

DETECÇÃO DE ADULTERANTES E CONTAMINANTES EM LEITE CRU: O PAPEL ESTRATÉGICO DA ESPECTROSCOPIA FTIR

Larissa Karla Monteiro¹;

Núcleo de Ciência, Tecnologia e Inovação do Leite (NCTI)/Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Pinhalzinho, Santa Catarina.

<http://lattes.cnpq.br/6575243577701104>

Mariane Wolf²;

Núcleo de Ciência, Tecnologia e Inovação do Leite (NCTI)/Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Pinhalzinho, Santa Catarina.

<http://lattes.cnpq.br/8711783303286696>

Andréia Zilio Dinon³.

Núcleo de Ciência, Tecnologia e Inovação do Leite (NCTI), Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química (DEAQ)/Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Pinhalzinho, Santa Catarina.

<http://lattes.cnpq.br/3603845531003036>

RESUMO: A qualidade e a segurança do leite e seus derivados podem ser comprometidas por adulterações intencionais ou por contaminações químicas acidentais, impactando a saúde pública e a confiança do consumidor. Nesse cenário, a Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) tem se destacado como uma técnica analítica promissora, por permitir a detecção rápida e precisa de diferentes tipos de adulterantes e contaminantes, abrangendo desde fraudes na composição até a presença de compostos potencialmente tóxicos. Trata-se de um método não destrutivo, com baixo preparo de amostras e que dispensa o uso de reagentes, o que o torna atrativo para aplicações no controle de qualidade na indústria de laticínios. Esta revisão tem como objetivo apresentar os avanços mais recentes relacionados ao uso da FTIR na identificação de adulterantes e contaminantes em leite e derivados, com base na literatura científica publicada na última década em bases de dados de livre acesso. Os estudos analisados demonstram que a combinação da espectroscopia FTIR com ferramentas quimiométricas amplia sua capacidade diagnóstica, promovendo maior confiabilidade analítica. Conclui-se que essa abordagem contribui de forma significativa para o monitoramento, a rastreabilidade e a segurança alimentar ao longo da cadeia produtiva do leite.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia FTIR. Lácteos. Segurança alimentar.

DETECTION OF ADULTERANTS AND CONTAMINANTS IN RAW MILK: THE STRATEGIC ROLE OF FTIR SPECTROSCOPY

ABSTRACT: The quality and safety of milk and dairy products can be compromised by intentional adulteration or accidental chemical contamination, impacting public health and consumer confidence. In this scenario, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) has emerged as a promising analytical technique, enabling the rapid and accurate detection of a wide range of adulterants and contaminants, ranging from composition frauds to the presence of potentially toxic compounds. It is a non-destructive method with minimal sample preparation and no reagents, making it attractive for quality control applications in the dairy industry. This review aims to present the most recent advances in the use of FTIR to identify adulterants and contaminants in milk and dairy products, based on scientific literature published over the last decade in open-access databases. Evidence from the reviewed studies indicates that integrating FTIR spectroscopy with chemometric analysis substantially enhances diagnostic performance and analytical robustness, thereby advancing monitoring, traceability, and food safety throughout the milk production chain

KEY-WORDS: FTIR spectroscopy. Dairy products. Food safety.

INTRODUÇÃO

O leite é um dos alimentos mais consumidos mundialmente, caracterizando-se por uma composição complexa que inclui majoritariamente água, além de gorduras, proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais. De acordo com Ceniti et al. (2023), trata-se de um alimento de elevado valor nutricional, que desempenha papel essencial na nutrição humana em diferentes fases da vida. No entanto, justamente por seu alto valor nutricional e ampla aceitação no mercado, o leite torna-se vulnerável a práticas fraudulentas e à contaminação por agentes químicos. Nesse sentido, a identificação de adulterantes e contaminantes em produtos lácteos é fundamental tanto para a segurança alimentar quanto para a credibilidade da cadeia produtiva (KAROUI et al., 2007; CHU et al., 2024).

