagens dos demais microrganismos avaliados, demonstrando que a adição de psyllium não comprometeu a segurança nem a estabilidade microbiológica dos produtos.

REFERÊNCIAS

AOAC INTERNATIONAL. *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL*. 22. ed. Oxford: Oxford University Press, 2023. DOI: 10.1093/9780197610145.001.0001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 21528-2:2020: microbiologia da cadeia produtiva de alimentos — método horizontal para a detecção e enumeração de Enterobacteriaceae — Parte 2: método de contagem de colônias. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BAKER, Phillip; LACY-NICHOLS, Jennifer; WILLIAMS, Owain; LABONTÉ, Ronald. The political economy of healthy and sustainable food systems: an introduction to a special issue. *International Journal of Health Policy and Management*, [S. l.], v. 10, n. 12, p. 734–744, 2021. DOI: 10.34172/ijhpm.2021.156.

BELORIO, Mayara; GÓMEZ, Manuel. Psyllium: a useful functional ingredient in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 62, n. 2, p. 527–538, 2022. DOI: 10.1080/10408398.2020.1822276.

BELORIO, Mayara Lopes de Silva; MORALEJO, Cecilia; GÓMEZ PALLARÉS, Manuel. Assessing the influence of psyllium as a fat substitute in wheat and gluten-free cookies. *Food Science and Technology International*, [S. l.], v. 27, n. 8, p. 693–701, 2021. DOI: 10.1177/1082013220981332.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada — RDC nº 724, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 126, p. 205, 6 jul. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa — IN nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 126, p. 235–238, 6 jul. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa — IN nº 313, de 4 de setembro de 2024. Altera a Instrução Normativa — IN nº 161, de 1º de julho de 2022, que estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 172, p. 70, 5 set. 2024.

DÜNDAR, Ayşe Neslihan; ŞAHİN, Oya Irmak; SARICAOĞLU, Furkan Türker. Low-fat cookies with *Chlorella vulgaris*: effects on dough rheology, physical, textural and sensory properties of cookies. *Gıda – The Journal of Food*, [S. l.], v. 48, n. 3, p. 526–544, 2023. DOI: 10.15237/gida.GD22076.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FORSYTHE, Stephen J. *The microbiology of safe food*. 3. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2020. 608 p.

FRADINHO, Patricia; NUNES, Maria Cristiana; RAYMUNDO, Anabela. Developing consumer acceptable biscuits enriched with psyllium fibre. *Journal of Food Science and Technology*, [S. l.], v. 52, n. 8, p. 4830–4840, 2015. DOI: 10.1007/s13197-014-1549-6.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 21527-2:2008: *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds — Part 2: Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0,95*. Geneva: ISO, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6579-1:2017/Amd 1:2020: *Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella — Part 1: Detection of Salmonella spp. — Amendment 1: Broader range of incubation temperatures, amendment to the status of Annex D, and correction of the composition of MSRV and SC*. Geneva: ISO, 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16649-2:2001: *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli — Part 2: Colony-count technique at 44 degrees C using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide*. Geneva: ISO, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7932:2004: *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of presumptive Bacillus cereus — Colony-count technique at 30 degrees C*. 3rd ed. Geneva: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7932:2004/Amd 1:2020: *Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of presumptive Bacillus cereus — Colony-count technique at 30 degrees C — Amendment 1: Inclusion of optional tests*. Geneva: ISO, 2020.

JAY, James M.; LOESSNER, Martin J.; GOLDEN, David Allen. *Modern food microbiology*. 7. ed. New York: Springer, 2005. DOI: 10.1007/b100840.

LEBWOHL, Benjamin; SANDERS, David S.; GREEN, Peter H. R. Coeliac disease. *The Lancet*, [S. l.], v. 391, n. 10115, p. 70–81, 2018. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31796-8.

