

INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL NA CAFEICULTURA: O POTENCIAL DA GESTÃO COEFICIENTE NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS COM O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Késia Gandí de Barros¹;

Centro Universitário UNIFACIG (UNIFACIG), Chalé, Minas Gerais. Discente de Administração.

Sthéfany Rhodes Cicarini²;

Centro Universitário UNIFACIG (UNIFACIG), Manhuaçu, Minas Gerais.

<http://lattes.cnpq.br/6040412222366824>

Josemeire Aparecida Garcia³;

Centro Universitário UNIFACIG (UNIFACIG), Manhuaçu, Minas Gerais.

<http://lattes.cnpq.br/6489477134301757>

Isabelle Werner de Lemos Brissio⁴.

Centro Universitário UNIFACIG (UNIFACIG), Manhuaçu, Minas Gerais.

<http://lattes.cnpq.br/8933462064569896>

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo investigar o impacto da inovação sustentável na cafeicultura, destacando o potencial da gestão ecoeficiente no tratamento de resíduos com a integração de Inteligência Artificial (IA). A pesquisa procura compreender como a Inteligência Artificial pode otimizar os processos produtivos, agregar valor aos subprodutos da cadeia de produção cafeeira e mitigar os impactos ambientais decorrentes dessa atividade econômica. A metodologia adotada inclui uma revisão bibliográfica de estudos acadêmicos relacionados, juntamente com um estudo de caso único com um produtor de café que implementa práticas ecoeficientes, permitindo a análise prática das vantagens e desafios dessa abordagem. Os resultados obtidos indicam que a adoção de práticas sustentáveis apoiadas por Inteligência Artificial proporciona ganhos significativos na eficiência da cafeicultura. Entre os principais benefícios, destaca-se a identificação de oportunidades para a reutilização de subprodutos, automação de etapas do tratamento de resíduos, redução de custos operacionais e a otimização da sustentabilidade no processo. Conclui-se, portanto, que a combinação da sustentabilidade e tecnologia é fundamental para posicionar a cafeicultura em direção a um futuro mais responsável, eficiente e alinhado às demandas globais por uma agricultura resiliente e de baixo impacto ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Inovação Sustentável. Gestão Ecoeficiente. Inteligência Artificial.

SUSTAINABLE INNOVATION IN COFFEE FARMING: THE POTENTIAL OF ECO-EFFICIENT MANAGEMENT IN WASTE TREATMENT THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT: This study aims to investigate the impact of sustainable innovation in coffee farming, highlighting the potential of eco-efficient management in waste treatment through the integration of Artificial Intelligence (AI). The research seeks to understand how Artificial Intelligence can optimize production processes, add value to by-products in the coffee production chain, and mitigate the environmental impacts arising from this economic activity. The methodology adopted includes a literature review of related academic studies, along with a single case study involving a coffee producer who implements eco-efficient practices, allowing for a practical analysis of the advantages and challenges of this approach. The results indicate that the adoption of sustainable practices supported by Artificial Intelligence provides significant gains in the efficiency of coffee farming. Among the main benefits are the identification of opportunities for by-product reuse, automation of waste treatment stages, reduction of operational costs, and optimization of sustainability in the process. It is concluded, therefore, that the combination of sustainability and technology is essential for positioning coffee farming toward a more responsible, efficient future aligned with global demands for resilient and low-impact agriculture.

KEY-WORDS: Sustainable Innovation. Eco-efficient Management. Artificial Intelligence.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades agrícolas mais relevantes no contexto global, especialmente para países como o Brasil, líder mundial na produção de grãos de café. No entanto, a cadeia produtiva do café enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, devido ao alto volume de resíduos (sólidos e líquidos) gerados ao longo do processo produtivo. Quando estes resíduos não são devidamente tratados, podem ocasionar graves impactos ambientais e riscos à saúde humana, evidenciando a necessidade urgente de soluções inovadoras e eficientes. Estima-se que anualmente são geradas 225 milhões de toneladas de resíduos líquidos e 9,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos em nível mundial (DIAS, 2014).