O uso de métodos analíticos modernos, como os baseados em espectroscopia, especialmente a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), têm sido cada vez mais explorados (DARWESH et al., 2025). A técnica tem se mostrado eficaz na detecção de adulterações como adição de água, amido, sacarose, leite em pó, ureia, melamina, entre outros compostos, por meio de análises rápidas, não destrutivas e ambientalmente sustentáveis (NICOLAOU et al., 2010).

A crescente globalização e o avanço das cadeias logísticas, associado a necessidade de controle das fraudes alimentares e da garantia da segurança dos alimentos, exige ferramentas analíticas sensíveis, confiáveis e aplicáveis em larga escala. A FTIR combinada com técnicas quimiométricas tem se destacado nesse contexto, oferecendo

suporte à rastreabilidade, à transparência e ao cumprimento das exigências regulatórias, especialmente diante do aumento da complexidade das fraudes no setor de alimentos (COITINHO et al., 2017).

OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo compilar e analisar criticamente as principais pesquisas científicas que utilizaram a espectroscopia FTIR na análise de leite e seus derivados. A ênfase do presente capítulo está em contextualizar o uso da FTIR e sua aplicação para detectar adulterantes e contaminantes no leite, considerando sua importância para o controle de qualidade, a segurança alimentar e a integridade da cadeia produtiva de laticínios.

METODOLOGIA

A presente revisão foi conduzida por meio de pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa, natureza aplicada e caráter descritivo.

A seleção das fontes bibliográficas foi realizada em bases de dados científicas de acesso livre, incluindo Scielo, PubMed e Google Scholar. Foram considerados artigos publicados no período de 2015 a 2025, que abordaram o uso da espectroscopia FTIR na análise de leite e derivados, especialmente no que se refere à detecção de adulterantes em associação com técnicas quimiométricas.

Foram excluídos da análise os trabalhos duplicados, aqueles com foco exclusivo em outras matrizes alimentares ou que não utilizaram a FTIR como ferramenta principal de investigação. A seleção de artigos buscou garantir relevância, atualidade e aplicabilidade dos estudos selecionados ao tema proposto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fundamentos e vantagens da espectroscopia FTIR

A identificação de contaminantes e adulterantes em produtos lácteos é fundamental para garantir a segurança do consumidor e a credibilidade da indústria de laticínios. Técnicas como cromatografia, espectrometria de massa e eletroforese têm sido amplamente utilizadas devido à sua alta precisão. Entretanto, esses métodos apresentam limitações, incluindo custos elevados, consumo intenso de reagentes, longos períodos de análise e a geração de resíduos ambientais nocivos (KAROUI et al., 2007; CHU et al., 2024).

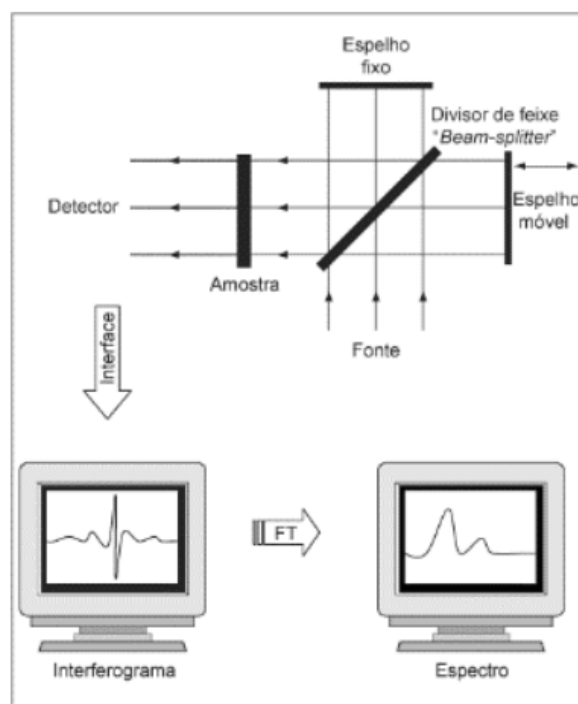
A espectroscopia no infravermelho fundamenta-se na capacidade das ligações moleculares de absorver radiação em faixas específicas do espectro eletromagnético. Essa absorção, que varia conforme os modos vibracionais dos grupos funcionais