MARIANI, Marieli; OLIVEIRA, Viviani Ruffo de; FACCIN, Rafaela; RIOS, Alessandro de Oliveira; VENZKE, Janaina Guimarães. Elaboração e avaliação de biscoitos sem glúten a partir de farelo de arroz e farinhas de arroz e de soja. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 18, n. 1, p. 70–78, 2015. DOI: 10.1590/1981-6723.6514.

MARUYAMA, Sara; STRELETSKAYA, Nadia A.; LIM, Juyun. Clean label: why this ingredient but not that one? *Food Quality and Preference*, [S. l.], v. 87, art. 104062, 2021. DOI: 10.1016/j.foodqual.2020.104062.

RAYMUNDO, Anabela; FRADINHO, Patrícia; NUNES, Maria Cristiana. Effect of psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 96–105, 2014. DOI: 10.1016/j.bcdf.2014.03.001

RUBIO-TAPIA, Alberto; HILL, Ivor D.; SEMRAD, Carol; KELLY, Ciarán P.; GREER, Katarina B.; LIMKETKAI, Berkeley N.; LEBWOHL, Benjamin. American College of Gastroenterology guidelines update: diagnosis and management of celiac disease. *The American Journal of Gastroenterology*, [S. l.], v. 118, n. 1, p. 59–76, 2023. DOI: 10.14309/

ajg.0000000000002075.

SLAVIN, Joanne. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 1417–1435, 2013. DOI: 10.3390/nu5041417.

TAHMOUZI, Sima; HEYDARI-MAJD, Mojtaba; DALIRI, Hesam; KARIMI, Javaneh; ZARE, Leila; MEFTAHIZADEH, Heidar; MOLLAKHALILI MEYBODI, Neda. Impacts of plant-derived hydrocolloids on technological characteristics of gluten-free bakery products: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, [S. l.], v. 25, n. 1, e70339, 2026. DOI: 10.1111/1541-4337.70339.

ÍNDICE REMISSIVO

A

abastecimento hídrico 329
abatedouros 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 341
acesso aos mercados 49, 55, 56
ácido giberélico 176, 178
Ácido Húmico 44
ácidos graxos 154, 272, 273, 274, 275, 285, 288, 289, 290, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 309, 310, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 473
Aditivos 349, 350
adubação 24, 27, 29, 30, 50, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 80, 81, 84, 171, 172, 420, 425, 426, 463, 465, 466, 467, 468, 469, 471
adubação nitrogenada 24, 29, 30, 71, 420, 425, 426, 463, 465, 466, 467, 468, 469, 471
Adubação nitrogenada 419, 464, 467
Aedes aegypti 182, 183, 187, 189, 191, 193
aeração 24, 28, 29, 164
Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) 418
afecções podais 259
agricultura 25, 52, 54, 65, 86, 87, 88, 89, 92, 93, 119, 120, 133, 135, 136, 137, 160, 164, 167, 170, 205, 212, 213, 216, 220, 222, 227, 347, 348, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 366, 367, 387, 427, 433, 447, 448, 452, 453
agricultura familiar 52, 54, 119, 133, 135, 136, 137, 170, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 366, 367, 387
Agricultura vertical 58
agrobiodiversidade 359, 361, 365, 366, 367
agroecologia 96, 115, 116, 117, 119
Agroecologia 95, 115, 116, 120, 201, 362, 375
agroindustrialização 129, 130, 131, 132, 135, 136
água azul 215, 216, 220, 221, 222, 223
água verde 215, 216, 220, 221, 222, 223, 224
algodoeiro 182, 183, 187, 189, 191, 192
alimentação 44, 45, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 139, 154, 168, 171, 181, 196, 283, 284, 285, 286, 287, 293, 295, 296, 302, 312, 315, 330, 331, 333, 334, 335, 344, 360, 362, 363, 364, 366, 369, 373, 375, 376, 383, 397, 408, 410, 411, 413, 414, 415, 416, 417, 473
alimentação humana 44, 45
Alimentador automático 408
ambiente ruminal 263, 266, 272, 273, 274, 276, 277, 279, 280, 284, 288, 290, 291, 293, 294, 296, 297, 311, 312, 314, 316
amido 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 439, 444
aminoácidos 172, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 459
amoreira 176, 177, 179, 180, 181
anaerobiose 25, 272, 276, 277, 278, 388
Análises microbiológicas 377, 379, 380, 476
Antagonismo microbiano 386
antimicrobianos 91, 149, 155, 345, 346, 347, 348, 349, 388, 393
antioxidantes 138, 141, 144, 145, 168, 170, 173, 267
aplicação do adubo 69
APLs 129, 130, 131, 134, 135
Aproveitamento especial 58
Aquaponia 408, 417
aquicultura 409, 410, 412
áreas degradadas 49, 50, 51, 52, 54, 56, 116
Arranjos Produtivos Locais (APLs) 129, 130
arroz irrigado 24, 25, 26, 27, 30
Ascophyllum nodosum 176, 178
assistência técnica 49, 55, 56, 336
assistência veterinária 329, 331, 335, 336
atividade antagonista 386, 388, 389, 391, 392