Neste contexto, a adesão a práticas sustentáveis tem ganhado cada vez mais importância, pois permite otimizar os processos produtivos, reutilizar subprodutos do café, reduzir desperdícios e minimizar a degradação ecológica e social. A inovação sustentável, entendida como a capacidade de desenvolver soluções criativas que buscam equilibrar o progresso econômico com responsabilidade ambiental e social, emerge como uma estratégia indispensável para os setores industriais e agrícolas, uma área crucial para a economia nacional. Segundo Hart e Milstein (2003), a inovação sustentável não apenas

melhora a eficiência dos processos produtivos, mas também gera novos modelos de negócios e fontes de receita sustentável, ao transformar resíduos em recursos valiosos.

Entre as práticas emergentes, destaca-se a gestão ecoeficiente, alinhada ao uso de tecnologias avançadas, como a Inteligência Artificial (IA). Essas inovações têm ganhado destaque na cafeicultura pelo seu potencial em promover maior sustentabilidade, melhorando a imagem do produtor diante dos consumidores (FIELKE, 2019; NAWANDAR; SATPUTE, 2019; MIRANDA; 2019). A Inteligência Artificial (IA) determina o momento ideal para a colheita de commodities agrícolas, tornando mais eficiente a detecção de doenças e controle das máquinas (MAUANGPRATHUB, 2019). Além disso, contribui para a redução dos custos e otimiza a coleta de dados sobre áreas cultivadas (PIVOTO, 2019), aumentando a capacidade de solucionar problemas referentes à produtividade da fazenda (OZDOGAN, 2017). A Inteligência Artificial (IA) também diminui os resíduos em plantações, água e energia, ao mesmo tempo, em que torna mais eficiente o uso dos insumos e de defensivos agrícolas (ZHAI, 2020).

OBJETIVO

Pretende-se com esta pesquisa responder à seguinte questão: “Quais os principais impactos na implementação das práticas de gestão ecoeficiente no tratamento de resíduos com o uso de inteligência artificial?” Discutir sobre a inovação sustentável na cafeicultura: o potencial da gestão ecoeficiente no tratamento de resíduos com o uso de inteligência artificial que, justifica-se, pela necessidade de práticas agrícolas que alinhem preservação ambiental com competitividade e produtividade. Portanto, a gestão ecoeficiente desses resíduos, com o apoio de tecnologias como o uso da inteligência artificial, pode trazer melhorias substanciais no tratamento de resíduos. Dessa maneira, objetiva-se com este trabalho analisar os principais impactos dessa implementação através de um estudo de caso com um agricultor local.

METODOLOGIA

O tipo de pesquisa trabalhada, na primeira parte deste trabalho, foi de natureza bibliográfica, com o propósito de trazer robustez ao texto e aprofundar o conhecimento sobre o tema proposto. Essa etapa foi conduzida por meio de uma apuração de artigos científicos disponíveis no meio acadêmico, escolhidos com base em sua relevância e contribuição teórica. Segundo Macedo (1994, p.13), a investigação bibliográfica trata-se do primeiro passo em qualquer tipo de pesquisa científica, com o fim de revisar a literatura existente e não redundar o tema de estudo ou experiência.

Na segunda etapa, a metodologia foi desenvolvida com base em uma pesquisa descritiva de abordagem qualitativa, complementada por um estudo de caso único. Segundo Gil (2009), a pesquisa descritiva tem como principal objetivo descrever as

características de um fenômeno, de uma população ou de relações entre variáveis, além de oferecer novas perspectivas sobre a realidade investigada. Este método foi selecionado por sua capacidade de captar nuances do contexto estudado e aprofundar a compreensão dos aspectos analisados.

A coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas, associadas às técnicas da história oral. Esse formato permitiu combinar um roteiro previamente definido com a flexibilidade necessária para explorar questões emergentes durante as interações com o participante, proporcionando maior profundidade na análise. Segundo Bertucci (2009), ressalta que as entrevistas semiestruturadas oferecem riqueza investigativa ao adaptar as perguntas às respostas e ao contexto do entrevistado, o que enriquece o material coletado.

