




Ressonância magnética nuclear na análise de alimentos: uma breve revisão

NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE IN FOOD ANALYSIS: A BRIEF REVIEW

Adriely Cristina dos Santos¹, Daniele de Souza Terassi² , Reni Saath² , Gustavo Lopes Pereira³ 

A realização de análise em alimentos é realizada com o objetivo de identificar características físico-químicas, composição e presença de materiais contaminantes, sendo fundamental para garantia da integridade do produto ao consumidor, e possível de adoção para classificação. O estudo teve como objetivo realizar uma revisão sobre a aplicação da ressonância magnética nuclear como ferramenta para análise não destrutiva de alimentos. Foram analisados artigos publicados em periódicos científicos que envolvem a utilização da ressonância magnética nuclear sobre alimentos in natura e processados, sendo demonstrado o potencial de utilização, visando a integridade e a qualidade do produto. A partir do levantamento realizado, foi verificado que a utilização da ressonância magnética nuclear permite obtenção de informações com precisão e detalhamento, entretanto novas pesquisas são necessárias para o desenvolvimento da técnica, determinação de parâmetro para diferentes culturas e redução dos custos.

Palavras-chave: Análise não destrutiva. Ciência de alimentos. Pós-colheita.

Carrying out food analysis is carried out with the aim of identifying physical-chemical characteristics, composition and presence of contaminating materials, being essential to guarantee the integrity of the product to the consumer, and possible adoption for classification. The study aimed to carry out a review on the application of nuclear magnetic resonance as a tool for non-destructive analysis of food. Articles published in scientific journals involving the use of nuclear magnetic resonance on fresh and processed foods were analyzed, demonstrating the potential for use aimed at the integrity and quality of the analyzed product. From the survey carried out, it was verified that the use of nuclear magnetic resonance allows obtaining information with precision and detail, however new research is necessary to develop the technique, determine parameters for different crops and reduce costs.

Keywords: Non-destructive analysis. Food science. Post-harvest.

Autor Correspondente:
Adriely Cristina dos Santos

E-mail: adrielycristina@nads@gmail.com

Declaração de Interesses:
Os autores certificam que não possuem implicação comercial ou associativa que represente conflito de interesses em relação ao manuscrito.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

² Universidade Estadual de Maringá (UEM).

³ Instituto Federal do Paraná (IFPR).

INTRODUÇÃO

A Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é uma técnica analítica estabelecida que, ao longo das décadas, tem sido refinada e aplicada para realizar análises detalhadas e não destrutivas de compostos complexos presentes em diversos alimentos (CAO et al., 2021). Enquanto métodos analíticos tradicionais frequentemente exigem a destruição parcial ou total das amostras, a RMN oferece a vantagem de análises não destrutivas, permitindo investigações em um maior número de amostras sem afetar quantitativamente o lote (Hou et al., 2020; Miaw et al., 2020). Além disso, essa técnica proporciona resultados rápidos e precisos, sendo particularmente eficaz na análise de alimentos de origem vegetal (Marcone et al., 2013).

Iniciando com as descobertas fundamentais de Purcell e Bloch em 1946 sobre o fenômeno da RMN macroscópica, a tecnologia evoluiu consideravelmente com contribuições ao longo das décadas. Ernst, em 1987, introduziu avanços cruciais na espectroscopia de RMN utilizando a transformada de Fourier, enquanto Mansfield, em 1977, desenvolveu métodos matemáticos para a rápida descrição de sinais de RMN, estabelecendo as bases para aplicações clínicas e científicas amplamente utilizadas hoje em dia (Ernst; Bodenhausen; Wokaun, 1987; Han et al., 2014; Cao et al., 2021).

Comparada aos métodos analíticos convencionais como cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) e espectrometria de massa (MS), a RMN apresenta várias vantagens distintas. Sua capacidade de penetrar eficazmente em sistemas alimentares heterogêneos e complexos, sem destruir a amostra ou produzir resíduos perigosos, a torna particularmente adequada para a análise de substratos líquidos e sólidos (Cao et al., 2018). Além disso, a RMN permite a análise simultânea de múltiplos analitos em misturas complexas, fornecendo uma riqueza de informações estruturais que métodos como a espectrometria de massa (MS) são limitados a detectar apenas componentes individuais (Renou; Belton; Webb, 2011).