presentes, permite identificar com precisão a composição química das amostras. As regiões do infravermelho médio (MIR: 2.500–25.000 nm) e próximo (NIR: 800–2.500 nm) são particularmente relevantes, pois concentram transições vibracionais características. A sensibilidade a essas variações torna a técnica altamente eficaz para aplicações analíticas em alimentos, inclusive na detecção de adulterações (CENITI et al., 2023).

O desenvolvimento da espectroscopia no infravermelho foi significativamente impulsionado pela introdução da transformada de Fourier e pelo uso do interferômetro de Michelson, que aumentaram a rapidez e a eficiência das análises (SALIBA et al., 2003). O princípio de funcionamento desse dispositivo baseia-se em dois espelhos (um fixo e outro móvel) e um divisor de feixes semitransparente. A radiação proveniente da fonte é dividida pelo divisor, que direciona parte para o espelho móvel e parte para o espelho fixo. Após a reflexão, os feixes são recombinados, gerando interferências construtivas ou destrutivas de acordo com a diferença de percurso óptico (LIMA et al., 2022).

Quando os dois espelhos estão equidistantes do divisor, há interferência construtiva. Ao deslocar o espelho móvel em distâncias específicas, surgem interferências destrutivas. O feixe resultante atravessa a amostra e segue para o detector. Como a radiação infravermelha é policromática, a combinação dessas interações para cada componente espectral origina um sinal complexo, denominado interferograma (Figura 1). Como esse sinal não é interpretável diretamente, ele é processado por meio da transformada de Fourier, que o converte em um espectro relacionando intensidade e número de onda, o que facilita a análise e a interpretação (LIMA et al., 2022; HELFER et al., 2006).

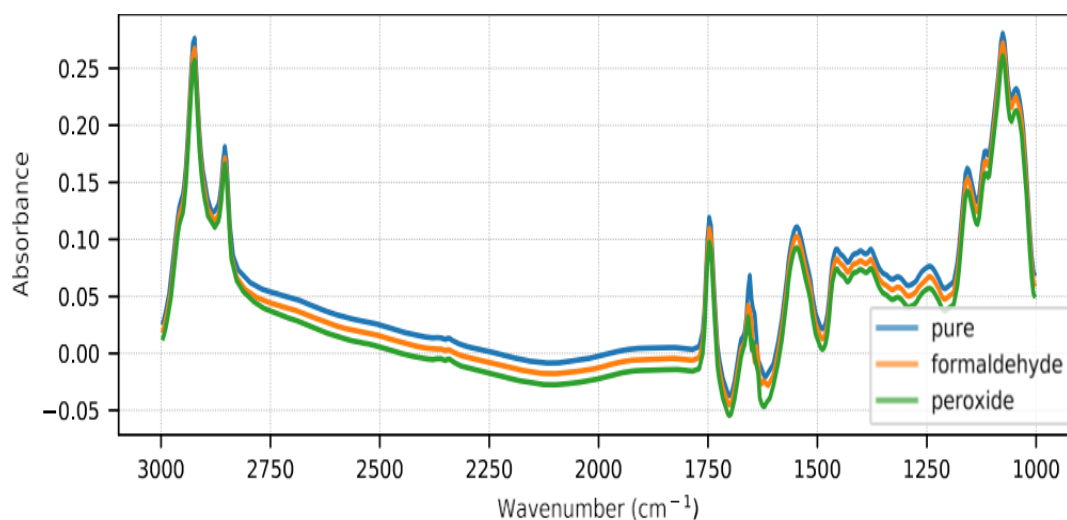
Figura 1: Apresentação do esquema ilustrativo para o interferômetro de Michelson e o espectro resultante da aplicação da transformada de Fourier.