Neste estudo, o participante foi um agricultor rural atuante no setor cafeeiro, cuja entrevista teve como objetivo compreender sua percepção sobre ações ambientais adotadas no setor agrícola. O conteúdo da entrevista foi gravado, preservando a fidelidade ao relato original. Contudo, na redação dos resultados, optou-se por narrar as falas em terceira pessoa do singular, de forma a adaptar o discurso às normas acadêmicas e garantir maior coesão textual, conforme recomendado em pesquisas qualitativas (MINAYO, 2009).

A unidade de análise selecionada foi à cidade de Chale, localizada na região da Vertente Ocidental do Caparaó, no estado de Minas Gerais. Com uma população de estimada em 6.075 habitantes (IBGE, 2022), Chale destaca-se por sua economia baseada no setor de serviço e agropecuária. A escolha do município justifica-se pela relevância econômica da região e pela representatividade das práticas empresariais locais no contexto investigado. Por fim, a análise qualitativa dos dados possibilitou uma compreensão aprofundada do cenário estudado e gerou contribuições relevantes para o aprimoramento ou implementação de práticas de gestão ecoeficiente, alinhando a teoria à prática observada no contexto analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de Caso Único:

O agricultor está há 40 anos no mercado de Chale (MG) e região, atuando no setor cafeeiro, com produção de café e fabricação de sementes. Visando produzir um produto de qualidade sem agredir o meio ambiente, o cafeeiro investe em infraestrutura e inovações tecnológicas sustentáveis, seguindo as leis e regulamentos ambientais.

Em seguimento a uma entrevista semiestruturada, obteve-se as seguintes indagações sobre a temática, onde “P” refere-se às indagações formuladas e “R” corresponde às informações obtidas a partir das respostas do entrevistado.

P: Em qual setor o senhor atua e há quanto tempo dedica-se à produção agrícola de mudas e sementes de café? Quais fatores o influenciaram a tornar-se produtor, e quantas pessoas atualmente colaboram na gestão administrativa do seu negócio?

R: O produtor rural está presente há 40 anos no setor cafeeiro – 17 anos fabricando mudas e 23 anos produzindo sementes - dedicando-se à produção de café fino e especial para cafeterias. O espírito visionário e empreendedor manifestado pelo agricultor é uma característica sanguínea, visto que seu pai foi o primeiro cultivador a confeccionar café de bebida dura na região, ou seja, grão de relevante qualidade no mercado que após a torrefação apresenta intensa e encorpada bebida, ao longo da década de 80. A administração do negócio é feita em conjunto com seu irmão e o auxílio de 3 colaboradores.

P: Onde está localizado o viveiro de café, quais espécies de café são fabricadas nele, qual a quantidade de mudas é produzida e qual o processo de produção das mudas?

R: O agricultor é conhecido na região pela excelente categoria da muda de café, que apresenta uma elevada resistência ao ataque de pragas, baixo percentual de perda – de 5 mil mudas plantadas a probabilidade de falha é inferior a 40 pés de café - e alto nível de produtividade. Situado na cidade de Chale (MG), os principais grãos produzidos no viveiro são da espécie Arábica e Catucaí Amarelo, sendo que o último é o carro-chefe das vendas devido à sua peculiaridade quanto à resistência à doença, compacidade da semente e qualidade da bebida. O processo de fabricação das mudas conta com a participação de 20 funcionários temporários alocados para encher sacolinha, plantar a semente, podar e distribuir as 800 mil plantas nos municípios. O viveiro possui certificado e segue legislação, isto é, realiza análise da macrolídeo para verificar se o produto contém alguma doença. É importante ressaltar que, o produtor utiliza matéria orgânica (esterco de boi) e fertilizante na fabricação das mudas de café.

A descrição enfatiza a aplicação de boas práticas na produção agrícola, como o uso de matéria orgânica e o cumprimento da legislação, que são pilares da agricultura sustentável. A resistência das mudas e o baixo índice de perda refletem os princípios defendidos por Parreiras Pereira (2017), que argumenta que a sustentabilidade reduz riscos e aumenta a qualidade do produto (ABIC, 2017). Adicionalmente, a ênfase na qualidade das mudas e no controle de doenças dialoga com o foco na preservação do solo e na biodiversidade destacado por Das, Ray, Panday, Mishra (2023). A certificação do viveiro e os cuidados sanitários também apontam para uma abordagem ecologicamente responsável, alinhada ao conceito de preservação do capital natural defendido pela Foundation (2013) no contexto da economia circular.

