



QUANTIFICAÇÃO PROTEICA DE GRÃOS DE MILHETO UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Ana Carolina F. E SILVA^{1*}; Flávio D. TARDIN²; José Angelo N. M. JUNIOR²; Thais F. SILVA³; Marcos Paulo M. JÚLIO⁴; Jamilly C. VALADARES⁴; Ruan C. SILVA⁴; Maria Lucia F. SIMEONE²

¹Graduanda, Engenharia de Alimentos/ Universidade Federal de São João Del Rei e estagiária, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Milho e Sorgo.

²Pesquisador(a), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Milho e Sorgo.

³Mestranda, Engenharia de Alimentos/ Universidade Federal de São João Del Rei.

⁴Bolsista CNPq/Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Milho e Sorgo.

*anafonseca.cs@gmail.com

RESUMO: O milheto (*Cenchrus americanus*) destaca-se como um cereal integral de alto valor proteico e estratégico para a segurança alimentar, demandando métodos analíticos rápidos para sua padronização industrial. O objetivo deste trabalho foi quantificar o teor de proteína em 251 amostras de grãos de milheto, provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Milho e Sorgo, utilizando Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) associada à quimiometria. Os espectros foram processados via segunda derivada e o modelo de calibração foi construído pelo método de Mínimos Quadrados Parciais (PLS), utilizando 168 amostras para calibração e 83 para validação externa. Os teores de proteína variaram de 12,79% a 21,05%, evidenciando a superioridade nutricional do grão e variabilidade genética dentro da espécie. O modelo PLS apresentou alto desempenho com 6 fatores e 97% da variância explicada, obtendo um coeficiente de determinação R^2 de 0,9654 e RMSEC de 0,26% na calibração, enquanto a validação externa apresentou R^2 de 0,9343 e RMSEP de 0,35%. Os resultados demonstram que a combinação NIR-PLS é uma ferramenta rápida, eficaz e não destrutiva para a predição precisa do teor proteico, viabilizando o controle de qualidade e a caracterização tecnológica do milheto na cadeia produtiva humana.

Palavras-chave: milheto; espectroscopia NIR; quimiometria; teor de proteína; *Cenchrus americanus*.

INTRODUÇÃO

O milheto, cientificamente reclassificado como *Cenchrus americanus* (sinonímia *Pennisetum glaucum*), é uma gramínea amplamente reconhecida por sua rusticidade e eficiência hídrica. No cenário brasileiro, pesquisadores da Embrapa milho e sorgo destacam que a cultura ocupa um papel fundamental na sustentabilidade agrícola, sendo a principal espécie utilizada para cobertura de solo no sistema plantio direto (SPD) em regiões de cerrado, devido à sua capacidade de reciclar nutrientes e produzir elevada biomassa mesmo em condições de estresse hídrico (PIRES et al., 2017). Entretanto, o potencial desta cultura ultrapassa o manejo agrícola; o grão apresenta características químicas e tecnológicas que o posicionam como uma alternativa estratégica para a bioeconomia e a segurança alimentar.

Historicamente negligenciado para o consumo humano no Brasil, o milheto recebeu um novo marco regulatório com a RDC 493/2021 da ANVISA, que o autorizou como cereal integral. Do ponto de vista da engenharia de alimentos, esta autorização é sustentada por um perfil nutricional robusto. Estudos da Embrapa agroindústria de alimentos demonstram que o milheto possui teores de proteína variando entre 12% e 15%, superando cereais tradicionais como o milho e o arroz. Além disso, o grão é uma fonte densa de minerais como ferro, zinco e magnésio, e possui um balanço de aminoácidos essenciais superior, com destaque para os níveis de triptofano e treonina. Sua natureza intrínseca de ser isento de glúten torna-o um ingrediente de alto valor agregado para o desenvolvimento de produtos

destinados a consumidores com restrições alimentares ou que buscam alimentos funcionais com baixo índice glicêmico (PADOVANI et al., 2021).

