

## **Inovação na indústria da carne: o uso da espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na avaliação da qualidade de produtos cárneos**

Julio Ribeiro Lopes<sup>1</sup>, Ana Carolina Nascimento<sup>1</sup>, Júlia da Costa Carneiro Cruz<sup>1</sup>, Lara Beatriz de Oliveira Mateus<sup>1</sup>, Maria Fernanda Neto Campos <sup>1</sup>, Vívyan Alice Clemente Vieira<sup>1</sup>, Emília Maricato Pedro dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Medicina, Departamento de Medicina Veterinária, Grupo de Pesquisa em Inspeção, Tecnologia e Controle de Qualidade de Produtos de Origem Animal – GPPoa UFJF, Curso de Medicina Veterinária (julio.lopes@estudante.ufjf.br; anacarolinanascimento12@outlook.com; julia9carneiro@hotmail.com; lara.beatriz@estudante.ufjf.br; maria.fernanda@estudante.ufjf.br; vivyan.clemente@estudante.ufjf.br; emilia.maricato@ufjf.br)

### **1. INTRODUÇÃO**

Defender a integridade da cadeia de abastecimento da carne é de extrema importância, preservando, assim, a qualidade do produto até a mesa do consumidor. A partir disso, a inspeção sanitária desse alimento torna-se essencial para impedir adulterações em qualquer fase da cadeia de produção até o produto final. Nesse contexto, as adulterações podem ocorrer quando um produto de baixo valor agregado, e/ou deteriorado é misturado com produtos maior valor agregado ou de qualidade superior. Todavia, existem métodos eficazes para sua detecção, tais como: identificação baseada em DNA (ácido desoxirribonucleico) ou espectrometria de massa, as quais identificam peptídeos e metabólitos presentes no alimento adulterado. Apesar de serem métodos promissores, estes têm limitações por serem destrutivos às amostras e, principalmente, por envolverem tempos de amostragem prolongados, somado ao devido grau de imprevisibilidade das adulterações. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de um método analítico que seja rápido e de identificação precisa para a variedade de tipos de adulteração possíveis de ocorrer em produtos alimentícios (Jia *et al.*, 2024).

Com o intuito de sanar a necessidade de um dispositivo que fosse rápido para a detecção de adulterações, foram aprimorados estudos sobre a Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR). A NIR é utilizada em produtos cárneos para prever a composição química (como proteína bruta, gordura intramuscular, relação entre umidade e matéria seca, cinzas, energia bruta, mioglobina e colágeno), parâmetros tecnológicos (capacidade de retenção de água) e atributos sensoriais (suculência e maciez). Tal metodologia consiste em ondas curtas (780-1100 nanômetros) e ondas longas (1100-2526 nanômetros) que funcionam por meio de um feixe de infravermelho

que atravessa a amostra e, quando isso ocorre, a amostra absorve os comprimentos de onda encontrados em seu espectro infravermelho. Por fim, o sinal que chega ao detector contém informações sobre a quantidade de energia absorvida em cada comprimento de onda e os dados identificam e quantificam as moléculas orgânicas (Schreuders *et al.*, 2021).

Desse modo, a espectrografia é capaz de criar uma base de dados com informações importantes para medir a quantidade dos nutrientes ou atributos sensoriais dos alimentos, a fim de determinar a sua qualidade. A partir disso, torna-se possível ranquear qual a melhor carne a ser consumida, por meio de valores obtidos pela NIR, tais como umidade, teores de gordura e de aminoácidos, que são responsáveis por conferir sabor ao alimento. Diante disso, revela-se a importância da espectrografia acerca da relação entre quantidade de matéria orgânica e suas características sensoriais, os quais conferem qualidade à carne e facilitam os métodos de inspeção, permitindo a correlação entre os valores da base de dados com a provável qualidade ofertada pelo produto (Ge *et al.*, 2023).

Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar a importância da Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR), bem como a sua implementação na indústria da carne e seus benefícios para a garantia da qualidade e segurança deste alimento.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho configura-se como uma revisão de literatura que versa sobre a Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) e sua aplicação na análise de produtos cárneos. Para tanto, foi realizada uma busca sistematizada das informações nas bases de dados *ScienceDirect* e Portal Periódico CAPES, utilizando-se os descritores "*infra-red*", "*meat*", "*meat products*", "*NIR*", "*spectrometry*", "*technology*". Na procura das publicações foi utilizado o operador lógico "*and*", de modo a combinar os descritores utilizados e o cruzamento de dados.

As informações foram coletadas em setembro de 2024 e priorizou-se a seleção de estudos publicados em língua inglesa no período de 2019 a 2024. Os trabalhos passaram por uma análise, na qual foram selecionados aqueles que continham os descritores no título, bem como em suas palavras-chave, excluindo-se, os trabalhos com data de publicação anterior ao período de busca estipulado assim como os duplicados e, ainda, cartas ao editor, monografias, teses e dissertações e demais gêneros que não artigos científicos. Obteve-se, aproximadamente, 600 publicações, elegendo-se 10 referências para leitura e discussão do tema. As informações obtidas foram organizadas e sintetizadas na forma deste resumo expandido.