atividade antioxidante 92, 149, 155, 167, 173
atividade metanogênica 24, 30
atividade microbiana 25, 26, 71, 268, 272, 275, 277, 409
atividades produtivas 49, 50, 56, 78, 96, 410
automação 342, 343, 347, 408, 409, 410, 411, 416
avicultura 460
Azospirillum 21, 85, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471

B

bactérias 89, 185, 188, 266, 272, 274, 275, 276, 277, 278, 288, 294, 346, 356, 386, 388, 390, 391, 392, 463, 465, 467
bactérias ácido-láticas (BAL) 386, 388
Bem-estar animal 319, 460, 462
bem-estar térmico 454, 455, 456
Betalaínas 123
beterraba 123, 124, 125, 126, 127
biblioteca 226, 228, 229
biblioteca de rotinas 226, 228, 229
Bioclimatologia 454, 460
biocontrole 86, 89, 112
biodiversidade 49, 50, 51, 52, 53, 54, 96, 217
bioeconomia 49, 51, 52, 54, 55, 56
Bioestimulantes 86
biofiltração 58, 60, 63, 64, 65, 67
biofortificação agronômica 167, 168, 169, 171, 172, 173
bioinsumos 86, 88, 89, 92
biologia 106, 107, 108, 110, 190, 458
biomassa 46, 47, 48, 51, 58, 60, 61, 62, 64, 65, 67, 74, 78, 79, 83, 87, 90, 164, 179, 180, 289, 333, 396, 397, 403, 464, 466, 468, 469
biopreservação 386, 387, 388, 393
bovinocultura 259, 344, 347
braquiária 77, 79, 463, 465

C

cadeia de produção 346, 454, 458
cadeias produtivas 129, 134, 135, 136
cama de aviário 70
cana-de-açúcar 223, 396, 397, 398, 399, 400, 404, 405
câncer 139, 170, 350, 355
capacidade de cultivo 58, 65
caprinocultura 294, 329, 330, 331, 335
caprinos 176, 177, 272, 274, 275, 277, 279, 293, 294, 295, 296, 298, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335
características do parto 319, 326
caracterização biométrica 194, 197
Caracterização morfológica 195
carbonato de cálcio 70, 72
carbono 25, 30, 45, 49, 50, 51, 52, 53, 96, 100, 266, 394
cascas 70
CH□ 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
ciclagem de nutrientes 49, 50, 51, 53, 71, 78, 96, 467
cinetina 176, 178
CO□ 24, 25, 29, 30
cobertura florestal 34
colheita 63, 66, 77, 81, 83, 167, 173, 190
coloração 72, 123, 124, 125, 126, 127, 140, 141, 353, 399, 400, 403, 404, 438, 439
colostro 305, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326
competitividade 131, 134, 182, 185, 187, 190, 191, 387
componentes aquícola 58, 59, 60, 61, 62
Comportamento materno 319, 322
comportamento materno-filial 319, 321, 323, 326, 328