Fonte: Webster et al. (2000).

A espectroscopia no infravermelho é uma ferramenta valiosa para diferenciar com exatidão os componentes presentes em uma amostra. Os picos no espectro correspondem às vibrações entre os átomos das moléculas, enquanto a intensidade desses picos reflete a concentração da substância, permitindo também análises quantitativas com boa sensibilidade e confiabilidade (Figura 2) (MORGANO et al., 2005).

Figura 2: Exemplo de espectro de infravermelho para amostras de leite cru puro e adulterado com formaldeído e peróxido, com a absorbância versus o comprimento de onda.



Fonte: Neto et al. (2019).

Cada molécula interage com a radiação infravermelha de forma particular, originando um espectro de absorção específico que atua como uma verdadeira “assinatura molecular”. Esse perfil espectral único permite a identificação qualitativa e quantitativa de compostos, sendo especialmente útil na análise de alimentos. A eficácia da FTIR está diretamente relacionada às vibrações moleculares, que ocorrem em faixas específicas do espectro de acordo com a natureza das ligações químicas. Essas frequências de absorção são influenciadas por características estruturais, como a geometria da molécula, a massa dos átomos e, ocasionalmente, por interações entre movimentos vibracionais e eletrônicos, conhecidas como acoplamentos vibrônicos (LIMA et al., 2022).

No caso de produtos lácteos, a interação da radiação infravermelha com os constituintes moleculares resulta em espectros únicos, que funcionam como marcadores estruturais. Devido à complexidade natural do leite e à variabilidade inerente à sua composição, torna-se essencial o uso de bibliotecas espectrais de referência ou de modelos de calibração robustos. Esses recursos permitem comparar amostras desconhecidas com padrões previamente estabelecidos, contribuindo para a avaliação da autenticidade, qualidade e integridade do alimento (KAROUI et al., 2007; COITINHO et al., 2017).

A interpretação adequada dos espectros obtidos exige o uso de ferramentas estatísticas e computacionais, especialmente em contextos com elevado volume de dados.

Métodos como análise de componentes principais (PCA), análise discriminante (DA) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) têm sido amplamente empregados na quimiometria aplicada à FTIR. Esses algoritmos permitem reduzir a dimensionalidade dos dados espectrais, identificar padrões relevantes e construir modelos preditivos com alto grau de sensibilidade e especificidade (CENITI et al., 2023).

Nesse contexto, a quimiometria destaca-se como uma área essencial para maximizar a informação extraída dos dados espectrais. Trata-se da aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para resolver problemas complexos em química analítica. Na análise de leite e derivados, sua integração com a espectroscopia FTIR tem sido determinante para aprimorar a confiabilidade dos resultados, viabilizando tanto a detecção de adulterantes quanto a quantificação de suas concentrações em diferentes níveis de contaminação (DE MARCHI et al., 2011).

A FTIR oferece diversas vantagens em relação a outros métodos analíticos, destacando-se pela rapidez na aquisição dos espectros, alta resolução espectral e caráter não destrutivo. Além disso, proporciona excelente reprodutibilidade dos resultados. Em um cenário de fraudes alimentares de crescente complexidade, a isenção do uso de reagentes e a viabilidade de análises em larga escala tornam essa técnica especialmente estratégica para o monitoramento, a rastreabilidade e a conformidade regulatória na indústria de laticínios (COITINHO et al., 2017).

Aplicações na detecção de adulterantes e contaminantes

A adulteração do leite e de seus derivados representa um desafio significativo para a segurança alimentar e a credibilidade da cadeia produtiva, motivada por interesses econômicos e, em alguns casos, por falhas nos sistemas de controle de qualidade. Uma vez que a precificação do leite considera parâmetros como teor de proteína, gordura e qualidade microbiológica, o produto torna-se suscetível a fraudes, incluindo diluição com água e adição de substâncias nitrogenadas ou espessantes, como ureia, amido, sacarose e detergentes, com o objetivo de aumentar artificialmente os sólidos não gordurosos e a viscosidade (FRANCIS et al., 2024). Outro fator preocupante é a presença de resíduos de medicamentos veterinários, especialmente antibióticos, que podem impactar a saúde pública (CHU et al., 2024).

