

## ANÁLISE DE ADULTERAÇÃO DE ALIMENTOS POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO COM INSTRUMENTO PORTÁTIL: UMA REVISÃO

*Analysis of food adulteration by near-infrared spectroscopy with portable instrument: A review*

<sup>1\*</sup>Gabriely Silveira Folli

<sup>2</sup>Pedro Henrique Pereira da Cunha

<sup>3</sup>Wanderson Romão

<sup>4</sup>Paulo Roberto Filgueiras

<sup>1</sup>Laboratório de Quimiometria do Centro de Competência em Química do Petróleo – NCQP, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail:gabriely.folli@ufes.br.

<sup>2</sup>Laboratório de Quimiometria do Centro de Competência em Química do Petróleo – NCQP, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail:pedro.h.cunha@edu.ufes.br.

<sup>3</sup>Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), campus Vila Velha. E-mail: wanderson.romao@ifes.edu.br.

<sup>4</sup>Laboratório de Quimiometria do Centro de Competência em Química do Petróleo – NCQP, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail:paulo.filgueiras@ufes.br.

\*Autor de correspondência

Artigo submetido em 30/06/2023, aceito em 06/09/2023 e publicado em 01/11/2023.

**Resumo:** Alguns alimentos apresentam grande valor nutricional ou econômico. Assim, o controle de qualidade precisa atender a padrões para garantir qualidade do produto. Entretanto, há crescimento de adulterações de alimentos, cujo principal objetivo é obter lucros com rótulos desconformes. Uma metodologia encontrada na literatura que visa identificar não conformidades de alimentos é a espectroscopia infravermelho na região do próximo (NIR) portátil. A análise por NIR portátil é uma tecnologia promissora para garantir a qualidade dos alimentos, isso porque possibilita análises *in loco*, em tempo real, de fácil uso, sem preparo amostral, além de apresentar tamanho reduzido e baixo custo. A aplicação de análise multivariada associada ao NIR portátil é imprescindível para diminuir efeitos de interferentes e sobreposições de bandas além de facilitar a interpretação espectral. Com isso, o objetivo desse trabalho foi realizar uma pesquisa sistemática (via Web of Science, Scopus e PubMed) dos trabalhos encontrados na literatura que visaram utilização do NIR portátil e quimiometria em análises de conformidades de alimentos. Os resultados mostraram que o Brasil é o segundo país com maior número de publicações. Além disso, nota-se que as pesquisas, mais encontrados na literatura, destinam-se em determinar variáveis relacionadas a qualidade de alimentos (teor de sólidos solúveis, gorduras, pH, entre outros) ou verificar fraudes (adulteração com produtos de menor qualidade ou adição de substâncias para sublimar a perícia forense). Ademais, pesquisas que visam adulterações de alimentos por NIR portátil em diferentes matrizes de alimentos ainda estão em desenvolvimento contínuo de artigos com interesse no desenvolvimento de novas abordagens.

**Palavras-chave:** alimentos; NIR portátil; quimiometria; conformidade; controle de qualidade.

**Abstract:** Certain food items possess significant nutritional and economic value. Consequently, ensuring product quality through stringent quality control measures is imperative within the food industry. However, the prevalence of food adulteration has become apparent, driven by the intention to profit from misleading product labeling. One methodology found in the literature that aims to identify food non-conformities is portable near-infrared (NIR) spectroscopy. Portable NIR analysis offers the advantages of on-site, real-time assessments, user-friendly operation, non-destructive sample handling, compact size, and cost-effectiveness compared to alternative techniques like chromatography commonly employed for non-conformity detection. The integration of multivariate analysis techniques with portable NIR is essential to mitigate interference effects, overcome spectral overlap challenges, and facilitate spectral interpretation. Thus, the objective of this study was to systematically investigate published works utilizing portable NIR and chemometrics for food conformity analyses through comprehensive literature searches conducted via reputable databases such as Web of Science, Scopus, and PubMed. The findings reveal that Brazil ranks as the second-leading country in terms of publications in this domain. Additionally, it is noteworthy that the existing body of research predominantly focuses on determining key quality variables in food (e.g., soluble solids content, fats, pH, among others) and detecting fraudulent practices such as adulteration with inferior-quality substances or deliberate manipulations to deceive forensic investigations. Moreover, ongoing efforts in the scientific community are dedicated to advancing the application of portable NIR for food adulteration detection across diverse food matrices, with a particular emphasis on developing novel methodological approaches.

**Keywords:** foods; Handheld NIR; chemometrics; conformity; quality control.

## 1 INTRODUÇÃO

O alimento é uma matriz complexa, composta de água, proteína, carboidrato, lipídio e sal. O controle de qualidade na indústria de alimentos precisa atender a padrões para garantir as propriedades sensoriais e nutricionais do produto (CRAIG; FRANCA; IRUDAYARAJ, 2015; OLIVEIRA, Marciano M.; CRUZ-TIRADO; BARBIN, 2019). O objetivo é proteger o consumidor contra contaminações eventuais ou intencionais. Existem alguns problemas que envolvem a globalização da oferta alimentícia, como os de fraude de alimentos (falsificação de alimentos para obter benefícios econômicos) ou distorção econômica (MOORE; SPINK; LIPP, 2012). A não conformidade de alimentos pode ser descrita pela adulteração, falsificação, substituição e/ou rotulagem deliberada de produtos incorretos (GALVIN-KING; HAUGHEY; ELLIOTT, 2018). Ela pode ser realizada a partir da adição de corantes para melhorar a qualidade visual, substituição de ingredientes por mais baratos, adição de produtos proibidos para prolongamento da vida útil (BARRETO et al., 2018). Adulteração de alimentos apresenta-se na atualidade como forma de se obter lucros

com rótulos desconformes ou descumpra as regulamentações e padrões legais para seu consumo (ABBAS et al., 2018; LOHUMI; LEE; CHO, 2015; SPINK; MOYER, 2011). A cromatografia foi um dos primeiros instrumentos utilizados para verificar impressões digitais de alimentos. No entanto, é um método que requer muito tempo e preparação cuidadosa da amostra. Como resultado, novas metodologias rápidas para análise de alimentos foram criadas. A conformidade de alimentos é estabelecida por parâmetros internos e externos para assegurar a qualidade de alimentos (OLIVEIRA, Marciano M.; CRUZ-TIRADO; BARBIN, 2019). Identificar adulterantes de alimentos é de grande interesse da comunidade científica, com isso diferentes metodologias analíticas foram desenvolvidas para identificar essas fraudes. Os estudos de alimentos adulterados são diversos, tais como adulteração de azeite de oliva extravirgem com diferentes óleos, bebidas alcólicas, leite, entre outros. Os estudos desenvolveram diferentes metodologias para identificar ou quantificar adulterantes em alimentos (GARRIGUES; DE LA GUARDIA, 2013; TEIXEIRA DOS SANTOS et al., 2013).

Uma das técnicas mais utilizadas na literatura para solucionar problemas de não conformidade de alimentos é a espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR). O seu uso inicial se deu para analisar a composição química e as propriedades físicas dos alimentos, o que resultou em impressões digitais espectrais. Isso porque o espectro NIR apresenta bandas largas, harmônicas e combinações das vibrações das ligações contendo o átomo de hidrogênio (O-H, N-H, C-H e S-H) (AGELET; HURBURGH, 2010; BLANCO; VILLARROYA, 2002; PASQUINI, 2003). Por consequência do perfil espectral do infravermelho, é possível correlacionar a intensidade do sinal com o percentual de composição correspondente. Assim, diversos estudos puderam ser empregados para correlacionar o espectro de infravermelho com a propriedade de interesse. O primeiro estudo em matrizes de alimentos foi em 1965 por Norris e Hart em um simpósio internacional e depois publicado como um artigo completo (NORRIS; HART, 1996). Este trabalho usou duas regiões do espectro NIR para criar uma curva univariada para determinar a umidade em grãos (NORRIS; HART, 1996).