Compostagem 70
compostos bioativos 141, 149, 153, 156
compostos nitrogenados 59, 124, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 351, 409
compostos orgânicos 69, 71, 74, 90, 172
comunidades agropastoris 329, 330
condição corporal 301, 303, 304, 305, 306, 331, 335
condições ambientais 55, 56, 70, 86, 90, 319, 320, 321, 324, 326, 411, 414, 457, 464, 468, 469
condições higiênico-sanitárias 347, 368, 370, 371, 374, 378
conscientização 170, 377, 378
conservação 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 70, 78, 95, 96, 100, 104, 106, 107, 108, 112, 118, 138, 139, 140, 144, 201, 227, 288, 335, 336, 351, 354, 356, 359, 362, 372, 373, 387, 388
conservantes sintéticos 138
consórcio 77, 79, 80, 82, 83
contaminações nos alimentos 377, 378
Controle autocida 182
controle biológico 89, 91, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112
coprodutos 397, 438
cordeiros 275, 276, 277, 278, 279, 295, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 311, 319, 320, 321, 323, 324, 325, 326, 328
correção de viés 204, 208, 209, 210, 211, 212
crescimento radicular 46, 47, 86, 90, 91, 468
crescimento vegetal 86, 88, 89, 90, 91, 92, 173, 463, 465, 466, 467
criação animal 341, 342, 343, 345
criação de tilápia-do-Nilo 58
cultivo aeropônico vertical 58
cultivo consorciado 77, 79, 83
cultivo da soja 79
cultivo de alface crespa 58, 61
cultivos agrícolas 34, 36, 51
cultivo vegetal 58
cultura do milho 44
Cultura protetora 386
culturas agrícolas 44, 45, 78, 90, 168, 171, 448
culturas produtoras de grãos 77

D

Dalbulus maidis 9, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114
decantação 58, 63
degradação 49, 50, 55, 91, 124, 126, 217, 263, 265, 266, 267, 268, 272, 275, 276, 277, 284, 286, 287, 289, 334, 359, 360, 389, 465
densidade 53, 55, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 81, 82, 109, 142, 152, 190, 204, 205, 288, 289, 293, 294, 295, 297, 298, 309, 310, 312, 313, 317, 352, 413, 438, 442, 444, 479
desempenho produtivo 58, 60, 64, 79, 83, 159, 160, 163, 259, 264, 272, 274, 275, 277, 279, 280, 294, 295, 302, 303, 310, 326, 332, 459, 460
desenvolvimento da praga 106
desenvolvimento das plantas 75, 86, 90, 173, 465
desenvolvimento fetal 302, 303, 304, 306, 323, 326
desenvolvimento vegetal 86, 170, 463
dieta humana 167, 170, 171
digestão 156, 268, 283, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 293, 294, 295, 296, 297, 309, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317
digestibilidade 265, 272, 274, 275, 277, 278, 280, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 293, 294, 295, 297, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 317
distúrbios metabólicos 274, 302, 304, 306
diversidade 51, 53, 54, 55, 56, 70, 96, 100, 106, 107, 108, 197, 201, 206, 332, 335, 362
diversificação produtiva 49, 51, 54, 56, 359
diversificação vegetal 49, 51
Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs) 341, 342
drenagem 24, 26, 27, 28, 227, 230, 236
Dryinidae 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114