Com o desenvolvimento contínuo de técnicas de RMN, incluindo avanços na sensibilidade instrumental e na interpretação de dados multivariados, suas aplicações na ciência e tecnologia de alimentos continuam a expandir. A RMN não apenas facilita a avaliação da qualidade microbiológica, física e química dos alimentos, mas também desempenha um papel crucial na autenticação de alimentos, no desenvolvimento de embalagens seguras e na compreensão das interações entre componentes alimentares (Cao et al., 2018).

Esta revisão busca explorar os fundamentos da RMN aplicada à análise de alimentos, e examinar suas atuais e potenciais futuras aplicações na ciência alimentar. Ao reunir estudos recentes e aplicações práticas, o objetivo é fornecer uma visão abrangente do papel da RMN como uma ferramenta analítica essencial na ciência alimentar moderna.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

QUALIDADE EM ALIMENTOS

Produtos hortícolas, geralmente, apresentam baixo tempo de vida de prateleira, em condições onde não há emprego de tecnologias associadas ao armazenamento. Esse fato está relacionado principalmente à atividade metabólica que o produto apresenta, capaz de alterar características físicas e químicas. A integridade do produto (hortaliça ou fruto) está relacionada a aspectos qualitativos e quantitativos, influenciando no manejo pós-colheita, principalmente armazenamento, e na aceitação do produto pelos consumidores (Abasi et al., 2018), com reflexos diretos sobre o valor comercial.

Embora aspectos visuais sejam relevantes para a tomada de decisão de compra pelo consumidor e determinação do valor comercial, a qualidade do produto está relacionada a interação entre fatores químicos e físicos, considerando que os alimentos apresentam aspectos distintos de composição (água, lipídios, proteínas, carboidratos, vitaminas, aminoácidos e moléculas bioativas) que sofrem

alteração e influência de práticas agrícolas, condições ambientais e manejo pós-colheita (Hatzakis, 2018).

A análise em alimentos é fundamental para a determinação de informações de composição, qualidade e identificação de adulteração, sendo desenvolvidas diversas técnicas para análise de parâmetros em diferentes espécies. As técnicas envolvem a determinação de pigmentos, emissão de gases, tomografia computadorizada de raio-x, identificação de danos, padronização de produtos, uso de imagens hiperespectrais e ressonância magnética (Srivastava et al., 2018). No presente trabalho será abordado características das técnicas envolvem ressonância magnética nuclear (RMN).

PRINCÍPIO DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

A ressonância magnética nuclear (RMN) se baseia na resposta que átomos apresentam a ação de um campo magnético externo, sendo a energia fornecida de forma homogênea e forte. A interação do núcleo com a modificação do campo magnético resulta na alteração de moléculas, sendo possível analisar o objeto de interesse de forma complexa (Gonsalves; Melo, 2007; Mazzola, 2009).

Segundo Amaro Júnior e Yamashita (2001) a técnica é resultado de três etapas, sendo o alinhamento, em que um campo magnético intenso (aproximadamente 1,5 Teslas) é fornecido para o direcionamento dos átomos, a excitação em que é fornecida onda eletromagnética com mesma frequência do átomo (63,8 MHz), e a detecção em que é determinado a posição e intensidade dos átomos que se tornaram instáveis ao receber a energia.

A técnica apresenta como principal vantagem a realização de análises de forma não invasiva, não requerendo um tratamento específico antes da análise, permitindo obter informações relacionadas à estrutura, composição química e determinação dos componentes principais (Tavares; Ferreira, 2006).