O espectro NIR portátil para amostras complexas apresenta bandas de absorção fracas, largas e sobrepostas (AGELET; HURBURGH, 2010; BLANCO; VILLARROYA, 2002; PASQUINI, 2003; TEIXEIRA DOS SANTOS et al., 2013). Com isso, somente a informação do NIR pode não ser capaz de captar a sinergia dos componentes, bem como identificar a presença destes compostos e interferentes, devido à sobreposição de bandas. Isso porque é difícil atribuir bandas de absorção específicas a grupos funcionais específicos (TEIXEIRA DOS SANTOS et al., 2013). Assim, a utilização de análise multivariada de dados permitiu a diminuição de efeitos relacionados às variações espectrais, tais como bandas de absorção de água, efeitos de espalhamento dependentes de comprimento de onda, ruído instrumental ou efeitos do comportamento entre a matriz

e o ambiente (TEIXEIRA DOS SANTOS et al., 2013). Ou seja, a utilização de quimiometria se tornou imprescindível para tratamentos desses espectros. Isso porque, quando aplicado à quimiometria, pequenas variações (informações importantes) ao longo do espectro se acumulam e podem ser usadas como discriminadores. Assim, o NIR associado à quimiometria pode ser útil em diversas áreas, tais como na ciência de alimentos (FOLLI et al., 2022), no estudo de petróleo e derivados (SANTOS, Francine D. et al., 2022), em estudos clínicos e drogas de abuso (CORREIA et al., 2018). Para as indústrias e agências reguladoras, a quimiometria é uma solução para a garantia da qualidade dos alimentos há muitos anos (GRANATO et al., 2018).

A utilização do NIR portátil associado à quimiometria é uma tecnologia promissora para controle de qualidade de alimentos. Isso porque a realização de análises por instrumentos portáteis otimiza o tempo de análise, preserva a integridade da amostra, além de ser menos custosas que análises tradicionais. O experimento *in loco* permite análises em tempo real, evitando transporte das amostras e sem preparo amostral. (OLIVEIRA, Marciano M.; CRUZ-TIRADO; BARBIN, 2019; RAATIKAINEN et al., 2005; TEIXEIRA DOS SANTOS et al., 2013). Há crescimento do interesse em utilizar NIR portátil em análises de adulterantes de alimentos. Portanto, o objetivo desse trabalho foi realizar uma pesquisa sistemática dos trabalhos encontrados na literatura que visaram a utilização do NIR portátil e quimiometria em análises de conformidades de alimentos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os artigos foram encontrados utilizando a plataforma *Web of Science*, *Scopus* e *PubMed*. Posteriormente, utilizou-se o software R (2023.06) para eliminação de duplicações, tratamento das respostas e os resultados foram inseridos na plataforma *Biblioshiny* (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Utilizou-se o software MATLAB (2013Ra) para construção de algumas figuras. As

palavras chave utilizadas para construção da pesquisa sistemática estão na **Tabela 1**, sendo que as palavras dentro de uma mesma coluna foram incluídas na pesquisa utilizando a conjunção “OR” e palavras-

chave em colunas diferentes foram pesquisadas com a conjunção “AND”. O símbolo “\*” indica buscas englobando plural e singular.

**Tabela 1.** Lista de palavras chave utilizadas para construção da revisão sistemática dos artigos pesquisados.

Adulteration	Chemometric	Food	NIR	Portable
	“chemometric*”			
	"K-Means"			
	"k-nearest neighbor*"			
	"hierarchical cluster*"	"food*"		
	"class analogy"	“EVOO”	“NIR”	
	"principal component analysis"	“milk*”	“FT-IR” and	
"non conformic*"	"partial least squar"	“Yogurt*”	“near”	
“quality”	"partial least square*"	“honey”	“near	
“analysis”	"Linear discriminant*"	“meat”	infrared”	“Portable”
“Adulteration*”	“Linear Regression”	“fruit”	“near infra- red”	“Handheld”
"fraud"	"Naive Baye*"	"fish"	“FTIR” and	
	"support vector"	“pork”	“near”	
	"Neural Network*"	“chicken”	"Near- infrared"	
	"random forest"	“beef”		
	"regression tree*"	“spice*”		
	"decision tree*"			
	“multivariate analysis”			

Fonte: Autor (2023).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espectroscopia NIR associada à quimiometria começou a ser utilizada em análises de alimentos no ano de 1985 por Geladi e colaboradores (GELADI; MACDOUGALL; MARTENS, 1985). Os autores objetivaram desenvolver um novo processamento de dados para corrigir espalhamento no espectro de NIR denominado *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) para estimar gordura em carne utilizando regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). A partir desse ano, diversas aplicações utilizando NIR associada à quimiometria na tentativa de solucionar não conformidades de alimentos foram estudadas. O aumento de estudos e interesse nesse tema de pesquisa é notório, vide pela cor azul representada pelo aumento de publicações utilizando NIR ao longo dos anos, **Figura 1**. Até o ano de 2022, 1092 artigos foram publicados na literatura.

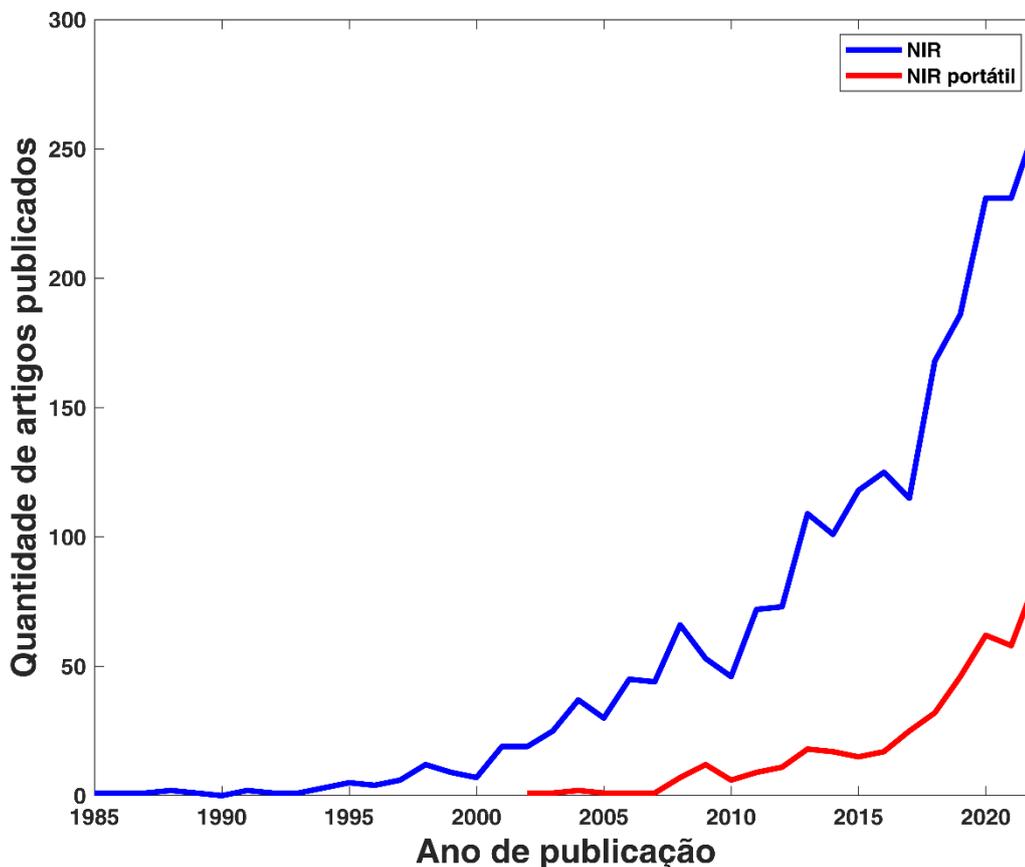
Desses, somente no ano de 2022, 151 artigos foram publicados (aproximadamente 14%).