DTAs 341, 342, 346

E

ecossistemas nativos 34
Educação agroambiental 95
educação agroecológica 95
educação ambiental 115, 116, 117, 118, 119, 120
efeito estufa 24, 25, 26, 30, 216, 217, 220, 467
eficiência biológica 182, 188, 284, 342
eficiência do uso da água 159, 160, 161, 163, 164, 165
eficiência produtiva 302, 303, 305, 306, 320, 326, 469
Embalagem inteligente 123
emulsificação 310, 311, 314, 315, 316
Emulsificantes 310
enfermidades 330, 331, 335, 341
engenharia 226, 227, 228, 229, 342
enraizamento 176, 177, 179, 180, 181
Ensino Fundamental 95
ERA5-Land 204, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 214
espécies forrageiras 77, 78, 83
estações pluviométricas 204, 206, 207
estercos 70, 72
Esterilidade 182, 186
estimuladores sintéticos 176, 177
estoques de carbono 49
estratégia biotecnológica 86, 88
estresse 90, 92, 155, 170, 173, 333, 334, 341, 344, 345, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 462
estresses ambientais 86
estrutura produtiva 129, 131, 135
estudos hidrológicos 204, 205
evapotranspiração 159, 160, 161, 162, 163, 215, 217, 226, 229, 236
expansão agropecuária 34, 36
extrato aquoso 123, 125
Extrato de alga 176, 178
extratos vegetais 138, 144, 145, 355

F

farelos 70, 72
fases produtivas 454
Fécula de mandioca 438
feijão-caupi 194, 196, 197, 200, 201, 202
fermentação 264, 266, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 293, 294, 297, 310, 311, 312, 313, 315, 316
fermentação ruminal 264, 272, 273, 274, 275, 277, 279, 283, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 310, 311, 313, 316
fertilidade 49, 50, 55, 70, 71, 76, 87, 88, 184, 188, 190, 332, 334, 457, 459, 465
Fibra alimentar 472, 478
fibras 54, 138, 144, 397, 398, 446, 472, 473, 479
filtragem 58
financiamento 49, 56
fonte de energia 275, 283, 286, 296
fornecimento de ração 408, 411, 416
fornecimento programado de alimento 408
forrageiras tropicais 77, 419, 467
forragem 79, 83, 176, 177, 305, 306, 329, 331, 333, 335, 336, 406, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 471
fotossíntese 167
Fruta 176
Fruticultura 69, 430
fungos 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 188, 266

G

gases 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 189, 191, 216, 217, 220, 467
genótipo 30, 319, 323, 324, 325
geração de renda 49, 50, 51, 52, 54, 56, 119, 170, 330, 335, 387
gestação 296, 298, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 322, 323, 333, 456, 460
Google Apps Script 95
gramínea 77, 80, 81, 82, 84, 397, 426

H

hidrólise enzimática 149, 155, 285, 311, 315
Higienização 377
himenópteros parasitoides 106, 107, 108, 110, 112

I

ILP 77, 78, 79
Impacto ambiental 149
Indicador colorimétrico 123
indicadores colorimétricos 123, 124, 127
Índices cromáticos 396
indústria cárnea 149, 152
infraestrutura 28, 30, 49, 55, 56, 129, 131, 132, 135, 334
inimigos naturais 106, 107, 108, 111, 112
inseto estéril 182, 183, 184, 189, 190, 191, 192, 193
instrumento pedagógico 115
insumos 119, 132, 133, 134, 329, 333, 336, 465
inteligência artificial 356, 447, 448, 454, 460
Interação planta-microrganismo 86
intoxicações 350
irrigação 25, 26, 27, 28, 30, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 177, 215, 216, 220, 221, 222, 223, 224, 227

L

Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA) 226
Lactuca sativa L. 58, 59, 61, 159, 160, 161
laticínios 393, 438
lavouras 24, 26, 27, 28, 30, 109, 111, 112
layouts aquapônicos 58, 60, 61
Legislação 350
lepidópteros 182, 183, 189, 190
leveduras vivas 272, 274, 275, 277, 279
lipídeos 293, 294, 295, 296, 297, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317
lisofosfolipídios 309, 311, 312, 315, 316, 317
Lisolecitina 310
Listeria monocytogenes 18, 386, 387, 388, 389, 391, 392, 393, 394