Contudo, a transição do milheto do campo para a indústria de alimentos enfrenta o desafio da padronização e do controle de qualidade rigoroso. Os métodos de bromatologia clássica, embora precisos, são onerosos, demandam tempo e geram resíduos químicos, o que limita sua aplicação em larga escala em fluxos industriais dinâmicos. Diante desse gargalo, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) apresenta-se como a tecnologia de vanguarda para a caracterização rápida e não destrutiva de matérias-primas. Conforme preconizado em protocolos de inovação tecnológica da Embrapa, a técnica NIR, aliada a modelos quimiométricos, permite a predição simultânea de parâmetros críticos como umidade, proteínas, lipídeos e cinzas. O desenvolvimento dessas calibrações específicas para a espécie *C. americanus* é, portanto, o elo necessário para garantir a eficiência analítica e a viabilidade econômica do grão na cadeia produtiva humana, promovendo uma indústria de alimentos mais sustentável e tecnologicamente avançada.

O objetivo desse trabalho foi quantificar o teor de proteína utilizando dados de Espectroscopia NIR e Quimiometria.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de grãos foram obtidas de 251 genótipos provenientes do BAG e do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG.

As análises de referências para o teor de proteína foram obtidas via modelos multi cereais baseados na metodologia de combustão para determinação do teor de N em %. O teor de N foi multiplicado pelo fator 6.25 para obtenção do teor de proteína.

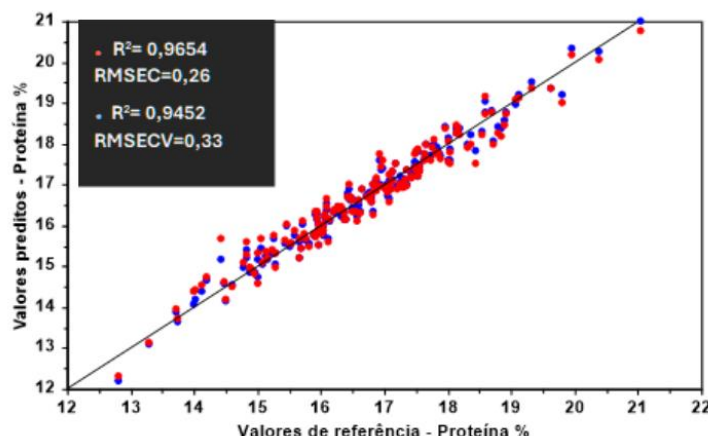
Os espectros dos grãos foram obtidos em equipamento NIR Flex 500, tratados usando o software Unscrambler® 10.3 para pré processamento dos dados utilizando a derivada segunda. Um modelo foi construído utilizando o método de Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para quantificar o teor de proteínas nos grãos de milheto. O conjunto de calibração consistiu em dois terços das amostras (168) e o de validação um terço das amostras (83).

Os indicadores estatísticos (ASTM International, 2012) utilizados para avaliar o desempenho e validação dos modelos foram: raiz quadrada do erro médio de calibração – RMSEC (*Root Mean Squared Error of Calibration*); raiz quadrada do erro médio de validação cruzada – RMSECV (*Root Mean Squared Error of Cross Validation*); raiz quadrada do erro médio de predição – RMSEP (*Root Mean Squared Error of Prediction*); e o coeficiente de determinação para o conjunto de calibração e validação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

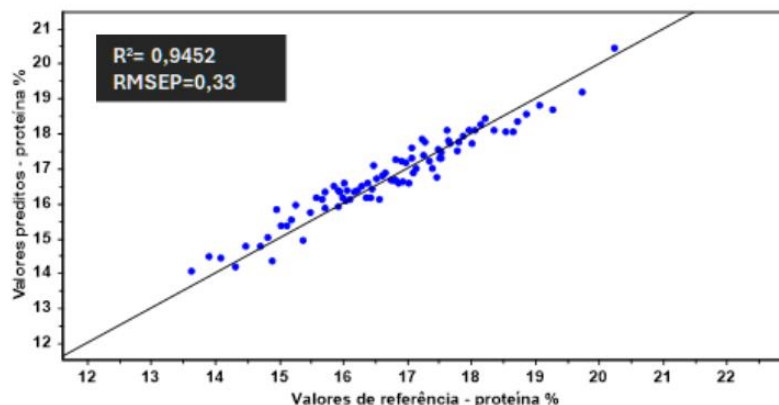
O teor de proteína nos grãos de milheto variou de 12,79 a 21,05 %. O modelo PLS, com 6 fatores e 97% da variância explicada, demonstrou uma ótima correlação entre os dados de referência e os dados preditos com R^2 de 0,9654%, erro de 0,26% e validação cruzada com R^2 de 0,9452% e RMSECV de 0,33%, conforme observado na Figura 1.