Comparando esses resultados aos utilizando somente NIR portátil (cor vermelha, **Figura 1**), 206 trabalhos utilizaram NIR portátil. O NIR portátil começou a ser utilizado mais recentemente, no ano de 2003 por Saranwong e colaboradores (SARANWONG; SORNSRIVICHAI; KAWANO, 2003). Os autores visaram identificar o potencial de aplicação de NIR portátil em manga por PLS. Os autores utilizaram NIR Portátil (FANTEC, Kosai-city, Japan) para determinar o teor de açúcares presente na manga e compararam com NIR de bancada (Foss NIRSystems, Silver Spring, USA). Os resultados apresentaram parâmetros de desempenho semelhantes. Ou seja, é possível utilizar equipamento portátil e realizar análises *in loco* com acurácia semelhante aos de bancada. Somente em 2022, 44 trabalhos foram publicados utilizando NIR portátil (aproximadamente 22%). Ou seja, o

interesse em se estudar equipamentos que possibilitam análises *in situ* é crescente e

maior em relação ao interesse em estudar equipamentos de bancada.

**Figura 1.** Crescimento anual de artigos utilizando NIR (azul) e NIR portátil (vermelho) em análises de alimentos associada à quimiometria.

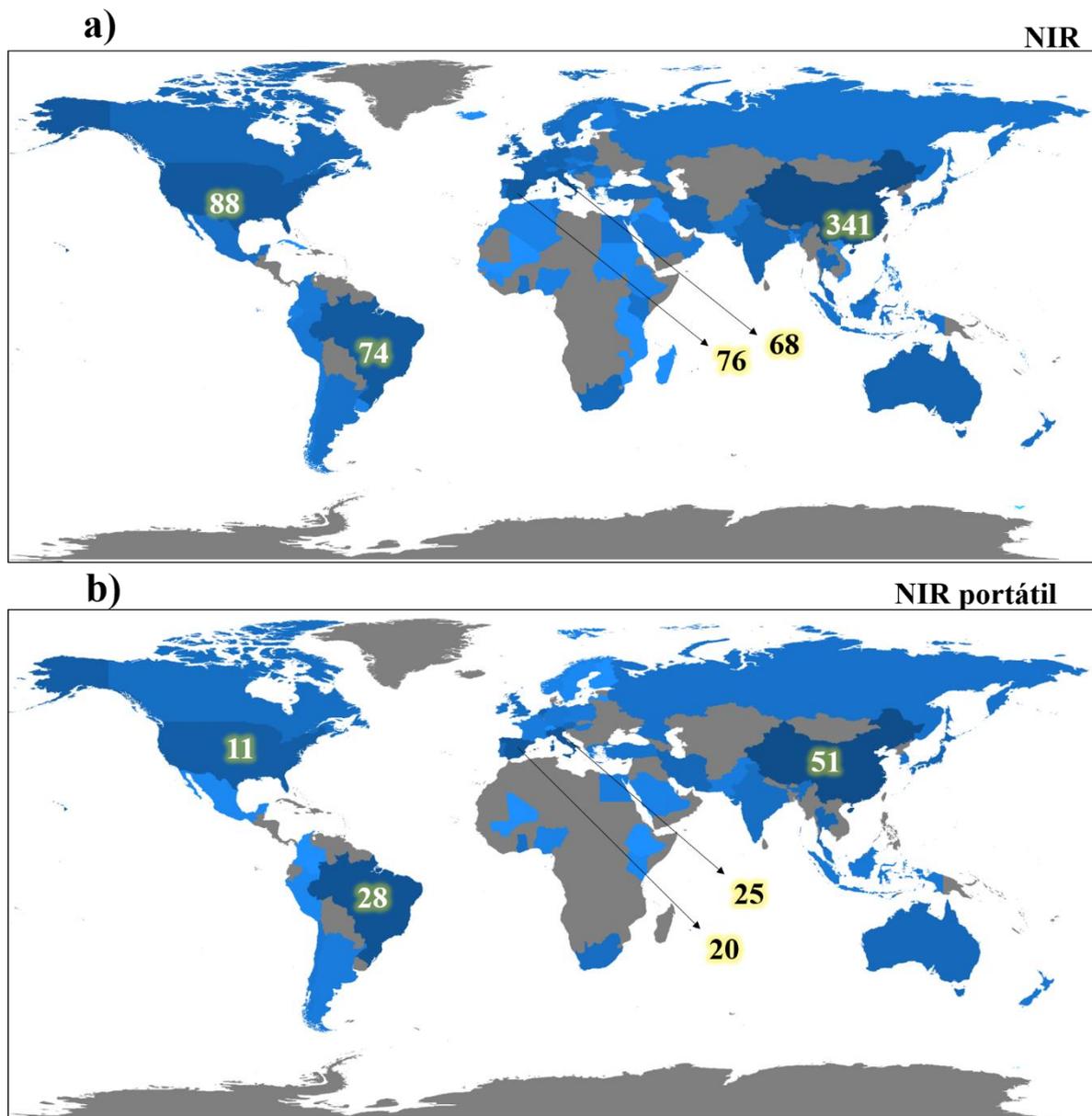


Fonte: Autor (2023).

A **Figura 2** demonstra o quantitativo de publicações de acordo com a distribuição mundial de países. O país de maior interesse em pesquisa envolvendo NIR em qualidade de alimentos associado à quimiometria é a China com 341 artigos para NIR e 51 para NIR portátil. O Estados Unidos da América (EUA) é o segundo de maior publicação em artigos utilizando NIR (88 trabalhos) e o quinto (11 trabalhos) para artigos utilizando

NIR portátil. A Espanha é o terceiro país de maior publicação utilizando NIR (76 trabalhos) e o quarto (20 trabalhos) utilizando o NIR portátil. Por outro lado, o Brasil é o quarto país de maior publicação utilizando NIR (74 trabalhos) e o segundo de maior publicação utilizando NIR portátil (28 trabalhos). Por fim, a Itália é o quinto país de maior publicação utilizando NIR (68 trabalhos) e o terceiro utilizando somente NIR portátil (25 trabalhos).

**Figura 2.** Índice de publicações totais correspondente aos países para artigos que utilizam (a) NIR e (b) NIR portátil.



Fonte: Autor (2023).

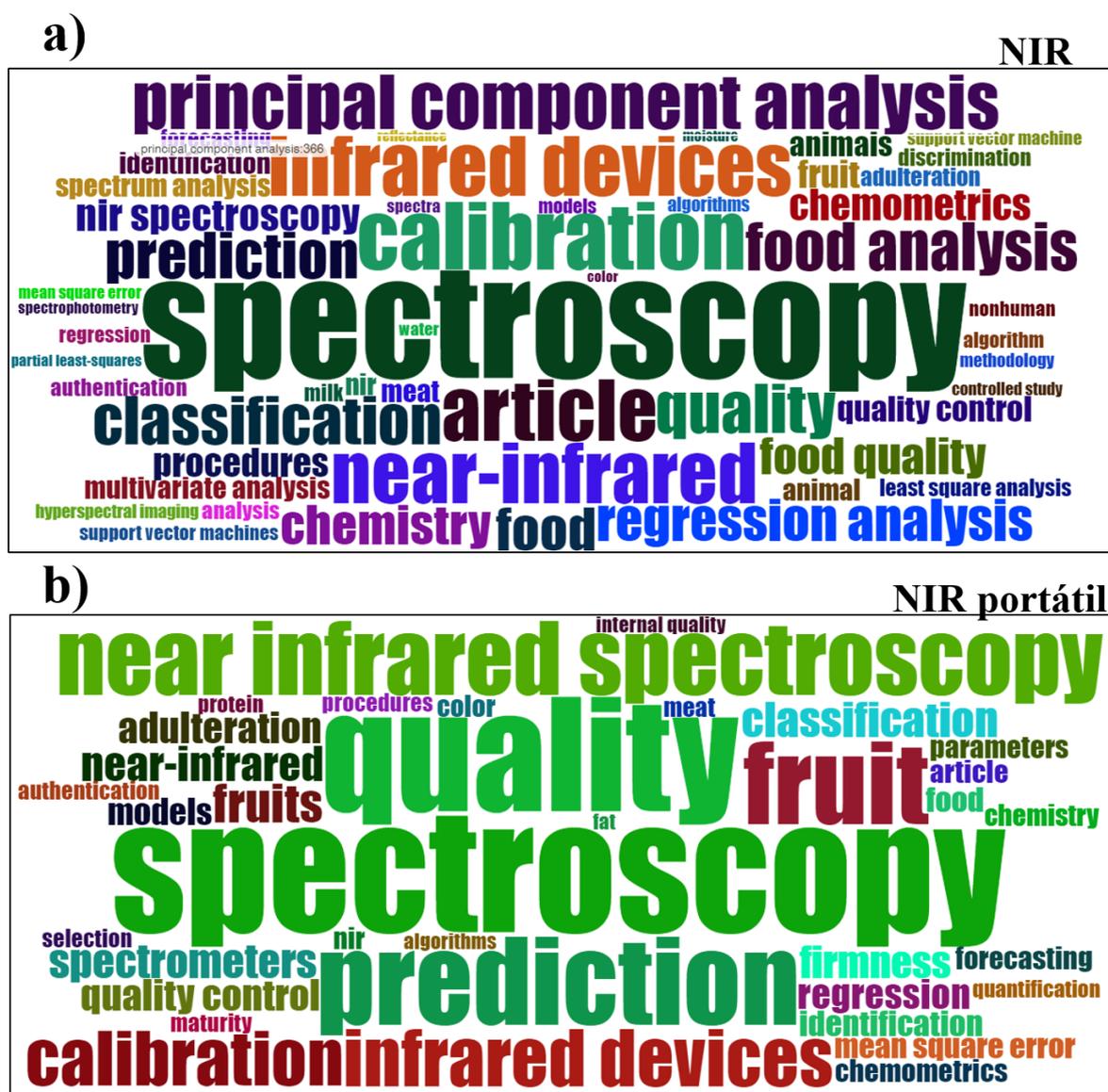
O interesse nos artigos envolvendo NIR (**Figura 3A**) e NIR portátil (**Figura 3B**) é semelhante. As palavras que surgem com maior frequência em ambas as pesquisas estão relacionadas à qualidade de alimentos