M

maleicultura 429, 436
manejo agroecológico 49, 50
manejo alimentar 303, 331, 336, 408, 409, 411, 416
manejo alternado 24, 25
manejo hídrico 26, 27, 30, 159, 160, 161, 165
manejo sustentável 71, 106, 111, 115, 119, 466
manipuladores de alimentos 368, 369, 373, 374, 375, 377, 379, 381, 382, 383, 384, 385
mapeamento automatizado 447
materiais genéticos 194, 201
matéria-prima 44, 45, 130, 131, 132, 133, 135, 313, 397, 439
mecanismos biogeoquímicos 24, 26, 30
médico veterinário 341, 342, 343, 344, 346, 347, 348, 349

metabolismo vegetal 90, 167, 467
metano 24, 25
micronutrientes 167, 168, 169, 170, 171, 196
microrganismos 26, 59, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 264, 266, 274, 275, 276, 277, 284, 286, 287, 288, 290, 312, 314, 345, 368, 369, 373, 374, 380, 381, 382, 383, 385, 387, 388, 392, 398, 472, 479
milho 44, 45, 46, 47, 48, 93, 106, 107, 111, 113, 220, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 292, 361, 362, 363, 364, 366, 403
modulação microbiana 86, 90
molhamento 24, 25
monitoramento 55, 127, 205, 259, 336, 343, 344, 346, 348, 349, 391, 411, 419, 420, 423, 426, 429, 434, 436, 447, 452, 454, 459, 460
moscas-das-frutas 182, 183, 184, 186, 189, 191, 192, 193
Mudas 176
Mymaridae 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114

N

N□O 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32
NASA POWER 12, 204, 206, 207, 209, 210, 211, 212
nascimento 304, 305, 319, 320, 322, 323, 324, 326
ninfas 106, 108, 110
nitratos 138, 139, 144, 353, 355
nitritos 138, 141, 144, 350, 351, 352, 353, 354, 355
nitrogênio 29, 71, 89, 124, 185, 264, 266, 267, 268, 272, 275, 277, 278, 295, 418, 419, 420, 422, 423, 424, 425, 426, 442, 464, 465, 467, 468, 471, 476
nutrição animal 44, 45
nutrição maternas 319
nutrição proteica 263, 264
nutrientes 46, 47, 48, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 79, 86, 87, 89, 90, 91, 160, 169, 171, 172, 173, 180, 265, 272, 274, 277, 278, 280, 287, 288, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 302, 303, 304, 305, 306, 311, 312, 316, 317, 320, 322, 323, 409, 414, 419, 464, 465, 467, 468, 469, 473

O

oferta de alimentos 69
Olericultura 69
Oreochromis niloticus 58, 59, 61
organização produtiva 49, 55, 56
ovinos 176, 177, 272, 274, 275, 277, 279, 295, 296, 298, 301, 303, 305, 306, 309, 311, 312, 317, 319, 320, 321, 322, 325, 326, 328
óxido nitroso 24, 25

P

parasitoides 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113
pastagem 36, 53, 77, 78, 79, 305, 306, 330, 335, 336, 465, 467
pastagens 34, 79, 305, 330, 331, 333, 335, 336, 397, 419, 426, 464, 465, 466, 467, 470
patógenos 86, 87, 89, 91, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 346, 378, 383, 386, 387
patologias crônicas 350
pecuária 34, 45, 77, 78, 79, 83, 100, 181, 330, 342, 344, 347, 419, 464, 466
peptídeos 149, 154, 155, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 388
perdas produtivas 304, 324
período perinatal 319, 320, 321, 324, 325
planilha eletrônica 226, 228, 229, 402
planta-fungo 86, 89, 90
Plantago ovata 22, 472, 474, 475, 477, 478, 479
plantas 44, 46, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 72, 73, 74, 76, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 107, 120, 124, 144, 161, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 177, 185, 196, 216, 362, 365, 403, 409, 464, 465, 467, 468
plantas cultivadas 69, 72
pododermatite circunscrita 259
pomares de maçã 429, 431, 433, 434, 435, 436, 451, 452