Essas práticas fraudulentas alteram as propriedades físico-químicas do leite, mascaram deteriorações e simulam qualidades nutricionais inexistentes, colocando em risco o consumidor, especialmente crianças, gestantes e indivíduos imunocomprometidos (CENITI et al., 2023). Os adulterantes variam desde diluentes simples, como água e amido, até compostos potencialmente tóxicos, como melamina e peróxido de hidrogênio (FRANCIS et al., 2024). A Tabela 1 resume os principais adulterantes, suas finalidades e riscos associados.

Tabela 1: Principais adulterantes utilizados na adulteração de leite cru, suas finalidades e riscos à saúde

Adulterante	Finalidade	Efeitos sobre o leite	Riscos à saúde humana
Água	Aumentar volume	Diluição de nutrientes	Contaminação microbiana, perda nutricional
Ureia	Simular teor de proteína	Aumenta sólidos não gordurosos e melhora aparência	Indigestão, disfunções renais e hepáticas, puberdade precoce
Melamina	Falsificar teor de proteína	Eleva nitrogênio total	Falência renal, risco de morte
Detergentes	Criar aparência espumosa	Emulsificação falsa de gordura	Lesões intestinais, náusea, gastrite
Peróxido de Hidrogênio	Prolongar validade em altas temperaturas	Inibe deterioração microbiológica	Danos gastrointestinais, envelhecimento precoce
Amido e farinhas	Elevar sólidos não gordurosos	Aumenta viscosidade	Desequilíbrio eletrolítico, riscos cardíacos
Cloro	Compensar densidade após diluição com água	Restaura densidade artificialmente	Toxicidade crônica, risco a gestantes e lactentes
Neutralizantes	Reduzir acidez de leite estragado	Mascaram deterioração	Potencial alergênico e tóxico

Fonte: Francis et al. (2024).

Com o aumento da complexidade das cadeias produtivas e a intensificação do comércio global, a detecção de adulterações exige métodos analíticos rápidos, acessíveis, sustentáveis e confiáveis. Nesse cenário, a espectroscopia no infravermelho, especialmente na modalidade FTIR associada a ferramentas quimiométricas, tem se destacado pela capacidade de realizar análises não destrutivas e de alta eficiência.

A análise comparativa de estudos que utilizaram a espectroscopia FTIR, especialmente na região do infravermelho médio (MIR), demonstra elevados índices de eficácia da técnica para detecção de adulterantes em leite, sobretudo quando combinada com métodos quimiométricos ou algoritmos de aprendizado de máquina.

Em estudo realizado por Guerra et al. (2024), foram investigados sete adulterantes comuns (água, ureia, bicarbonato de sódio, cloreto de sódio, hidroxiprolina, glicose e citrato de sódio) em diferentes concentrações, utilizando modelos de regressão por mínimos quadrados parciais discriminantes (PLS). Embora os autores não tenham apresentado dados quantitativos específicos sobre sensibilidade ou especificidade, relataram que os modelos exibiram boa capacidade discriminativa, identificando com precisão as amostras adulteradas.

Outro estudo relevante foi conduzido por Coitinho et al. (2017), que utilizou o equipamento MilkoScan FT1 para analisar cerca de 4.000 amostras contendo adulterantes como amido, bicarbonato, citrato, formaldeído, sacarose, água e soro de leite. Nesse

trabalho, o modelo desenvolvido com a técnica PLS-DA alcançou uma sensibilidade média de aproximadamente 84%, além de apresentar especificidade de 100% na detecção simultânea dos diversos adulterantes. Resultados ainda mais expressivos foram descritos por Chu et al. (2024), que associaram espectros de FTIR a algoritmos de classificação e regressão para a identificação de adulterantes. O modelo apresentou uma acurácia de 97,4% na classificação das amostras, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,95 na predição da concentração dos adulterantes, evidenciando desempenho excelente tanto na identificação quanto na quantificação.