e análises de não conformidades, além de métodos de predição de propriedades de interesse. Para estudos envolvendo NIR, os artigos trazem a palavra calibração em maioria para predição de propriedades. Enquanto que os artigos publicados usando

somente o equipamento NIR portátil, há um maior percentual de palavras que utilizam o termo predição. Esse mesmo perfil é observado para as metodologias de classificação. Entretanto, os termos traduzem o mesmo objetivo central. Nota-se que a análise multivariada mais empregada em estudos utilizando NIR é análise por componentes principais (PCA). Isso porque essa modelagem pode ser aplicada tanto para verificar o comportamento dos dados ou para reduzir a quantidade de variáveis e aplicar

em outras metodologias multivariadas. Ademais, a maior intensidade de artigos utilizando o modelo PCA pode ser devido à facilidade de uso e à simplicidade de modelagem. Além disso, verificar a qualidade dos alimentos e determinar propriedades são os termos de maior interesse em análises de NIR portátil. As matrizes de alimentos mais utilizadas como interesse de pesquisas na literatura foram leite, carnes e frutas.

**Figura 3.** Mapa de palavras para a pesquisa utilizando NIR (a) e NIR portátil (b) para artigos de verificação de não conformidades de alimentos associadas à quimiometria.



Fonte: Autor (2023).

Diferentes matrizes de alimentos foram objetivo de estudo por NIR portátil, seja por modelos de análises exploratória ou até mesmo de predição de propriedades, **Tabela 2**. O primeiro artigo encontrado na pesquisa sistemática foi publicado em 2003 por Saranwong e colaboradores (SARANWONG; SORNSRIVICHAI; KAWANO, 2003) para verificar a performance do NIR portátil em determinação do teor de açúcares presentes em manga (°Brix) por PLS. Os autores utilizaram 95 amostras para construção dos modelos e compararam os resultados obtidos por NIR portátil com de bancada (FossNIRSystems 6500). Os resultados obtidos por ambos NIR foram semelhantes e resultaram em erros médios de  $\pm 0,40$  °Brix. O segundo artigo foi publicado por Malley e colaboradores (MALLEY et al., 2005) (2005) para analisar a composição nutricional de esterco utilizados como adubos em plantações com grupo amostral de 179 amostras. Os autores utilizaram PCA para explorar o agrupamento dos dados, *Soft independent modeling of class analogy* (SIMCA) para classificar as amostras de acordo com o processamento (úmido, seco, empilhado, entre outros). Os resultados mostraram que esterco secos apresentaram melhores resultados ao utilizar o NIR, devido ao não aparecimento da banda de água, que interferiu nos resultados das amostras de esterco úmidos. Os resultados do PLS também foram comparados com NIR de bancada e os modelos utilizando esterco seco obtiveram resultados semelhantes para identificação de carbono, nitrogênio, potássio e pH. A partir de 2008, houve um aumento de interesse em estudos utilizando NIR portátil e muitos outros trabalhos foram publicados (**Tabela 2**) e houve aumento de publicações no decorrer dos anos. Somente

em 2008 foram encontrados 2 artigos utilizando diferentes matrizes, que são na análise da qualidade de laticínios por quantificação de propriedades físico-químicas (KALININ et al., 2008) e análise de determinação de cancro cítrico em frutas (QIN et al., 2008). Já, em 2009, houve um aumento para 5 artigos publicados envolvendo produção animal (BERZAGHI; RIOVANTO, 2009), potencial hídrico da folha de videira (SANTOS, Antonio Odair; KAYE, 2009), análise da qualidade de tangerina (XUDONG; HAILIANG; YANDE, 2009) e predição do ponto de maturação de mirtilo (GUIDETTI et al., 2009).

Entre os anos de 2003 até 2022, soma-se o montante de 206 trabalhos publicados utilizando NIR portátil aplicado na ciência de alimentos utilizando quimiometria. Alguns desses artigos estão expressos na **Tabela 2**. Os artigos foram escolhidos de acordo com o índice de *Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). Esse índice leva em consideração o ano de publicação, citações e fator de impacto do periódico. Assim, artigos mais novos, publicados em periódicos com maior fator de impacto e maior número de citações terão maior índice de *Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). Com isso, tanto artigos mais novos quanto artigos mais citados (majoritariamente mais antigos) são importantes para esse índice.

As matrizes mais utilizadas como fonte de pesquisa na ciência forense visando a análise de não conformidades aplicadas aos alimentos utilizando NIR e quimiometria são frutas, tais como tangerina, manga, morango, tomate, kiwi, pera, nectarina, abacate, maçã ou laranja. Também são encontrados bastantes artigos que trazem o tema de não

conformidades em laticínios, seja análises de adulteração de leite de vaca em leite de cabra, análises de lactose em leites, queijos ou iogurtes sem lactose ou diferentes tipos de adulterantes que dificultam a percepção da procedência do laticínio, tais como adição de óleo vegetal, ureia, peróxido de hidrogênio, detergentes e/ou água. Outros produtos derivados de animais também são fontes de pesquisas, pois podem apresentar não conformidades ou adulterações com produtos de qualidade inferior. Por exemplo, carne bovina pode ser adulterada com carnes suínas ou de frango. Também podem ser misturadas à carnes de armazenamento precário, dificultando o trabalho dos agentes sanitários. Ovos e mel também são temas de pesquisas forenses, tanto para distinguir ovos frescos de não frescos ou identificar adulterantes em mel, que podem ser melaço de cana de açúcar, glicose ou néctar.