postos pluviométricos 204, 206
potencial carcinogênico 138, 354, 356
praga 106, 107, 110, 111, 112, 182, 183, 184, 190
práticas agrícolas 34, 81
práticas de manejo 24, 26, 29, 50, 55, 56, 319, 321, 324, 331, 448
precipitação 81, 159, 161, 162, 163, 177, 178, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 231, 235, 324, 333, 431, 448
Processamento de imagens 396
processos fisiológicos 167, 170, 173
produção agroindustrial 129, 133
produção animal 302, 341, 342, 346, 349, 397, 419, 460, 462, 466
produção de alimentos 50, 54, 70, 169, 172, 174, 359, 360, 362, 368, 369, 370, 376, 377, 378, 383, 384, 409, 439
produção de carne 149, 325, 330
produção de grãos 77, 78, 79, 83
produção de hortaliças 69, 71, 159
produção de maçãs 447
produção familiar 129, 135
Produção integrada 58
produtividade 24, 25, 27, 28, 29, 30, 45, 50, 53, 60, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 75, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 86, 90, 107, 134, 143, 159, 160, 161, 163, 164, 165, 167, 169, 172, 220, 223, 259, 343, 372, 397, 412, 419, 464, 465, 466, 467
Produtividade da água 159, 163
produto organomineral 44
produtores de soja 215
produtos alimentícios 374, 438, 439
produtos cárneos 138, 139, 140, 143, 144, 145, 350, 351, 352, 354, 356, 357
produtos industriais 44, 45
Produtos sem glúten 472
prole 319, 323, 325, 326
proteína dietética 263, 264, 265, 267, 268
proteína microbiana 263, 264, 265, 266, 267, 268, 277, 290
psyllium 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481

Q

qualidade dos frutos 167, 169, 172, 173
qualidade do solo 49, 50, 70
qualidade microbiológica 377, 378, 472, 479
qualidade sanitária 347, 368, 373, 374, 377, 380, 383
qualidade sensorial dos alimentos 138
quantidades de resíduos 149
quantificação de tecidos 396, 398, 403
queijo 386, 387, 388, 390, 392, 393, 394, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446

R

rabanete 69, 70, 71, 72
radiação ionizante 182, 183, 184, 193
Radiossensibilidade 182
Raiz 70, 72, 176, 207
Raiz tuberosa 70
RAM 341, 342, 345, 346
reanálise climática 204
recuperação ambiental 49, 53, 54, 115
recursos hídricos 159, 160, 161, 164, 165, 215, 216, 220, 221, 222, 227
redes plásticas de proteção 447
relações simbióticas 86, 90
representação espacial 204, 425
Reserva Araras 95, 96, 97, 99, 102, 103
resíduos 27, 59, 65, 69, 71, 72, 78, 124, 149, 267, 341, 373, 409, 451
resíduos agrícolas 69, 71

Resíduos de abate 149
resistência antimicrobiana 341, 343
restauração ambiental 49
rotinas computacionais 226, 228
rúmen 263, 264, 265, 266, 267, 275, 276, 277, 279, 285, 286, 288, 289, 290, 293, 294, 296, 297, 298, 313, 314
ruminantes 181, 263, 264, 265, 267, 268, 269, 270, 272, 273, 274, 275, 277, 278, 279, 280, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 330, 334, 337, 397, 464, 465