P: Em relação à produção de grãos de café para bebida, onde está localizado o sítio e quais espécies de plantas são cultivadas na área e qual o processo adotado na produção dos grãos?

R: O sítio Santa Rita, localizado no município de São Luiz (MG), possui uma área de 28 hectares destinada à produção de cafés finos e especiais de alta categoria com o emprego de técnicas modernas. A propriedade se destaca pelo cultivo do café Arara, Catucaí marelo (24/137 e 2SL) e Vermelho, favorecidos pelo clima favorável, fertilização e o bom cuidado do solo. Todo o processo da preparação de café é executado dentro do mais rigoroso padrão de

qualidade e cumprindo a legislação ambiental, visto que, a missão do agricultor é produzir um produto de qualidade sem agredir o meio ambiente, visando alcançar o selo verde de certificação do Net Zero, no qual está concorrendo. Anualmente, o elevado investimento realizado pelo empreendedor na infraestrutura da herdade, desperta a curiosidade de grandes companhias internacionais, como Louis Dreyfus Company, Atlântica, Aoran e entre outras, que já visitaram o local. “As empresas do exterior estão interessadas em olhar a sustentabilidade do processo produtivo aplicado pelo produtor, isto é, a responsabilidade que ele tem com o ambiente”, afirma o agricultor.

A atratividade do sítio para empresas estrangeiras, como mencionado, evidencia como práticas sustentáveis promovem não apenas a conservação ambiental, mas também fortalecem a competitividade econômica, conforme apontado por Pearson (2011). A busca pelo selo verde Net Zero, alinhada à preservação do ambiente, remete à análise de Geissdoerfer (2017), que destaca como a redução de resíduos e a eficiência de recursos geram inovação e vantagens econômicas. A atenção às exigências ambientais também dialoga com Ottman (1994) e Alves (2011), que enfatizam a importância de atender consumidores ecologicamente conscientes e de adotar práticas empresariais éticas.

P: Como é realizado o processo produtivo dos grãos de café, a colheita é feita de maneira manual ou mecanizada, e quantas pessoas são empregadas durante o período de colheita?

R: Atualmente, a colheita de café é feita de maneira mecanizada com o auxílio de 20 a 30 empregados provisórios para coletar os 110 mil pés de café do sítio. O despulpador usado para separar as cascas dos grãos de café tem um filtro de purificação para reaproveitar a água no próprio sistema de lavagem, porém, toda água do procedimento é despejada em um poço de decanto (calçado e gramado por dentro e ao redor) que fica a 50 metros do córrego para não escorrer resquícios. Além disso, o reservatório possui uma caixa de 9 litros por baixo para armazenar a água suja dos resíduos que, depois de cheia, é bombeada para outro poço com intuito de evitar transbordo e vazamento para o córrego. Em julho, 30 dias após o término da colheita, a água do poço terá evaporado e um trator irá realizar a limpeza, em outras palavras, retira os sobejos da casca de café.

P: Qual é o destino dado aos resíduos de café, como são armazenados os agrotóxicos e pesticidas, e a propriedade possui sistema de captação de água da chuva?

R: A casca da semente é descarregada no terreiro de pedra para enxugar a água e, posteriormente, é mesclado com a cinza do secador de café e o pó de serra a fim de servir de nutriente para o solo. O cultivador acredita que a adubação feita com estes nutrientes ajuda a planta a crescer saudável e resistente a doenças, contribuindo, assim, para a redução dos custos com agrotóxico e elevação da qualidade/quantidade do café. Vale ressaltar que, a propriedade contém depósito agroquímico para guardar os produtos e um sistema de captação d'água da chuva para pulverizar a lavoura. Segundo o produtor, “o agricultor precisa pesquisar, investir em novas tecnologias, inovar o processo de produção

e, principalmente, respeita as normas do meio ambiente, pois aquele que cuidar do ambiente terá um ganho maior”.