Todas as pesquisas (**Tabela 2**) demonstram grande potencial da aplicação do instrumento NIR portátil, sendo capaz de analisar as não conformidades em tempo real, facilitando o trabalho da perícia, além de ser uma análise não destrutiva e que não necessita de reagentes. Alguns artigos da **Tabela 2** visaram comparar resultados de modelos quimiométricos entre equipamentos NIR portáteis com de NIR de bancada. Todos os resultados encontrados verificaram que os resultados encontrados por NIR portátil apresentaram parâmetros de desempenho próximos ou superiores ao NIR de bancada (KALININ et al., 2008; MISHRA et al., 2021; NOGALES-BUENO et al., 2020; PISSARD et al., 2021). Nogales e colaboradores (NOGALES-BUENO et al., 2020) objetivaram analisar diferentes tipos de nozes utilizando NIR de transformada de Fourier de bancada (FT-NIR) e NIR portátil. Os modelos encontraram exatidão de 86% e 88% para o NIR portátil e FT-NIR, respectivamente. Pissard e colaboradores (PISSARD et al., 2021) objetivaram determinar propriedades da qualidade de maçã (teor de sólidos solúveis – SCC, acidez titulável – TA, firmeza da polpa – PF – e índice de amido/iodo – SII) por equipamento

NIR portátil (1100-1600 nm) e NIR de bancada com duas regiões espectrais: uma com varredura completa (400-2500 nm) e outra utilizando a mesma região do equipamento portátil (1100-1600 nm). Os resultados utilizando NIR portátil e de bancada foram semelhantes ou superiores. Por exemplo, para o parâmetro de desempenho para as propriedades de TA, PF e SII foram superiores utilizando NIR portátil se comparado aos modelos com FT-NIR. Os valores de raiz do erro médio quadrático (RMSE) e da linearidade ( $R^2$ ) para TA (mili equivalentes de ácido málico por litro de suco) foi de 0,83 e 0,76 para FT-NIR com região total, 0,88 e 0,71 para FT-NIR região parcial, por fim 0,80 e 0,76 para NIR portátil. Os valores de RMSE e  $R^2$  para PF ( $\text{kg cm}^{-2}$ ) foi de 0,58 e 0,69 para FT-NIR com região total, 0,49 e 0,74 para FT-NIR região parcial, 0,50 e 0,75 para NIR portátil. Os valores de RMSE e  $R^2$  para SII (adimensional) foi de 0,83 e 0,76 para FT-NIR com região total, 0,88 e 0,71 FT-NIR região parcial, 0,80 e 0,76 para NIR portátil. Pierna e colaboradores (PIERNA et al., 2010) visaram determinar teores (% m/m) de produtos de origem animal (gordura, fibra, proteína e amido) utilizando NIR portátil e de bancada. Os resultados dos equipamentos foram semelhantes: os valores de RMSE e  $R^2$  para gordura foram 0,81 e 0,98 para NIR portátil 0,79 0,98 para NIR de bancada; para a propriedade de fibras o RMSE e  $R^2$  foram de 1,1 e 0,93 para NIR portátil e 1,1 e 0,93 para NIR de bancada; para a propriedade de fibra, o RMSE e  $R^2$  foram de 1,31 e 0,97 para NIR portátil e 1,3 e 0,97 para NIR de bancada; Para a propriedade de amido, os valores de RMSE e  $R^2$  foram de 1,8 e 0,99 para NIR portátil e 1,78 e 0,99 para NIR de bancada. Apesar de não ter sido encontrado artigo que realiza teste estatístico para averiguar a diferença dos resultados, pode-se notar o grande potencial da aplicação do NIR portátil na ciência de alimentos. Entretanto, é importante verificar as condições que o equipamento se encontra. Isso porque, algumas bandas podem interferir na identificação certa dos analitos de

interesse. Isso porque, considerando sua natureza espectroscópica, a análise é suscetível a interferências da luz ambiente. Portanto, é importante que o usuário tenha cautela e atenção ao utilizar o equipamento, podendo optar por utilizar um acessório adequado ou criar uma câmara escura para que não haja interferência da luz ambiente (BORGHI et al., 2020a). Ademais, é possível obter espectros com maior resolução utilizando o equipamento NIR de bancada. Ou seja, o espectro de NIR de bancada apresenta menores janelas para medição de valores entre os comprimentos de onda. Dos Santos e colaboradores (SANTOS, Francine D. et al., 2022) desenvolveram um trabalho visando comparar NIR de bancada de portátil. Os espectros utilizando as mesmas amostras para NIR de bancada apresentaram 3001 variáveis espectrais variando de 10.000  $\text{cm}^{-1}$  a 4.000  $\text{cm}^{-1}$ . Já, o NIR portátil apresentou 125 variáveis variando de 11.000  $\text{cm}^{-1}$  a 6.000  $\text{cm}^{-1}$ . Ou seja, o equipamento de bancada, além de apresentar maior resolução, também apresenta maior varredura. Ou seja, algumas bandas não são encontradas no equipamento de NIR portátil, tais como sobretom de SH, NH, CH ou OH. Entretanto, ao comparar os resultados dos modelos, os resultados utilizando NIR portátil aplicando modelo mais robusto de regressão por vetores de suporte (SVR) para prever as propriedades de interesse obtiveram resultados semelhantes ou superiores aos de bancada (SANTOS, Francine D. et al., 2022). Além disso, a quantidade amostral é imprescindível para obter uma maior distribuição dos dados e poder avaliar as amostras externas com maior confiabilidade. Os artigos trazidos na **Tabela 2** apresentam distribuição amostral entre 10 a 866. Em alguns estudos, obteve-se grande número amostral, tais como no trabalho de Pissard e colaboradores (PISSARD et al., 2021) com 866 amostras, Currò e colaboradores (CURRÒ et al., 2021) com 727 ou Subedi e colaboradores (SUBEDI; WALSH, 2020) com 690 amostras. Já, em outros estudos, obteve-se pequenos grupos amostral, tais como Aznan

e colaboradores (AZNAN et al., 2022) (2022) com 20 amostras, Pereira e colaboradores (DOS SANTOS PEREIRA et al., 2021) com 10 amostras ou Jahani e colaboradores (JAHANI et al., 2022) com 16 amostras. Uma alternativa para grupos amostrais pequenos de difícil aumento amostral é a utilização de *outliers* artificiais ou amostras sintéticas. Assim, permite-se a criação de novas amostras virtuais para aumentar a variabilidade amostral e, por consequência, poder aumentar a robustez dos modelos quimiométricos desenvolvidos.

Folli e colaboradores (FOLLI et al., 2022) utilizaram a criação de amostras artificiais para aplicação de modelos de classificação por máquinas de vetores de suporte (SVM) e análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA) para amostras de mel adulteradas com néctar, glicose e melão de cana de açúcar e amostras de azeite de oliva extra virgem (EVOO) adulteradas com óleos vegetais (canola, algodão, milho, soja e girassol). O artigo visou separar amostras conformes das amostras adulteradas. Para isso, o grupo amostral original continha 85 amostras para EVOO e 38 amostras para mel. A adição de *outliers* foi realizada para aumentar a população espectral de EVOO adulterados. Após a adição de *outliers* artificiais, os modelos foram desenvolvidos com 125 amostras para EVOO e 57 amostras para mel. Os resultados dos modelos de classificação utilizando amostras sintéticas apresentaram melhores resultados que os modelos com o grupo amostral original. Os modelos SVM foram superiores aos utilizando PLS-DA. Além disso, os resultados obtidos por SVM one-class com a adição de *outliers* artificiais (99% de acurácia) apresentou resultados superiores ao SVM sem criação de *outliers* artificiais (83% de acurácia) para análises de autenticidade de alimentos. Esses melhores resultados podem ser correlacionados à capacidade do espalhamento amostral criado pelas *outliers* artificiais identificar uma região espectral pertencente somente às amostras autênticas. Ademais, os resultados de SVM multi-class possibilitou identificar

qual tipo de adulterante foi utilizado, seja para mel (néctar, melão de cana de açúcar ou glicose) ou EVOO (óleo de girassol, algodão, canola, soja e milho). Os métodos quimiométricos usados para analisar matrizes de alimentos por NIR portátil são diversos. Entretanto, os métodos quimiométricos mais encontrados nos artigos são PCA (43 artigos) e o PLS (127 artigos). A PCA é muito encontrada como método de redução do número de variáveis (seleção de variáveis) para aplicação de outro método quimiométrico mediante matriz  $X$  mais simplificada. Já, o PLS é o método de regressão mais utilizado pois é um método de entrada na regressão em quimiometria, além de já estar bem consolidado na literatura. Os métodos mais encontrados dentre os métodos de classificação são PLS-DA (26 artigos), seguido pelo SIMCA (11 artigos), *K-nearest neighbor* – KNN (5 artigos) e RF (4 artigos). Já, os métodos de regressão mais utilizados são PLS (127 artigos), SVM (31 artigos) e Rede Neural – ANN (16 artigos). Alguns artigos trazem o SVM como modelagem mais promissora que o PLS. Ou seja, os resultados encontrados pelo SVM são superiores ao PLS. Isso também é visto nos

artigos de classificação, no qual os autores obtiveram, por exemplo, melhores resultados por Floresta aleatória (FR) ao invés de SIMCA.