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR NA ANÁLISE DE ALIMENTOS

Conforme Colnago et al. (2024) a análise de ressonância magnética pode ser subdividida em três, quanto aos resultados obtidos, sendo a RMN de alta resolução, RMN de baixa resolução e geração de imagens por RMN. A RMN de alta resolução é adotada para determinação de metabólitos primários e secundários. A RMN de baixa resolução é adotada para análise de parâmetros físicos como textura, viscosidade e maciez, e a geração de imagens por RMN é adotada para analisar no interior do alimento, de forma não invasiva.

A RMN de baixa resolução, ou RMN domínio do tempo, é utilizada na indústria de alimentos há décadas, principalmente na determinação da composição de lipídeos e umidade em grãos, gorduras e em processos de extração de compostos em matrizes vegetais. Entretanto, para maximizar o potencial de utilização da técnica, faz-se necessária a abordagem multivariada das informações obtidas (Flores et al., 2019).

Considerando as diversas possibilidades de aplicação da RMN em análise de alimentos serão apresentados resultados de estudos desenvolvidos.

Estudo desenvolvido por Flores (2020) demonstrou eficiência na utilização da RMN de baixa resolução no controle de filtragem e recuperação de óleo essencial no processamento de citros, sendo resultado dos dados não-invasivos obtidos pela RMN associado a análise e processamento de dados.

Ferreira (2018), ao analisar amostras comerciais de mandioca (resfriadas e não-resfriada) com RMN de domínio tempo e adotando modelos quimiométricos para análise de dados, obteve eficiência na determinação da atividade enzimática em mandioca não resfriada, com limites de determinação de 0,06 UA mL⁻¹ e de 0,2 UA mL⁻¹.

Menegazzo et al. (2020) realizaram a análise de RMN de baixa resolução em batatas desidratadas, com espectrômetro de Bruker compacto (Minispec mq-série) adotaram como parâmetros a

temperatura de 22 °C, campo magnético foi de 0,47 T, frequência de ressonância para prótons de 19,95 MHz com cada medição variando entre 16 a 32 varreduras. Os tempos de relaxamento, referentes aos diferentes componentes foram determinados com software específico (Uniform PENalty), considerando as curvas de decaimento multi-exponenciais. No estudo os autores concluíram que a técnica permite analisar de forma rápida e precisa mudanças em nível subcelular, principalmente associadas a mudanças dos teores de água.

A análise de espectros unidimensionais, como de hidrogênio e carbono permite a adoção na análise para identificação de adulteração em produtos, como óleos essenciais. Estudo desenvolvido por Truzzi et al. (2021), analisando 20 amostras de óleos essenciais comerciais, identificou a presença de óleos vegetais, como soja, em 4 amostras utilizando a análise por RMN. Para obtenção dos resultados, os pesquisadores consideraram os picos de carbono (^{13}C) obtidos em análise espectroscopia (Figura 1).