O reaproveitamento de resíduos agrícolas é uma prática que exemplifica o conceito de economia circular, conforme discutido pela Foundation (2013), ao otimizar recursos e reduzir desperdícios. Essa abordagem também reflete os princípios de eficiência de recursos e minimização do impacto ambiental mencionados por Geissdoerfer (2017). A declaração do agricultor sobre a necessidade de pesquisa e inovação está alinhada ao argumento de Parreiras Pereira (2017) de que a aplicação de conhecimento científico resulta em produtos de maior qualidade e menor risco.

P: O senhor conhece ou já ouviu falar no conceito gestão ecoeficiente, acredita que essa pratica pode trazer vantagens para a cafeicultura e qual investimento pretende realizar a mais na propriedade com foco em sustentabilidade?

R: O agricultor tem conhecimento sobre os conceitos de produção ecoeficiência aplicada no processo de fabricação dos grãos de café, uma vez que a missão do proprietário é produzir um produto de qualidade sem agredir o meio ambiente. Este acredita que as adoções das práticas sustentáveis são essenciais para agregar valor à saca de café e melhorar a imagem do negócio diante do mercado internacional, visto que as instituições estrangeiras observam o cuidado que o produtor tem com o ecossistema ao redor. O cafeicultor revelou que investiu em 70 placas de energia solar com intuito de reduzir o consumo de energia do despulpador e secador de café que possui 20 motores, contribuindo, assim, para a geração de 40 mil kW por ano. Além disso, deseja instalar um filtro de fumaça no secador para minimizar 90% da emissão de gases nocivos na atmosfera, visando conseguir o selo verde.

Desafios da implementação de Inteligência Artificial (IA) na cafeicultura:

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na agricultura tem o potencial de transformar a cafeicultura, promovendo maior eficiência e sustentabilidade ao longo da cadeia de produção dos grãos de café. Como observado por Romeiro (1998), o setor agrícola é um campo propício para integrar a sustentabilidade ecológica com o crescimento econômico socialmente desejável. No entanto, o setor enfrenta desafios significativos, especialmente entre pequenos produtores rurais e em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura tecnológica é insuficiente ou inexistente. Nessas regiões, muitas vezes há limitações de infraestrutura, restrições financeiras e falta de conhecimento técnico, dificultando a introdução de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) (KAUSHAL & YADAV, 2022). Pequenos agricultores, geralmente localizados em áreas remotas, enfrentam dificuldades relacionadas à conectividade e o uso de dispositivos modernos que suportem a Inteligência Artificial (IA), como sensores e drones. Para que soluções baseadas em Inteligência Artificial (IA) sejam eficazes, é necessário um ambiente com conectividade adequada, especialmente em áreas rurais que frequentemente sofrem com a falta de cobertura de internet de alta velocidade (BORBA, 2022).

Além disso, a adoção de técnicas de produção mais limpa e sustentável com o uso de Inteligência Artificial (IA) depende da regulamentação governamental, visto que o desenvolvimento de novos processos pode demandar, inicialmente, maiores recursos (ROMEIRO, 1994). A falta de crédito e a escassez de políticas de incentivo para a modernização do setor agrícola em diversos países produtores de café são obstáculos frequentes para investimentos, impactando o crescimento da produtividade (SOUSA & OTTAVIANO, 2018). Para Costa Borda (2022), pequenos produtores ainda enfrentam dificuldades para justificar o custo-benefício de implementar Inteligência Artificial (IA), principalmente em um setor onde os sobre o investimento podem demorar a se materializar.

Outro obstáculo à adoção da Inteligência Artificial (IA) é a capacitação dos agricultores. A utilização de tecnologias avançadas exige habilidades em tecnologias digitais e a capacitação para interpretar dados complexos. Segundo Jornal da Faculdade de Professores de *Anqing* (2013), a educação e o treinamento dos agricultores enfrentam problemas, como a demanda inadequada e supervisão insuficiente de programas e financiamento limitado. Esse desafio é ainda mais acentuado em comunidades rurais com altos índices de analfabetismo funcional, onde a falta de conhecimento técnico dificulta a implementação de novas práticas.