O primeiro artigo utilizando metodologias mais robustas, tais como o SVM, ANN ou RF, foi publicado no ano de 2009 por Xudong e colaboradores (XUDONG; HAILIANG; YANDE, 2009). Os autores tiveram como objetivo de comparar modelos de SVM, *Back Propagation Neural Network* (BPNN) e PLS para determinar SCC, TA, vitamina C e cor da superfície em amostras de tangerina. Os resultados mostraram melhores valores de parâmetro de desempenho para os modelos de SVM. Para modelos de classificação, o SVM começou a ser utilizado em 2015 por Schmutzler e colaboradores (SCHMUTZLER et al., 2015) para classificar adulteração de vitela com carne de porco e gordura de porco utilizando modelos de SVM e PCA como seleção de variáveis. Os resultados foram satisfatórios e os autores conseguiram identificar as adulterações propostas.

**Tabela 2.** Artigos utilizando NIR portátil associado à quimiometria em análises de alimentos.

Matriz	Quimiometria	Objetivo	Amostras	Ano	Ordinatio
Laticínios (KALININ et al., 2008)	PLS	Comparar dois NIR portáteis, um de comprimento de 800–1100 nm e outro de 1050–1670 nm.	157	2008	1.372
Tangerina(XUDO NG; HAILIANG; YANDE, 2009)	Máquina de vetores de suporte (SVM), Rede Neural de Retropropagação (BP-ANN) e PLS	Avaliar a qualidade da fruta utilizando metodologia não destrutiva.	107	2009	2.032
Nectarina(SÁNCHEZ et al., 2011)	PLS	Avaliação da fruta (massa, diâmetro, firmeza da polpa e SCC em qualquer estágio da cadeia comercial (desenvolvimento da fruta, colheita e pós colheita).	551	2011	5.537
Uvas brancas e vermelhas(GONZÁLEZ-CABALLERO et al., 2012)	PLS-DA	Otimizar o estágio de maturação (inicial, intermediário e tardio) para colheita de uvas viníferas por meio da caracterização das uvas por posição e orientação no cacho.	24	2012	3.366
Leite bovino(SANTOS, Poliana M.; PEREIRA-FILHO;	<i>Soft independent modeling of class analogy</i> (SIMCA) e PLS	Identificar adulteração em leite bovino por classificação e estimativa de propriedades que indicam adulteração, tais como a adição de óleo vegetal, ureia, peróxido de hidrogênio, detergentes e/ou água.	27	2013	5.279

RODRIGUEZ-SAONA, 2013)						
Pera (LI et al., 2013)	SVM e PLS	Determinação de teor de SCC, pH e firmeza	240	2013	5.354	
Peixe (DUAN et al., 2014)	PLS, PLS com seleção de variáveis de algoritmo genético (GA) e BP-ANN	Determinação de contaminação microbiana para controle da qualidade de filé de linguado.	120	2014	5.548	
Batata frita (AYVAZ; RODRIGUEZ-SAONA, 2015)	PLS	Teor de acrilamida em batata frita	64	2015	7.514	
Carne suína (PRIETO et al., 2015)	PLS-DA	Discriminar carnes suínas de acordo com envelhecimento e umidade.	140	2015	5.209	
Vinho de arroz (OUYANG et al., 2016)	PLS	Monitoramento em tempo real de propriedades de fermentação, tais como teor total de açúcar, teor alcoólico e pH.	132	2016	7.514	
Oliveira (CIRILLI et al., 2016)	PLS	Determinação de mutações por propriedades físico-químicas (firmeza, clorofila, antocianinas, carotenoides e rutina) em tempo real para melhoramento das azeitonas	30	2016	7.514	
Mel sul-africano (GUELPA et al., 2017)	PLS-DA	Determinação de fraude em mel adulterado com marcas mais baratas ou com soluções de açúcar (glicose e frutose).	84	2017	5.548	
Tomate (TILAHUN et al., 2018)	PLS	Determinação de licopeno e $\beta$ -caroteno a partir do tempo de maturação (início, intermediário e maduro)	240	2018	5.537	
Leite de vaca (LIU et al., 2018)	PCA, PLS-DA	Distinguir adulterações de leite orgânico com outros tipos de leite	87	2018	6.057	
Suplemento marinho (KARUNATHIL AKA et al., 2019)	PLS	Estimar adulterações em rótulos de suplemento marinho por meio da quantificação de seis principais ácidos graxos em suplementos marinhos e diferenciação das origens de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 em suas formas naturais de triacilglicerol ou éster etílico concentrado.	95	2019	4.556	
Carne moída (NOLASCO-PEREZ et al., 2019)	PLS	Diferenciar o teor de carne bovina, suína e de frango em misturas de carne moída	420	2019	4.123	
Nozes (NOGALES-BUENO et al., 2020)	LDA	Comparação de três espectrômetros (dentre eles, 1 portátil) para discriminação de amostras de noz	200	2020	6.057	
Abacate (SUBEDI; WALSH, 2020)	PLS	Estimativa do teor de matéria seca utilizando 3 NIR portáteis.	690	2020	5.537	
Carne bovina, suína e de frango (SILVA et al., 2020)	PLS, SVR, PCA	Estimativa e identificação de teor de carnes suínas e de frango em carne bovina.	144	2020	2.507	
Azeite de oliva extra virgem (EVOO) (BORGHI et al., 2020b)	PCA, PLS e SIMCA	Determinação e identificação de adulteração de EVOO com diferentes óleos: soja, milho, girassol e canola.	94	2020	4.821	

Café (CORREIA et al., 2020)	PCA	Desenvolvimento de metodologia para verificar a qualidade de cafés de sistemas agroflorestais.	50	2020	4.556
Páprica doce (OLIVEIRA, M.M. et al., 2020)	PLS e PLS-DA	Determinação e identificação de adulteração de páprica doce com amido de batata, goma de acácia e urucum	315	2020	4.556
Carne de frango (PARASTAR et al., 2020)	ANN e SVM	Identificar a autenticidade de carne de frango por meio do congelamento ou condições de crescimento das aves.	70	2020	5.548
Kiwi (SARKAR et al., 2020)	PCA, PLS e SVR	Determinação do teor de SCC.	-	2020	4.350
Leite de cabra (DOS SANTOS PEREIRA et al., 2021)	PLS-DA e seleção de variáveis <i>successive projections algorithm</i> com intervalos (ispa) com PLS-DA e PLS one class.	Adulteração do leite de cabra com amostras de leite de vaca.	10	2021	4.821
Maçã (PISSARD et al., 2021)	PLS	Comparação de dois espectrômetros NIR (bancada e portátil) para predição de propriedades da qualidade de maçã: teor de SCC, TA, firmeza da polpa e índice de amido-iodo.	866	2021	5.537
Pera (MISHRA et al., 2021)	PLS sequencial e ortogonal (SO-PLS) e a seleção sequencial de covariáveis ortogonalizadas (SO-covsel)	Fusão de dois espectrômetros NIR Felix F750 (400-1000 nm) e o DLP NIR Scan Nano (900-1700 nm) para predição de propriedades de qualidade de frutas frescas.	240	2021	6.057
Iogurte e queijo (TEIXEIRA et al., 2021)	PCA, PLS-DA	Avaliação de produtos lácteos de cabra adulterados com leite de vaca.	192	2021	4.556
Orégano (MCGRATH et al., 2021)	Floresta aleatória (RF) e SIMCA	Análise de adulteração de orégano por folhas de oliveira e cistus.	413	2021	7.514
Ovo (CRUZ-TIRADO; LUCIMAR DA SILVA MEDEIROS; BARBIN, 2021)	PLS-DA, SVM, PLS e SVR	Análise do frescor de ovos e determinação do valor de Haugh.	660	2021	5.354
Lula (CURRÔ et al., 2021)	RF, SVM e <i>K-nearest neighbor</i> (KNN).	Avaliar a origem de lulas	727	2021	4.350
Leite de vaca (SHENG et al., 2022)	<i>Gradient-boosted regression tree</i> (GBRT), RF, SVR, stochastic gradient descent (SGD), KNN, <i>multilayer perceptron</i> (MLP)	Determinar teores de proteína e gordura do leite	70	2022	4.016
Leite (ZHANG et al., 2022)	<i>Fuzzy uncorrelated discriminant transformation</i> (FUDT), análise discriminante linear (LDA) e KNN	Identificar a origem geográfica do leite	60	2022	2.356
Laranja (SUN et al., 2022)	PLS e seleção de variáveis <i>variable combination population analysis iteratively retaining informative variables</i> (IRIV), <i>Monte Carlo uniformation variable</i>	Determinação de SSC e TA.	179	2022	6.576