S

sabedoria popular 176
Saccharomyces cerevisiae 272, 273, 274, 275, 276, 279, 280, 281, 282
Saccharum spp 396, 397, 398
SAF 53, 100, 115, 116, 117, 118, 119, 120
SAFs 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 115, 116, 117, 118
Sais de Cura 138
Salmonella spp 377, 378, 380, 381, 472, 477, 479, 481
sangue de abatedouros 149
saúde das matrizes 301, 304
saúde humana 167, 168, 170, 171, 172
saúde pública 138, 341, 343, 346, 350, 352, 354, 356, 381, 393
secagem 24, 25, 46, 125, 178, 345, 351, 439, 441, 476
segurança alimentar 45, 51, 87, 116, 138, 160, 164, 167, 168, 201, 217, 330, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 349, 350, 351, 362, 363, 378
segurança hídrica 216, 329, 335, 336
segurança microbiológica 355, 387, 472, 479
semeadura 44, 45, 47, 81, 217, 220, 221, 223
sementes 45, 54, 55, 75, 81, 171, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 359, 360, 361, 362, 364, 365, 366, 367, 442, 465, 469, 471
Sementes crioulas 195
sensoriamento remoto 205, 419, 429, 432, 447, 448, 449, 452
Sensoriamento remoto 419, 430
setor agroindustrial 138
setor alimentício 129, 133
setor de hortifrúti 377, 378, 380
setor de produção 454
simulação educacional 95
Simulação territorial 95
sinergias 24, 26, 29, 96
síntese hormonal 86
Sistema Agroflorestal 115, 116, 118, 119
sistema Nutrient Film Technique (NFT) 58, 60, 61
sistemas agroflorestais 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 96
sistemas aquapônicos 58, 59, 60, 61, 64, 67, 409, 416
sistemas aquícolas 408, 410, 412
sistemas produtivos 50, 52, 54, 59, 69, 78, 80, 119, 360, 420
sobrevivência neonatal 319, 320, 321, 322, 325, 326
sociobiodiversidade 49, 54, 56
soja 47, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 215, 216, 217, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 361, 440, 441, 481
solo 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 59, 60, 65, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 82, 87, 89, 91, 96, 100, 116, 117, 118, 120, 124, 159, 160, 161, 164, 169, 171, 172, 177, 222, 223, 226, 227, 228, 229, 232, 233, 234, 236, 334, 434, 436, 450, 459, 465, 467, 468
solubilização de nutrientes 86
soro de queijo 438, 439, 440, 445
Soro lácteo 438
Stimulate ® 176, 178
substância orgânica 44
suinocultura 454, 455, 457, 460, 461, 462
suínos 181, 361, 454, 455, 456, 458, 460, 461, 462

suplementação lipídica 293, 294, 295, 296, 309, 310, 311, 312, 313, 317
sustentabilidade 36, 49, 51, 52, 54, 56, 78, 96, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 160, 164, 165, 215, 335, 342, 343, 347, 359, 361, 366, 367, 412, 419, 454, 460, 463, 465, 467, 470

T

taxonomia 106, 107, 108, 109, 111, 112, 131
tecidos lignificados 396, 398, 399, 400, 403, 404, 405
tecnologia 60, 182, 196, 201, 227, 342, 343, 344, 356, 450, 464, 465, 466
tempestades de granizo 447, 448
torres aeropônicas 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67
torta de origem vegetal 70, 72
tratamento da água 58, 61, 64, 66
Trichogrammatidae 106, 107, 108, 110, 112, 114

U

úlcera de sola 259
Urochloa brizantha cv 77, 78, 79, 465, 467, 468, 471
uso racional da água 159, 160

V

vacinação 329, 334, 335, 336, 342, 357
variáveis agronômicas 159, 161, 420
variável meteorológica 204
vegetação 34, 50, 51, 53, 54, 56, 96, 104, 181, 231, 329, 330, 333, 334, 419, 420, 421, 422, 423, 425, 426, 452
verminoses 329, 334
Vigna unguiculata 195, 196, 198, 201
vigor neonatal 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326

Z

Zea mays L. 44, 45, 107
zoonoses 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348
zootecnia 341, 342, 343, 349, 460

contato@editoraomnisscientia.com.br
https://editoraomnisscientia.com.br/
@editora_omnis_scientia
https://www.facebook.com/omnis.scientia.9
+55 87 99920-5762

EDITORA
OMNIS SCIENTIA

contato@editoraomnisscientia.com.br
https://editoraomnisscientia.com.br/
@editora_omnis_scientia
https://www.facebook.com/omnis.scientia.9
+55 87 99920-5762