## 3. DISCUSSÃO

### Princípios da Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR)

A Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) é uma técnica amplamente utilizada para análises rápidas e não destrutivas, por meio da emissão de ondas de infravermelho de diversos comprimentos, em que cada material biológico dispersa,

absorve ou reflete a luz devido a sua estrutura física e composição química. Logo, cada amostra que apresenta ligações covalentes irá absorver parte das ondas vibratórias, sendo as não absorvidas responsáveis por chegar até o detector que as irá transformá-las em informações sobre a quantidade de energia absorvida em cada comprimento de onda. Por fim, um gráfico é criado, evidenciando as moléculas orgânicas, as identificando e quantificando, por meio da análise na base de dados que quantifica as ondas captadas anteriormente (Wold *et al.*, 2024).

Os constituintes da carne apresentam composição variada e, dependendo das moléculas presentes na ligação covalente da substância orgânica, irão apresentar absorção variada e, conseqüentemente, leituras diferentes na espectrografia. A partir disso, em estudos realizados com carne de frango, foram obtidos gráficos com picos de absorção em aproximadamente 430 nanômetros (nm), 490 nm e 550 nm de comprimento de onda, que foram relacionados à absorção de pigmentos proteicos: desoximioglobina, mioglobina e oximioglobina, respectivamente. Além disso, os picos de absorção em aproximadamente 770 nm e 980 nm podem corresponder a ligação do oxigênio com o hidrogênio na água e o pico de absorção próximo a 1014 nm é atribuído à ligação do nitrogênio com o hidrogênio, de amidas e aminas em compostos orgânicos relacionados a proteínas. Por fim, um forte pico de absorção em aproximadamente (1170–1200 nm) foi observado e atribuído às ligações de CH (carbono e hidrogênio), CH<sub>2</sub> (grupo metileno) e CH<sub>3</sub> (grupo metil) na gordura (Li *et al.*, 2023).

Um dos principais pontos sobre o equipamento utilizado nesta análise é a qualidade de leitura feita pela NIR para que a luz emitida seja interpretada. Nesse sentido, uma vez que a luz que carrega a informação útil sai do dispositivo de dispersão, esta será coletada por um detector de área. Estes detectores de área têm a capacidade de medir a intensidade da luz adquirida, convertendo fótons incidentes em elétrons, por meio de fotodiodos, para criar um sinal elétrico proporcional à exposição total à luz. Após esta etapa, todas as cargas elétricas são deslocadas de uma maneira pré-determinada e então digitalizadas para formar imagens (Cardenas *et al.*, 2024).

### **Aplicações da Espectroscopia NIR na inspeção de carnes**

A aferição dos teores de gordura, proteína, umidade e outros componentes químicos na carne são de grande importância para se determinar a qualidade da carne. Nesse sentido, foi observado que o processo da espectrografia seria melhor aproveitado se fosse utilizado um conjunto de processamentos que corrigissem a dispersão da luz. Para este fim, e com intuito de economizar tempo e recursos, que são essenciais para a inspeção de produtos alimentícios, foi constatado que a utilização do pré-processamento sequencial por meio de ortogonalização (SPORT) e do pré-processamento paralelo por meio de ortogonalização (PORTO) são meios de aproveitar a luz que foi dispersa de volta para a espectrografia e, conseqüentemente, a obtenção de melhores resultados na determinação da qualidade da carne (Mishra *et al.*, 2021).

De maneira geral, a presença de enzimas endógenas e bactérias psicotróficas são extremamente perigosas para o frescor dos alimentos, principalmente para os peixes. Por este motivo, os métodos utilizados para avaliar a qualidade dos produtos são as análises físico-química e sensorial e testes microbiológicos, mas que são dispendiosos e, em algumas situações, demandam tempo considerável. A partir disso, a espectrografia é um método interessante para contornar a situação, visto que este é capaz analisar os níveis de absorção de grupos contendo hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos e cetonas, que estão diretamente ligados ao surgimento de odor pútrido nos alimentos. Logo, a Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) revela-se como um método rápido e não destrutivo vantajoso para a avaliação da qualidade da carne (Xu *et al.*, 2022).

Neste mesmo contexto, identificar e classificar patógenos causadores de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) em alimentos é extremamente importante para assegurar a sua qualidade e segurança. Logo, a espectrometria consiste em uma ferramenta de alto nível para detectar bactérias na carne. Isso ocorre porque a técnica é capaz de capturar imagens únicas, ou numerosas, em vários comprimentos de onda, e cada pixel tem um espectro correspondente, que permite a detecção de várias propriedades químicas e físicas em amostras investigadas. O fornecimento de informações detalhadas, sobre a composição do patógeno, permite que a tecnologia detecte diferenças sutis nas amostras, como, por exemplo, a presença de microrganismos contaminantes. No entanto, há um número limitado de estudos focados na detecção e previsão de bactérias específicas na carne. Desse modo, mais pesquisas acerca da utilização desta tecnologia na promoção da segurança de alimentos precisam ser conduzidas em produtos cárneos (Matenda *et al.*, 2024).