	<i>elimination</i> (MC-UVE) e SPA.				
Arroz (AZNAN et al., 2022)	PCA e ANN	Identificação de adulteração de amostras de arroz com misturas de diferentes origens, arroz de maior qualidade com menor qualidade, arroz aromático com não aromático ou arroz orgânico com arroz não orgânico;	20	2022	3.576
Limão (JAHANI et al., 2022)	PCA, SIMCA e PLS-DA	Identificação de adulteração de suco de limão com ácido cítrico	16	2022	1.696
EVOO, mel, leite de vaca e iogurte sem lactose (FOLLI et al., 2022)	SVM, PLS-DA, SVM one class, PLS, criação de outliers artificiais	Identificação e determinação de diferentes adulterantes em EVOO (óleo de canola, milho, girassol, algodão e soja), mel (néctar, glicose e melaço de cana-de-açúcar) e lactose em leite e iogurte sem lactose.	135	2022	4.514

Fonte: Autor (2023).

#### 4 CONCLUSÕES

O NIR portátil, apesar de apresentar menor resolução e varredura espectral, demonstra capacidade de modelagem comparável aos dispositivos NIR convencionais (bancada), obtendo resultados semelhantes ou superiores com a vantagem de realizar análises em tempo real. Entretanto, sua aplicação requer cautela e preparação adequada devido à possibilidade de interferência da iluminação ambiente e temperatura.

A maioria dos estudos se destina à análise da qualidade de alimentos, adulterações ou fraudes, utilizando principalmente PLS (127 artigos) e PCA (43 artigos). Metodologias mais recentes começaram a ser utilizadas na ciência de alimentos, tais como o SVM, ANN ou a RF. Ademais, é um tema bastante recente (artigo pioneiro publicado em 2003) e que está em grande desenvolvimento mundial.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES) [88887.487966/2020-00], Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) [356/18;83552723, 442/2021, 3530.503.20537.12092017 e 76459934/16], e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

[422515/2016-7, 445987/2014-6, 310349/2021-4 e 465450/2014-8] por todo suporte financeiro e ao LABPETRO-UFES pela disponibilidade de espaço físico.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ABBAS, Ouissam et al. Analytical methods used for the authentication of food of animal origin. **Food Chemistry**, v. 246, n. October 2017, p. 6–17, 2018.
- AGELET, Lidia Esteve; HURBURGH, Charles R. A tutorial on near infrared spectroscopy and its calibration. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 40, n. 4, p. 246–260, 2010.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- AYVAZ, Huseyin; RODRIGUEZ-SAONA, Luis E. Application of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips. **Food Chemistry**, v. 174, p. 154–162, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.001>>.
- AZNAN, A.; et al. Rapid Detection of Fraudulent Rice Using Low-Cost Digital Sensing Devices and Machine Learning. **Sensors** 2022, 22, 8655., v. 22, n. 8655, p. 1–15, 2022.
- BARRETO, Abel et al. Determination of

starch content in adulterated fresh cheese using hyperspectral imaging. **Food Bioscience**, v. 21, n. October 2017, p. 14–19, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.10.009>>.

BERZAGHI, Paolo; RIOVANTO, Roberto. Near infrared spectroscopy in animal science production: Principles and applications. **Italian Journal of Animal Science**, v. 8, n. SUPPL. 3, p. 39–62, 2009.

BLANCO, M.; VILLARROYA, I. NIR spectroscopy: A rapid-response analytical tool. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 4, p. 240–250, 2002.

BORGHI, Flavia T. et al. Quantification and classification of vegetable oils in extra virgin olive oil samples using a portable near-infrared spectrometer associated with chemometrics. **Microchemical Journal**, v. 159, n. July, 2020a.

\_\_\_\_\_. Quantification and classification of vegetable oils in extra virgin olive oil samples using a portable near-infrared spectrometer associated with chemometrics. **Microchemical Journal**, v. 159, n. September, 2020b.

CIRILLI, Marco et al. On-field monitoring of fruit ripening evolution and quality parameters in olive mutants using a portable NIR-AOTF device. **Food Chemistry**, v. 199, p. 96–104, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.129>>.

CORREIA, Radigya M. et al. Analysis of Robusta coffee cultivated in agroforestry systems (AFS) by ESI-FT-ICR MS and portable NIR associated with sensory analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 94, n. March, 2020.

\_\_\_\_\_. Portable near infrared spectroscopy applied to abuse drugs and medicine analyses. **Analytical Methods**, v. 10, n. 6, p. 593–603, 2018.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; IRUDAYARAJ, J. **Vibrational**

**spectroscopy for food quality and safety screening**. [S.l.]: Elsevier Ltd., 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-85709-801-6.00007-1>>.

CRUZ-TIRADO, J. P.; LUCIMAR DA SILVA MEDEIROS, Maria; BARBIN, Douglas Fernandes. On-line monitoring of egg freshness using a portable NIR spectrometer in tandem with machine learning. **Journal of Food Engineering**, v. 306, 1 out. 2021.

CURRÒ, Sarah et al. Fast and green method to control frauds of geographical origin in traded cuttlefish using a portable infrared reflective instrument. **Foods**, v. 10, n. 8, 2021.

DOS SANTOS PEREIRA, Elaine Virginia et al. In-situ authentication of goat milk in terms of its adulteration with cow milk using a low-cost portable NIR spectrophotometer. **Microchemical Journal**, v. 163, n. September 2020, 2021.

DUAN, Cui et al. Non-destructive determination of the total bacteria in flounder fillet by portable near infrared spectrometer. **Food Control**, v. 42, p. 18–22, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.023>>.

FOLLI, Gabriely S. et al. Food analysis by portable NIR spectrometer. **Food Chemistry Advances**, v. 1, n. March, p. 100074, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100074>>.

GALVIN-KING, Pamela; HAUGHEY, Simon A.; ELLIOTT, Christopher T. Herb and spice fraud; the drivers, challenges and detection. **Food Control**, v. 88, p. 85–97, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.031>>.