Perspectivas futuras e inovações potenciais:

A Inteligência Artificial (IA) tem grande potencial para contribuir para a sustentabilidade na agricultura, promovendo o uso eficiente de água, energia elétrica e insumos. Na cafeicultura, a Inteligência Artificial (IA) pode ser empregada para monitorar o clima, controlar pragas e prever a ocorrência de doenças, além de identificar plantas daninhas (LIAKOS, 2018), reduzindo assim, o uso de agrotóxicos e minimizando o impacto ambiental. Essas práticas promovem uma produção mais sustentável e aumentam o valor do café no mercado, especialmente no cenário internacional, onde o apelo por produtos ecológicos é crescente, o que impulsiona o setor agrícola (SAMPAIO, 2021).

Entre as inovações promissoras está a utilização da Inteligência Artificial (IA) para a gestão de resíduos (sólidos e líquidos), transformando subprodutos do café, como cascas, em biomassa para geração de energia elétrica. Segundo Noman (2022), esses avanços tecnológicos têm o potencial de otimizar a coleta de resíduos, reduzir o impacto ambiental, promover a sustentabilidade e oferecer uma fonte alternativa de renda aos produtores rurais. A Inteligência Artificial também pode auxiliar na identificação de métodos mais eficientes para a transformação de resíduos, como a compostagem otimizada, viabilizando o reaproveitamento de subprodutos de forma econômica.

Para facilitar a implementação de Inteligência Artificial (IA) na cafeicultura, é essencial que haja apoio governamental. Políticas públicas que incentivem a inovação sustentável e a modernização tecnológica, como subsídios para aquisição de tecnologias de Inteligência Artificial (IA), incentivos fiscais para práticas sustentáveis e programas de capacitação,

podem acelerar a transformação digital no setor. Segundo Margarido & Beskon (1998), a agricultura sustentável é a abordagem ideal para assentamentos de reforma agrária, justificando políticas públicas voltadas para seu desenvolvimento. Ademais, a criação e o fortalecimento de cooperativas e redes de compartilhamento de tecnologias são estratégias para democratizar o acesso à inovação no campo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do estudo de caso do produtor rural evidencia como a implementação de práticas ecoeficientes no tratamento de resíduos, alinhada ao uso de Inteligência Artificial (IA), gera benefícios significativos nos âmbitos ambiental, econômico e tecnológico na cafeicultura.

No eixo ambiental, destaca-se o manejo sustentável de resíduos, como casca de café, cinzas e pó de serra, são reaproveitadas como fertilizantes naturais, contribuindo, assim, para a nutrição do solo e a redução no uso de agrotóxicos. A implementação de sistemas de captação de água da chuva e a utilização de poços de decantação previnem a contaminação ambiental e otimizam o uso dos recursos hídricos. O investimento em energia renovável, por meio de placas solares, demonstra o compromisso com a redução de emissões e a adoção dos princípios da economia circular, alinhando a produção às demandas globais por práticas sustentáveis.

Na perspectiva econômica, a gestão ecoeficiente proporciona redução de custos operacionais ao minimizar a dependência de fertilizantes químicos e agrotóxicos por intermédio do reaproveitamento de resíduos. Além disso, práticas sustentáveis agregam valor ao produto final, atraindo consumidores que valorizam produtos ambientalmente responsáveis. Esse diferencial competitivo fortalece o posicionamento no mercado, gerando reconhecimento de grandes companhias internacionais e ampliando a aceitação em mercados exigentes.

Por último, mas não menos importante, no aspecto tecnológico, evidencia-se a integração de soluções inovadoras, como sistemas automatizados de gestão de recursos e o potencial do filtro de fumaça, demonstram a importância da inovação para otimizar processos produtivos, aumentar a eficiência e reduzir impactos ambientais. A combinação entre tecnologia e rigoroso controle de qualidade potencializa os resultados produtivos e a sustentabilidade da atividade.

No entanto, há desafios a serem superados, como o alto custo inicial de investimento, a necessidade de capacitação técnica, a resistência cultural à adoção de novas tecnologias e a infraestrutura rural limitada, como acesso instável à internet e energia. Esses fatores podem dificultar a aplicação em larga escala, especialmente para pequenos produtores.

Em síntese, o estudo de caso comprova que a gestão ecoeficiente associada à Inteligência Artificial (IA) fortalece a sustentabilidade e a competitividade da cafeicultura.