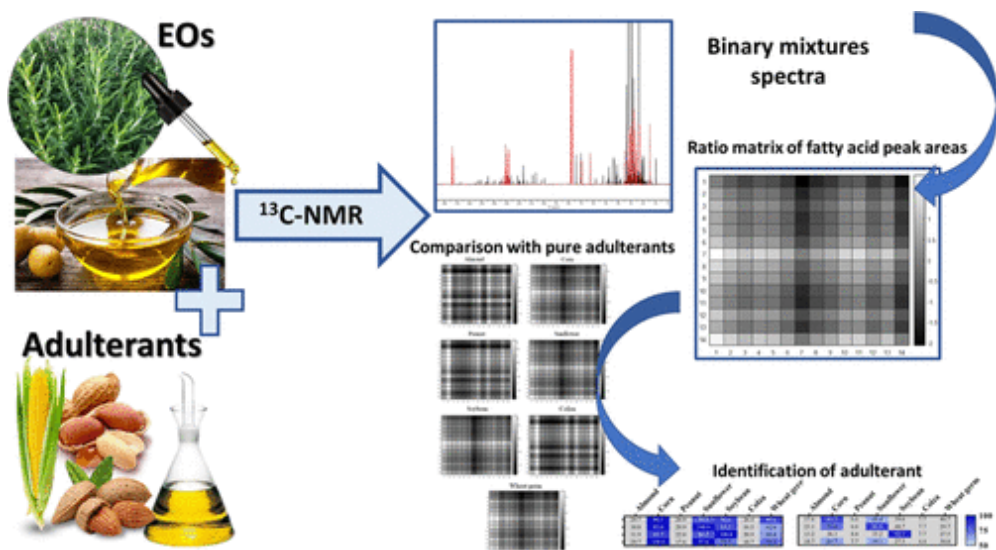


Figura 1 - Identificação de adulteração em óleo essencial utilizando RMN. Fonte: Truzzi et al., 2021.

A precisão dos resultados, embora adequada em diversas quantificações adotadas, pode ainda ser influenciada por componentes do produto analisado, como identificado por Rotondo et al. (2017), que observaram que altos teores de esqualeno em azeites pode influenciar nos espectros de RMN. Entretanto, quando a análise objetiva da identificação do composto, a técnica apresenta eficiência, como observado pelo pico identificado na Figura 2.

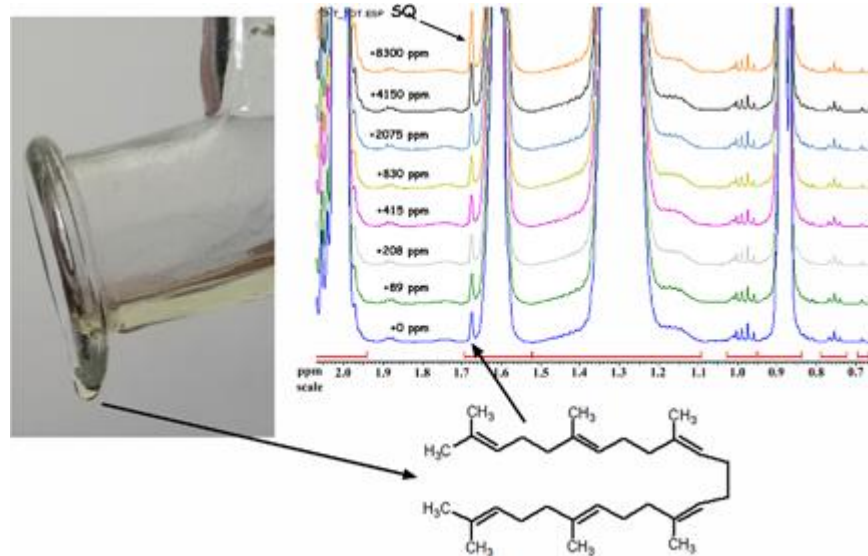


Figura 2 - Análise de espectro RMN na determinação de esqualeno em óleos vegetais. Fonte: Rotondo et al., 2017.

A utilização da RMN pode ainda ser adotada de forma associada a outras técnicas e durante processos. Lv et al. (2017) obtiveram resultados precisos ao utilizar RMN de baixa resolução para a determinação de umidade em vegetais durante o processo de secagem à vácuo por micro-ondas, suprimindo uma demanda quanto a obtenção de dados em tempo real ainda durante o processamento. Entretanto, para precisão dos valores, é necessário a estimativa de modelos específicos para cada espécie ou produto.

Pesquisas desenvolvidas no Brasil por Pinto et al. (2021) utilizou RMN para análise e determinação do perfil do óleo de palma. No estudo, as amostras foram realizadas com espectrômetro Bruker Avance III, em frequência de 500,13 MHz, sendo analisado espectro de hidrogênio (1H). Os resultados ao serem submetidos à análise de componentes principais (PCA) permitiram identificar degradação no óleo ocasionado por aquecimento (>140 °C), com oxidação lipídica.

Embora os estudos com RMN sejam realizados principalmente com baixa resolução, a RMN de alta resolução é adotada para identificação simultânea de diversos metabólicos. Na determinação de componentes em amêndoas, Salvo et al. (2019) utilizando a RMN giratória de alta resolução, identificaram componentes como ésteres graxos, sacarose e metabólicos solúveis em baixas concentrações, permitindo construir perfil químico das amostras, e sendo capaz de ser utilizado para diferenciação de espécies no lote.