Outros adulterantes merecem atenção, como a adição de soro de queijo ou manteiga ao leite, prática fraudulenta que visa aumentar o volume do produto sem o conhecimento do consumidor. Essa conduta, motivada por interesses lucrativos, pode alterar o valor nutricional do leite e causar problemas em indivíduos sensíveis aos componentes intencionais adicionados (VIEIRA, 2025). A crioscopia é um método comumente utilizado para detectar a presença de água no leite, porém mostra-se ineficaz para identificar a adição de soro de queijo. Este subproduto é frequentemente empregado em fraudes devido à facilidade de obtenção, muitas vezes a baixo custo ou gratuitamente, além da capacidade de elevar artificialmente o teor proteico do leite (CARVALHO et al., 2007).

Estudos que combinaram espectroscopia FTIR, refletância total atenuada (ATR - attenuated total reflectance) e quimiometria multivariada demonstraram eficiência no reconhecimento e quantificação da adulteração por soro de queijo. Vinciguerra et al. (2019), compararam diferentes modelos de regressão, calibrando casos padrão com amostras autorizadas validadas por LC-MS/MS. Entre os modelos testados, o LS-SVM aplicado aos espectros completos destacou-se como o mais eficaz na determinação da quantidade de caseinomacropeptídeo (CMP), um marcador específico do soro.

Outra questão importante é a substituição parcial do leite bovino por leites de outras espécies, como bubalino, ovino ou caprino, prática considerada uma adulteração relevante, pois altera a composição e o valor comercial do produto. Conforme Cirak et al. (2018), a combinação da espectroscopia FTIR na região do infravermelho médio (MIR) com métodos quimiométricos (PCA, HCA, PLS-DA) permitiu a discriminação precisa de misturas binárias contendo entre 5% e 50% de leite de outras espécies. As regiões espectrais correspondentes às bandas de amida I ($1650\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$) e amida II ($1565\text{--}1520\text{ cm}^{-1}$) foram essenciais para a diferenciação da origem animal. Essa abordagem possibilitou a quantificação rápida e precisa das proporções adulteradas entre leite bovino e leite de búfalo, cabra ou ovelha.

As estratégias cada vez mais sofisticadas de adulteração do leite evidenciam a necessidade de tecnologias capazes de detectar essas fraudes de maneira eficaz. Contudo, os métodos atualmente empregados apresentam limitações relevantes, como baixa sensibilidade analítica, forte dependência de procedimentos manuais e uso intensivo de reagentes químicos. Além disso, destaca-se o desafio adicional da identificação imediata de novos tipos de adulteração, visto que, historicamente, metodologias específicas para

detecção de tais fraudes são desenvolvidas apenas após sua ocorrência (COITINHO et al., 2017; CASSOLI et al., 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) consolidou-se como uma ferramenta estratégica para a detecção de adulterantes e contaminantes químicos no leite, pois se destaca pela rapidez da análise, alta sensibilidade e caráter não destrutivo. Sua integração com métodos quimiométricos amplia seu potencial diagnóstico, possibilitando a identificação e a quantificação de adulterações com elevado grau de precisão e reprodutibilidade.

Os avanços recentes em instrumentação e em algoritmos de análise fortalecem ainda mais seu papel no monitoramento da qualidade, na rastreabilidade e na segurança alimentar, contribuindo para a conformidade regulatória e a proteção do consumidor. Em um cenário de fraudes cada vez mais sofisticadas e de maior exigência por parte do mercado, a FTIR se destaca como uma alternativa viável para ser implementada rotineiramente em indústrias e laboratórios de controle de qualidade.