Figura 1 - Valores de referência versus valores preditos em porcentagem para o teor de proteína das amostras de grãos de milheto para o conjunto de amostras de calibração (azul) e validação cruzada (vermelho).



A eficiência do modelo foi avaliada pela previsão dos resultados para o conjunto de validação de amostras de grãos de milho. Assim RMSEP encontrado para proteína foi de 0,35% e obteve-se R^2 de 0,9343% (Figura 2).

Figura 2 – Valores de referência versus valores preditos em porcentagem para o teor de proteína das amostras de grãos de milho para o conjunto de amostras de validação externa.



De acordo com a literatura o milho consolida-se como uma fonte proteica de alta qualidade para a dieta humana. Nutricionalmente, ele se posiciona estrategicamente: embora contenha menos proteínas do que leguminosas (como soja e ervilha), ele supera cereais amplamente consumidos, como arroz, milho e sorgo (BAI et al., 2024). Além de possuir um equilíbrio de aminoácidos essenciais próximo ao padrão ideal (SINGH et al., 2024), o milho atua como um alimento funcional, com estudos comprovando o potencial de suas proteínas e peptídeos na prevenção de doenças como o diabetes mellitus e em outras aplicações biomédicas (PEI et al., 2022).

Os resultados obtidos sobre teor de proteína em grãos de milho demonstram que a combinação NIR – PLS fornece uma maneira rápida, eficaz, barata e não destrutiva para determinação de proteína em grãos de milho.

CONCLUSÃO

O uso da espectroscopia no infravermelho próximo, associada a métodos de calibração multivariada (PLS), possibilitou o desenvolvimento de um método rápido e não destrutivo para a análise do teor de proteína em grãos de milho. Os resultados indicam que os modelos desenvolvidos foram capazes de fornecer resultados confiáveis e possibilitaram avaliar o teor de

proteína em diferentes genótipos de milho, variando de 12,79 a 21,05%. Estes dados destacam o valor nutricional do milho e a eficácia da NIRS como ferramenta rápida e não destrutiva, abrindo caminho para futuras pesquisas que explorem e ampliem essas descobertas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa (Projeto Ideare 20.23.01.010.00.00) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (Projeto APQ 01275-22) pelos recursos financeiros aportados. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de pesquisa. Ao professor Dr. Washington Azevedo da Silva, orientador de estágio pela Universidade Federal de São João Del-Rei. Demais cientistas, assistentes de pesquisa, estudantes de graduação e pós-graduação envolvidos com a pesquisa na Embrapa Milho e Sorgo.

REFERÊNCIAS

BAI, Y., ZHANG, Z., QIAO, J., Liu, X., GUO, S., WANG, G., ZHANG, T., ZHANG, G., Ren, G., ZHANG, L. & ZHANG, L. (2024). **Establishment of nearinfrared rapid prediction model and comprehensive evaluation model for foxtail millet quality**. Journal of Food Composition and Analysis, 136, Artigo 106769. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106769>

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 493, de 15 de abril de 2021**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos alimentos contendo cereais integrais. Brasília, DF: ANVISA, 2021.

EMBRAPA. **Milho: um grão estratégico para a segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 05 maio 2026.

FERREIRA, M. et al. **Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) aplicada à caracterização de cereais e grãos: inovação e sustentabilidade analítica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. (Documentos, 210).

PADOVANI, N. M. et al. **Caracterização nutricional e funcional do milho (*Cenchrus americanus*) para o mercado de alimentos integrais**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2021.

PEI, J. UMAPATHY, V.R. VENGADASSALAPATHY, S. HUSSAINSF, J. RAJAGOPAL, P. JAYARAMAN, S. VEERARAGHAVAN, V.P. PALANISAMY, C.P. GOPINATH, K. **A Review of the Potential Consequences of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) for Diabetes Mellitus and Other Biomedical Applications**. Nutrients. 2022 Jul 18;14(14):2932. doi: 10.3390/nu14142932.

PIRES, F. R. et al. **Manejo e potencial produtivo do milho no sistema plantio direto em regiões de Cerrado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017.

SILVA, A. C. **Efeito do processamento de milho na qualidade proteica e saúde**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

SINGH, S., YADAV, D., BECKMANN, M., NAVEEN, A., GANGASHETTY, P. I., MUR, L. A. J., & YADAV, R.S. (2024). **Variation in protein and amino acids in global collection of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) germplasm**. Journal of Food Composition and Analysis, 134, Artigo 106557. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106557>