Técnicas sofisticadas de RMN estão associadas à imagem por ressonância magnética, em que a interação da radiofrequência e campos magnéticos permite obter imagens com diferentes contrastes, em função das propriedades internas do objeto de análise, com possibilidade de informações em áreas com diferença de 0,3 mm (Du et al., 2020).

Estudo desenvolvido por Qiao et al. (2019) adotou técnicas de RMN de baixa resolução e por imagem para análise na deterioração de mirtilo, associado à rede neural. Para análise foi desenvolvido um algoritmo baseado nas respostas do relaxamento na RMN de baixa resolução, sendo validado com precisão superior a 88%. Além disso, a deterioração pode ser analisada com uso de imagens (Figura 3) em função do tempo de armazenamento do produto.

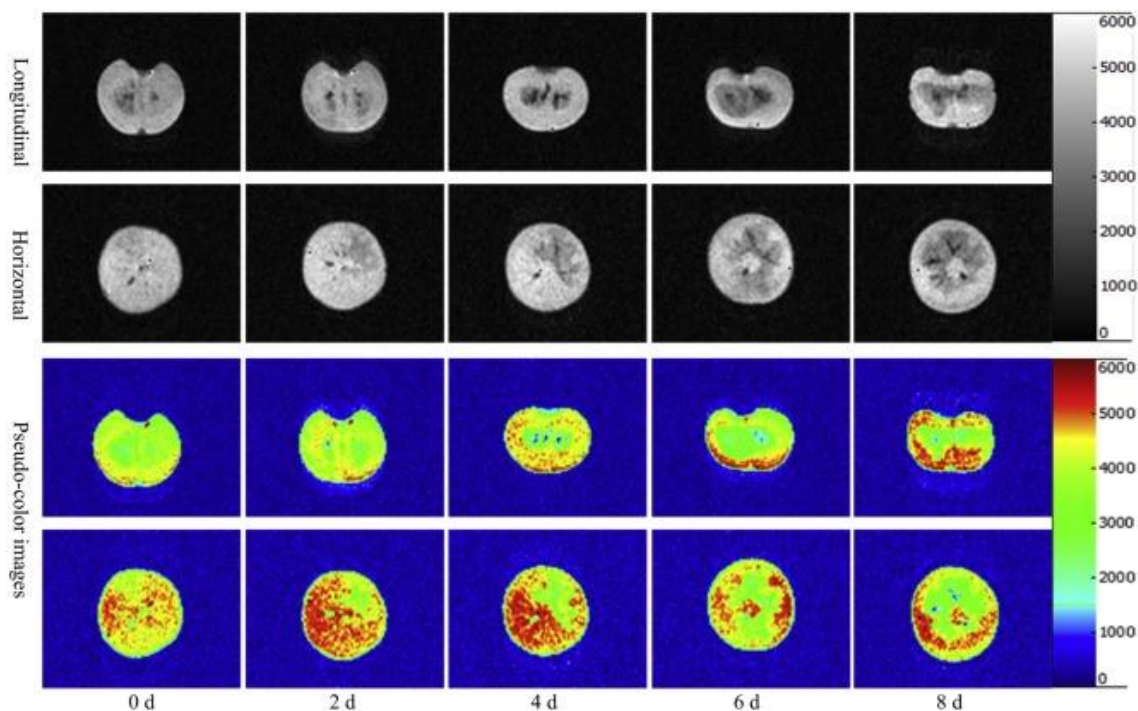


Figura 3 - Imagens de ressonância magnética de mirtilo em função do período de armazenamento. Fonte: Qiao et al. (2019).

A imagem obtida por ressonância magnética permite análise criteriosa do produto, permitindo a identificação de danos internos, não possíveis de identificar pela visão externa do produto. Entretanto, ainda segundo Du et al. (2020) a técnica é cara e demanda tempo para análise das imagens.