GARRIGUES, Salvador; DE LA GUARDIA, Miguel. Non-invasive analysis of solid samples. **TrAC - Trends in**

- Analytical Chemistry**, v. 43, p. 161–173, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.10.008>>.
- GELADI, P.; MACDOUGALL, D.; MARTENS, H. Linearization and Scatter-Correction for Near-Infrared Reflectance Spectra of Meat. **Applied Spectroscopy**, v. 39, n. 3, p. 491–500, 1985.
- GONZÁLEZ-CABALLERO, Virginia et al. On-Vine Monitoring of Grape Ripening Using Near-Infrared Spectroscopy. **Food Analytical Methods**, v. 5, n. 6, p. 1377–1385, 2012.
- GRANATO, Daniel et al. Trends in Chemometrics: Food Authentication, Microbiology, and Effects of Processing. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 663–677, 2018.
- GUELPA, Anina et al. Verification of authenticity and fraud detection in South African honey using NIR spectroscopy. **Food Control**, v. 73, p. 1388–1396, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.002>>.
- GUIDETTI, R. et al. Prediction of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) ripeness by a portable vis-NIR device. **Acta Horticulturae**, v. 810, p. 877–886, 2009.
- JAHANI, Reza et al. Comparison of Portable and Benchtop Near-Infrared Spectrometers for the Detection of Citric Acid-adulterated Lime Juice: A Chemometrics Approach. **Iranian Journal of Pharmaceutical Research**, v. 21, n. 1, p. 1–12, 2022.
- KALININ, Andrey et al. Calibration models for multi-component quantitative analyses of dairy with the use of two different types of portable near infrared spectrometer. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 16, n. 3, p. 343–348, 2008.
- KARUNATHILAKA, Sanjeewa R. et al. Rapid classification and quantification of marine oil omega-3 supplements using ATR-FTIR, FT-NIR and chemometrics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 77, n. December 2018, p. 9–19, 2019.
- LI, Jiangbo et al. A comparative study for the quantitative determination of soluble solids content, pH and firmness of pears by Vis/NIR spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 324–332, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.11.007>>.
- LIU, Ningjing et al. Evaluation of portable near-infrared spectroscopy for organic milk authentication. **Talanta**, v. 184, p. 128–135, jul. 2018.
- LOHUMI, Santosh; LEE, Sangdae; CHO, Byoung Kwan. Optimal variable selection for Fourier transform infrared spectroscopic analysis of starch-adulterated garlic powder. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 216, p. 622–628, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2015.04.060>>.
- MALLEY, D. F. et al. Compositional analysis of cattle manure during composting using a field-portable near-infrared spectrometer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 4–6, p. 455–475, 2005.
- MCGRATH, Terry F. et al. The potential of handheld near infrared spectroscopy to detect food adulteration: Results of a global, multi-instrument inter-laboratory study. **Food Chemistry**, v. 353, n. October 2020, 2021.
- MISHRA, Puneet et al. Sequential fusion of information from two portable spectrometers for improved prediction of moisture and soluble solids content in pear fruit. **Talanta**, v. 223, n. P2, p. 121733, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121733>>.
- MOORE, Jeffrey C.; SPINK, John; LIPP,

- Markus. Development and Application of a Database of Food Ingredient Fraud and Economically Motivated Adulteration from 1980 to 2010. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 4, 2012.
- NOGALES-BUENO, J. et al. Comparative study on the use of three different near infrared spectroscopy recording methodologies for varietal discrimination of walnuts. **Talanta**, v. 206, n. May 2019, p. 120189, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120189>>.
- NOLASCO-PEREZ, Irene M. et al. Comparison of rapid techniques for classification of ground meat. **Biosystems Engineering**, v. 183, p. 151–159, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.013>>.
- NORRIS, Karl H.; HART, Joe R. 4. Direct spectrophotometric determination of moisture content of grain and seeds. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 4, n. 1–4, p. 23–30, 1996.
- OLIVEIRA, M.M. et al. Portable near-infrared spectroscopy for rapid authentication of adulterated paprika powder. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 87, p. 103403, abr. 2020.
- OLIVEIRA, Marciano M.; CRUZ-TIRADO, J. P.; BARBIN, Douglas F. Nontargeted Analytical Methods as a Powerful Tool for the Authentication of Spices and Herbs: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 670–689, 2019.
- OUYANG, Qin et al. Real-time monitoring of process parameters in rice wine fermentation by a portable spectral analytical system combined with multivariate analysis. **Food Chemistry**, v. 190, p. 135–141, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.074>>.
- PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.
- PARASTAR, Hadi et al. Integration of handheld NIR and machine learning to “Measure & Monitor” chicken meat authenticity. **Food Control**, v. 112, p. 107149, jun. 2020.
- PASQUINI, Celio. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198–219, 2003.
- PIERNA, Juan Antonio Fernández et al. Calibration transfer from dispersive instruments to handheld spectrometers. **Applied Spectroscopy**, v. 64, n. 6, p. 644–648, 2010.
- PISSARD, Audrey et al. Evaluation of a handheld ultra-compact NIR spectrometer for rapid and non-destructive determination of apple fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, n. October 2020, 2021.
- PRIETO, N. et al. Rapid discrimination of enhanced quality pork by visible and near infrared spectroscopy. **Meat Science**, v. 110, p. 76–84, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.006>>.
- QIN, Jianwei et al. Citrus canker detection using hyperspectral reflectance imaging and PCA-based image classification method. **Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety**, v. 2, n. 3, p. 168–177, 2008.
- RAATIKAINEN, Olavi et al. Multivariate modelling of fish freshness index based on ion mobility spectrometry measurements. **Analytica Chimica Acta**, v. 544, n. 1-2 SPEC. ISS., p. 128–134, 2005.

- SÁNCHEZ, María Teresa et al. Testing of a local approach for the prediction of quality parameters in intact nectarines using a portable NIRS instrument. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n. 2, p. 130–135, 2011.
- SANTOS, Antonio Odair; KAYE, Oren. Grapevine leaf water potential based upon near infrared spectroscopy. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 287–292, 2009.
- SANTOS, Francine D. et al. Characterization of crude oils with a portable NIR spectrometer. **Microchemical Journal**, v. 181, n. June, 2022.
- SANTOS, Poliana M.; PEREIRA-FILHO, Edénir R.; RODRIGUEZ-SAONA, Luis E. Application of hand-held and portable infrared spectrometers in bovine milk analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 6, p. 1205–1211, 2013.
- SARANWONG, Sirinnapa; SORNSRIVICHAI, Jinda; KAWANO, Sumio. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 11, n. 3, p. 175–181, 2003.
- SARKAR, Shagor et al. A comparative study of PLSR and SVM-R with various preprocessing techniques for the quantitative determination of soluble solids content of hardy kiwi fruit by a portable Vis/NIR spectrometer. **Foods**, v. 9, n. 8, 2020.
- SCHMUTZLER, Matthias et al. Methods for detection of pork adulteration in veal product based on FT-NIR spectroscopy for laboratory, industrial and on-site analysis. **Food Control**, v. 57, p. 258–267, nov. 2015.
- SHENG, Tao et al. Analysis of Protein and Fat in Milk Using Multiwavelength Gradient-Boosted Regression Tree. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 71, p. 1–10, 2022.
- SILVA, Lorena C.R. et al. Quantification of beef, pork, and chicken in ground meat using a portable NIR spectrometer. **Vibrational Spectroscopy**, v. 111, n. September, 2020.
- SPINK, John; MOYER, Douglas C. Defining the Public Health Threat of Food Fraud. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 9, 2011.
- SUBEDI, Phul P.; WALSH, Kerry B. Assessment of avocado fruit dry matter content using portable near infrared spectroscopy: Method and instrumentation optimisation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 161, n. November 2019, p. 111078, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111078>>.
- SUN, Xudong et al. Model development and update of portable NIRS instrument for assessment of internal quality attributes of two navel orange varieties. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, n. 1, 2022.
- TEIXEIRA DOS SANTOS, Cláudia A. et al. A review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. **Applied Spectroscopy**, v. 67, n. 11, p. 1215–1233, 2013.
- TEIXEIRA, José Luan da Paixão et al. Rapid adulteration detection of yogurt and cheese made from goat milk by vibrational spectroscopy and chemometric tools. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 96, n. October 2020, 2021.
- TILAHUN, Shimeles et al. Prediction of lycopene and  $\beta$ -carotene in tomatoes by portable chroma-meter and VIS/NIR spectra. **Postharvest Biology and Technology**, v. 136, p. 50–56, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.007>>.
- XUDONG, Sun; HAILIANG, Zhang; YANDE, Liu. Nondestructive assessment of quality of Nanfeng mandarin fruit by a portable near infrared spectroscopy.

**International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 2, n. 1, p. 65–71, 2009.

ZHANG, Tingfei et al. Rapid authentication of the geographical origin of milk using portable near-infrared spectrometer and fuzzy uncorrelated discriminant transformation. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 8, 2022.