A Inteligência Artificial (IA) possibilita otimizar processos, tratar resíduos de forma eficiente e ampliar o monitoramento das condições produtivas. Para garantir a adoção em larga escala, é fundamental investir em infraestrutura e na qualificação técnica dos produtores. Conclui-se que a inovação sustentável, impulsionada pela tecnologia, é essencial para o desenvolvimento rural, a preservação ambiental e o posicionamento competitivo dos produtores em um mercado cada vez mais exigente e voltado para práticas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ (ABIC). **Café Orgânico**, 2017.

BERTUCCI, J. L. de O. **Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos (TCC): ênfase na elaboração de TCC de pós graduação Lato Sensu**. São Paulo: Atlas, 2009.

BORBA, M. da C., RAMOS, J. E. S., RAMBORGER, B. M., MARQUES, E. O, MACHADO, J. A. D (2022). **Gestão no meio agrícola com o apoio da Inteligência Artificial: uma análise da digitalização da agricultura**. Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente, 15(3), 1–22.

DAS, S; RAY, MK; PANDAY, D; MISHRA PK (2023). **Papel da biotecnologia na criação de uma agricultura sustentável**. PLOS Sustain Transform

DIAS, D. R. **Gestão e aproveitamento de resíduos do processamento do café**. In: SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (Org.). *Cocoa and coffee fermentations*. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, 2014. Cap. 15, p. 376-382.

FIELKE, S. J. GARRARD, R. JAKKU, E. FLEMING, A. WISEMAN, L. TAYLOR, B. M. **Conceituando o DAIS: Implicações da Digitalização de Sistemas de Inovação Agrícola' na tecnologia e na política em vários níveis**. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences. 90, 2019.

FOUNDATION, E. M. **Rumo à economia circular: Justificativa econômica e empresarial para uma transição acelerada**, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

HART, S, L.; MILSTEIN, M, B. **Criando valor sustentável**. Academia de Executivos de Gestão, v.17, n.2, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2022. **Cidades e Estados**, 2022.

LIAKOS,K.;BUSATO,P.;MOSHOU,D.;PEARSON,S.;BOCHTIS,D. **Aprendizagem na agricultura: uma revisão**. *Sensores*, v. 18, n. 8, p.2674,2018. Doi: 10.3390/s18082674.

MACEDO, N. D. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para a fundamentação do trabalho de pesquisa.** São Paulo, SP: Edições Loyola, 1994.

MINAYO, M. C. DE S. (2009). **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** São Paulo: Hucitec.

MUANGPRATHUB, J. BOONNAM, N. KAJORNKASIRAT, S. LEKBANGPONG, N. WANICHSOMBAT, A. NILLAOR, P. **Análise de dados agrícolas e de IoT para fazendas inteligentes. Computadores e Eletrônicos na Agricultura.** 156, 467–474, 2019.

NOMAN, A., AKTER, U., PRANTO, T., & HAQUE, A. (2022). **Aprendizado de máquina e inteligência artificial na economia circular: uma análise bibliométrica e revisão sistemática da literatura.** Anais de Tecnologias Emergentes em Computação, 6(2), 13-40

OZDOGAN, B. GACAR, A. AKTAS, H. **Práticas de agricultura digital no contexto da agricultura 4.0. Revista de Economia, Finanças e Contabilidade.** (JEFA). 4, 184-191, 2017.

PEREIRA, Sérgio Parreiras. **Produção de café sustentável: aplicação do conhecimento científico na redução de riscos e aumento da qualidade do produto.** Revista Brasileira de Café e Cultura, 2017.

PIVOTO, D. BARHAM, B. WAQUIL, P. D. FOGUESATTO, C. R. ZHANG, D. TALAMINI, E. **Fatores que influenciam a adoção da agricultura inteligente pelos produtores de grãos brasileiros.** Revisão Internacional de Gestão de Alimentos e Agronegócios. 22, 2019.

ZHAI, Z. MARTÍNEZ, J. F. BELTRAN, V. MARTÍNEZ, N. L. **Sistemas de apoio à decisão para a agricultura 4.0: Levantamento e desafios.** Computadores e Eletrônica na Agricultura, 2020.