Os estudos apresentados demonstram que a utilização da RMN na análise de alimentos é eficiente, sendo adotada nas indústrias para o controle de qualidade e em agências regulatórias para identificação de adulteração (Dar et al., 2020). Entretanto, para o avanço na adoção da técnica em maior escala há a necessidade de novas pesquisas, considerando as especificidades e limitações para cada produto. Além disso, é uma tecnologia de elevado custo e que requer conhecimento técnico (Fan; Zhang, 2018).

CONCLUSÃO

A utilização da ressonância magnética nuclear permite a obtenção de informações com precisão e detalhamento, entretanto novas pesquisas são necessárias para o desenvolvimento da técnica, determinação de parâmetro para diferentes culturas e redução dos custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABASI, S.; MINAEI, S.; JAMSHIDI, B.; FATHI, D. Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v.78, p.197-205, 2018.
- (2) AMARO JÚNIOR, E.; YAMASHITA, H. Aspectos básicos de tomografia Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância computadorizada e ressonância magnética. **Rev Bras Psiquiatr**, v. 23I, n. 2, 2001.

- (3) CAO, R., LIU, X., LIU, Y., ZHAI, X., CAO, T., WANG, A.; QIU, J. Applications of nuclear magnetic resonance spectroscopy to the evaluation of complex food constituents. **Food Chemistry**, v. 342, e.128258, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128258>
- (4) CAO, R., ZHAO, Y., ZHOU, Z.; ZHAO, X. Enhancement of the water solubility and antioxidant activity of hesperidin by chitoooligosaccharide. **Journal of the Science of Food & Agriculture**, v. 98, n. 6, p. 2422–2427, 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8734>.
- (5) COLNAGO, L.A.; SAAB, S.C.; FORATO, L.A.; SILVA, W.T.L.; BERNARDES-FILHO, R.; MARTIN-NETO, L. Aplicações da ressonância magnética nuclear e eletrônica no agronegócio. Capítulo 4. p.127-149. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1031076/1/cap4.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- (6) DAR, A. H.; MAKROO, H. A.; SHAH, S.; KHAN, S. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy for Quality Determination of Fruits and Vegetables. In: **Sensor-Based Quality Assessment Systems for Fruits and Vegetables**. 1ed. Apple Academic Press, 2020. 32p.
- (7) DU, Z.; ZENG, X.; LI, X.; DING, X.; CAO, J.; Jiang, W. Recent advances in imaging techniques for bruise detection in fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 133-141, 2020.
- (8) ERNST, R.R; BODENHAUSEN, G.; WOKAUN, A. Principles of nuclear magnetic resonance in one and two dimensions. **Physics Today**, v. 42, n. 7, 1987, p. 75-76, [https://doi.org/10.1016/0730-725x\(88\)90413-4](https://doi.org/10.1016/0730-725x(88)90413-4)
- (9) FAN, K.; ZHANG, M. Recent developments in the food quality detected by non-invasive nuclear magnetic resonance technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 14, p. 2202-2213, 2018.
- (10) FERREIRA, J. S. **Estimativa da atividade enzimática em amostras comerciais de mandioca utilizando ressonância magnética nuclear no domínio do tempo (TD-NMR) e modelos quimiométricos**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2018.
- (11) FLORES, D. W. M. **Ressonância magnética nuclear no domínio do tempo, infravermelho próximo e ciência de dados para análise de citros**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2020.
- (12) FLORES, D. W. M.; BIZZANI, M.; COLNAGO, L. A. **Fundamentos e aplicações da ressonância magnética nuclear (RMN) em baixo campo em pós-colheita de frutas e hortaliças**, p. 236-244, 2019.
- (13) GONSALVES, A. M. A. R.; MELO, T. M. Y. D. **Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear**. Editora: Coimbra, 2007.
- (14) HAN, M. Y.; WANG, P.; XU, X. L.; ZHOU, G. H. Low-field NMR study of heatinduced gelation of pork myofibrillar proteins and its relations hip with microstructural characteristics. **Food Research International**, v. 62, p. 1175–1182, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.062>.
- (15) HATZAKIS, E. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy in Food Science: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 1, p. 189-220, 2019.
- (16) HOU, X.; WANG, G.; WANG, X.; GE, X.; FAN, Y.; NIE, S. Convolutional neural network based approach for classification of edible oils using low-field nuclear magnetic resonance. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, 2020, Article 103566, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103566>
- (17) LV, W.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; LI, L.; WANG, Y. Smart NMR Method of Measurement of Moisture Content of Vegetables During Microwave Vacuum Drying. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, p. 2251-2260, 2017.
- (18) MARCONE, M. F., WANG, S.; ALBABISH, W.; NIE, S.; HILL, A. Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 729–747, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.046>
- (19) MAZZOLA, A. A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 117-29, 2009.
- (20) MENEGAZZO, I.; MAMMI, S.; SGARBOSSA, P.; BARTOLOZZI, A.; MOZZON, M.; BERTANI, R.; FORZAN, M.; SUNDARARAJAN, R.; SIENI, E. Time Domain Nuclear Magnetic Resonance (TD-NMR) to evaluate the effect of potato cell membrane electroporation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 65, e102456, 2020.
- (21) MIAW, C. S. W.; SANTOS, P. M.; SILVA, A. R. C.; GOZZI, A.; GUIMARÃES, N. C. C.; CALLAO, M. P.; RUISÁNCHEZ, I.; SENA, M. M.; SOUZA, S. V. C. Comparison of different