Aliado a isso, garantir a disponibilidade adequada de alimentos saudáveis, seguros e autênticos para atender a uma população mundial em expansão é um dos maiores desafios atuais e futuros. A autenticidade da carne e sua rastreabilidade são de particular importância na sociedade, perante a eventos de adulteração da carne com espécies não declaradas, o que ilustra a necessidade global de verificações claras e confiáveis dos alimentos. Portanto, a NIR colabora com este cenário ao conseguir realizar uma adequada separação entre espécies por meio de análises tanto da cor do pigmento (região visível) quanto das informações da composição muscular das espécies. Nessas condições, esta metodologia mostrou desempenho superior para classificação de carne pura de cordeiro, carne bovina, frango e porco. Desta forma, o uso da espectrografia torna-se uma importante ferramenta na detecção e combate a fraudes (Dashti *et al.*, 2023).

#### **4. CONCLUSÃO**

A Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) apresenta-se como um método rápido, econômico e não destrutivo para as amostras de produtos cárneos. Ademais, as análises realizadas por meio deste método apresentam precisão e confiabilidade na detecção de adulterações e, principalmente, na determinação da composição

físico-química da carne. Por fim, é preciso cada vez mais aperfeiçoar a utilização da NIR para assegurar e descobrir fatores que alteram a qualidade dos alimentos de origem animal.

**Palavras-chave:** adulteração; alimentos; composição físico-química; controle de qualidade; produtos de origem animal.

## 5. REFERÊNCIAS

CARDENAS, E.; TABORY, E.; SANCHEZ, A.; KEMPER, G. An electronic equipment for marbling meat grade detection based on digital image processing and support vector machine. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 1, n.1, p. 1-15, 2024. DOI:10.1016/j.jssas.2024.05.001.

DASHTI, A.; MULLER-MAATSCH, J.; ROETGERINK, E.; WIJTEN, M.; WEESEPOEL, Y.; PARASTAR, H.; YAZDANPANA, H. Comparison of a portable Vis-NIR hyperspectral imaging and a snapscan SWIR hyperspectral imaging for evaluation of meat authenticity. **Food Chemistry**, v. 18, n. 1, p.100667-100673, 2023. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100667.

GE, F.; LI, J.; GAO, H.; WANG, X.; ZHANG, X.; GAO, H.; ZHANG, L.; XU, L.; GAO, X.; ZHU, B.; WANG, Z.; CHEN, Y. Comparative analysis of carcass traits and meat quality in indigenous Chinese cattle breeds. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 124, n. 1, p. 105645-105653, 2023. DOI: 10.1016/j.jfca.2023.105645.

JIA, W.; FERRAGINA, A.; HAMILL, R.; KOIDIS, A. Modelling and numerical methods for identifying low-level adulteration in ground beef using near-infrared hyperspectral imaging (NIR-HSI). **Talanta**, v. 276, n. 1, p. 126199-126209, 2024. DOI: 10.1016/j.talanta.2024.126199.

LI, X.; CAI, M.; LI, M.; WEI, X.; LIU, Z.; WANG, J.; JIA, K.; HAN Y. Combining Vis-NIR and NIR hyperspectral imaging techniques with a data fusion strategy for the rapid qualitative evaluation of multiple qualities in chicken. **Food Control**, v. 145, n. 1, p. 109416-109425, 2023. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109416.

MATENDA, R. T.; RIP, D.; MARAIS, J.; WILLIAMS, P. J. Exploring the potential of hyperspectral imaging for microbial assessment of meat: A review. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 315, n. 1, p.124261-124272, 2024. DOI: 10.1016/j.saa.2024.124261.

MISHRA, P.; VERKLEIJ, T.; KLONT, R. Improved prediction of minced pork meat chemical properties with near-infrared spectroscopy by a fusion of scatter-correction techniques. **Infrared Physics and Technology**, v. 113, n. 1, p.103643-103646, 2021. DOI: 10.1016/j.infrared.2021.103643.

SCHREUDERS, F. K. G.; SCHLANGEN, M.; KYRIAKOPOULOU, K.; BOOM, R. M.; GOOT, A. J. V. D. Texture methods for evaluating meat and meat analogue structures: a review. **Food Control**, v. 127, n. 1, p. 108103-108116, 2021. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108103.



WOLD, J. P.; O'FARRIEL, M.; TSCHUDI, J.; LORENTZEN, G. Rapid and non-destructive quantification of meat content in the legs of live red king crab (*Camtschaticus paralithodes*) by near-infrared spectroscopy. **LWT**, v. 201, n. 1, p. 116246-116252, 2024. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.116246.

XU, K.; Y, Y.; DENG, J.; WANG, Y.; ZHAO, B.; SUN Q.; GONG, C.; YANG, Z.; WAN, H.; HE, R.; WU, X.; YAO, B.; ZHANG, M.; TANG, Y. Evaluation of the freshness of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets by the NIR, E-nose and SPME-GC-MS. **Royal Society of Chemistry**, v. 12, n. 19, p.11591-11603, 2022. DOI:10.1039/d2ra00038e.