Observa-se que, para consolidar o uso da metodologia de análise por FTIR em escala industrial, é essencial investir na padronização de modelos preditivos, no treinamento de equipes e na validação de metodologias em condições reais de produção. Com esses avanços, a técnica tende a ocupar uma posição central entre as ferramentas analíticas destinadas à garantia da autenticidade e da segurança dos produtos lácteos.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, B. M. A. et al. **Métodos de detecção de fraude em leite por adição de soro de queijo**. REDVET. Revista Electrónica de Veterinária, v. 8, n. 6, p. 1-7, 2007.
- CASSOLI, L. D. et al. **An assessment of Fourier Transform Infrared spectroscopy to identify adulterated raw milk in Brazil**. International Journal of Dairy Technology, v. 64, p. 480–485, 2011.
- CENITI, C. et al. **Recent Advances in the Determination of Milk Adulterants and Contaminants by Mid-Infrared Spectroscopy**. Foods, v. 12, n. 15, p. 2917, 2023.
- CHU, C. et al. **Rapid detection and quantification of melamine, urea, sucrose, water, and milk powder adulteration in pasteurized milk using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled with modern statistical machine learning algorithms**. Heliyon, v. 10, n. 12, 2024.
- CIRAK, O. et al. **Rapid detection of adulteration of milks from different species using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)**. Journal of Dairy Research, v. 85, n. 2 p. 222–225, 2018.

- COITINHO, T. B. et al. **Adulteration identification in raw milk using Fourier transform infrared spectroscopy**. Journal of Food Science and Technology, v. 54, n. 8, p. 2394–2402, 2017.
- DARWESH, O. M. et al. **Recent technologies for detection of milk contaminants: characterization and mechanism of action: a review article**. Discover Food, v. 5, n. 140, 2025.
- DE MARCHI, M. et al. **Effectiveness of mid-infrared spectroscopy to predict fatty acid composition of Brown Swiss bovine milk**. Animal, v. 5, p. 1653–1658, 2011.
- FRANCIS, A. et al. **Adulteration of Milk: A Review**. Journal of Science and Technology, v. 5, n. 6, p. 37–41, 2024.
- GUERRA, A. et al. **Detection of common adulterants in bulk bovine milk using fourier transformed mid-infrared spectroscopy**. Acta Imeko, v. 13, n. 1, p. 1-5, 2024.
- HELPER, G. A. et al. **Using multivariate analysis methods in quality control of food essence by mid-infrared spectroscopy**. Food Science and Technology, v. 26, n. 4, p. 779–786, 2006.
- KAROUI, R. et al. **A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products**. Food Chemistry, v. 102, n. 3, p. 621–640, 2007.
- LIMA, J. S. et al. **A machine learning proposal method to detect milk tainted with cheese whey**. Journal of Dairy Science, v. 105, p. 9496-9508, 2022.
- NICOLAOU, N. et al. **Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis for the detection and quantification of different milk species**. Journal of Dairy Science, v. 93, n. 12, p. 5651–5660, 2010.
- MORGANO, M. A. et al. **Determination of protein in raw coffee for NIR spectroscopy and regression PLS**. Food Science and Technology, v. 25, n. 1, p. 25–31, 2005.
- SALIBA, E. O. S. et al. **Predição da composição química do sorgo pela técnica de espectroscopia de refletância no infravermelho próximo**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.55, n.3, 2003.
- NETO, H. A. et al. **On the utilization of deep and ensemble learning to detect milk adulteration**. BioData Mining, v. 12, n. 13, p. 1-13, 2019.
- VIEIRA, S. M. **Caracterização dos espectros de soros de queijo e manteiga por meio do FTIR-MIR para detecção de fraudes em leite**. Revista Delos, v. 18, n. 64, 2025.
- VINCIGUERRA, L. L. et al. **Chemometric tools and FTIR-ATR spectroscopy applied in milk adulterated with cheese whey**. Química Nova, v. 42, 2019.
- WEBSTER, L. et al. **The authentication of olive oil on the basis of hydrocarbon concentration and composition**. Analyst London, v.125, p. 97-104, 2000.