- multivariate classification methods for the detection of adulterations in grape nectars by using low-field nuclear magnetic resonance. **Food Analytical Methods**, v. 13, p. 108-118, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01522-7>
- (22) PINTO, V.; ANJOS, M. M.; PINTO, N. S.; LIÃO, L. M. Analysis of thermal degradation of Brazilian palm oil by quantitative ^1H NMR and chemometrics. **Food Control**, v. 130, e108406, 2021.
- (23) QIAO, S.; TIAN, Y.; SONG, P.; HE, K.; SONG, S. Analysis and detection of decayed blueberry by low field nuclear magnetic resonance and imaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 156, e110951, 2019.
- (24) RENO, J. P.; BELTON, P. S.; WEBB, G. A. Magnetic resonance in food science: An exciting future. **Royal Society of Chemistry**, p. 83-91, 2011. <https://doi.org/10.1039/9781849732994>
- (25) ROTONDO, A.; SALVO, A.; GALLO, V.; RASTRELLI, L.; DGO, G. Quick unreferenced NMR quantification of Squalene in vegetable oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 11, e1700151, 2017.
- (26) SALVO, A.; ROTONDO, A.; MANGANO, V.; GRIMALDI, M.; STILLITANO, I.; D'URSI, A. M.; DUGO, G.; RASTRELLI, L. High-resolution magic angle spinning nuclear magnetic resonance (HR-MAS-NMR) as quick and direct insight of almonds. **Natural Product Research**, v. 34, n. 1, p. 71-77, 2019.
- (27) SRIVASTAVA, A. K.; DEV, A.; KARMAKAR, S. Nanosensors and nanobiosensors in food and agriculture. **Environmental Chemistry Letters**, v. 16, p. 161-182, 2018.
- (28) TAVARES, L. A.; FERREIRA, A. G. Análises quali e quantitativa de cafés comerciais via ressonância magnética nuclear. **Quim. Nova**, v. 29, n. 5, p. 911-915, 2006.
- (29) TRUZZI, E.; MARCHETTI, L.; BENVENUTI, S.; FERRONI, A.; ROSSI, M. C.; BERTELLI, D. Novel Strategy for the Recognition of Adulterant Vegetable Oils in Essential Oils Commonly Used in Food Industries by Applying ^{13}C NMR Spectroscopy. **J. Agric. Food Chem.**, v. 69, p. 8276–8286, 2021.

Recebido: 24 de junho de 2024

Versão Final: 05 de agosto de 2024

Aprovado: 04 de novembro de 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.