

Espectroscopia no Infravermelho Próximo como Método Alternativo para Detecção de *Sitophilus zeamais* em Milho

*Edislane de Araújo Souza*¹; *Maria Lúcia Ferreira Simeone*²; *Marcus Vinicius Rodrigues Matos*³; *Artur de Souza Mamedes*⁴; *Ezequiel Garcia de Souza*⁵; *Felipe Machado Trombete*⁶, *Marco Aurélio Guerra Pimentel*⁷

RESUMO

O trabalho explora a aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) na detecção de insetos em grãos de milho, com foco em infestações causadas por *Sitophilus zeamais*. O estudo usou grãos infestados com diferentes densidades de insetos e construiu um modelo de análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA) para classificar a qualidade do milho com base na presença de insetos. A abordagem não destrutiva da NIRS mostrou uma ótima separação, com 100% de acerto entre amostras infestadas e não infestadas, validando sua precisão na identificação de alta infestação. A correlação entre valores previstos pelo modelo e referências foi robusta. A aplicação da técnica de NIRS, associado a um modelo PLS-DA, se mostra uma ferramenta eficaz para detectar insetos em grãos, oferecendo uma alternativa prática e precisa para avaliar a qualidade do milho e melhorar a detecção de pragas em produtos agrícolas.

Palavras-chave: NIR; Caruncho do milho; Grãos carunchados; Métodos multivariados.

¹Estudante de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ). Sete Lagoas, MG.

²Pesquisadora Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

³Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ). Sete Lagoas, MG.

⁴Estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ), Sete Lagoas, MG.

⁵Estudante de Doutorado em Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG.

⁶Professor de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ). Sete Lagoas, MG.

⁷Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. E-mail: marco.pimentel@embrapa.br

INTRODUÇÃO

Os cereais assumem papel fundamental como fonte primária de alimento e insumo para a criação de animais (SCOLARI, 2006), o que ressalta a importância de se evitar perdas econômicas através da prevenção de infestações e demais contaminantes na pós-colheita. Apesar dos esforços neste sentido, as infestações causadas por insetos podem resultar em perdas substanciais em grãos durante a armazenagem (LORINI, 2018a).

O manejo destes insetos na massa de grãos, envolve a correta identificação e monitoramento das infestações, o que é uma premissa do Manejo Integrado de Pragas de Grãos Armazenados (MIP-Grãos) (LORINI, 2018b). A identificação e detecção de infestações é importante também na definição de qualidade de um lote de grãos, no momento da comercialização, recebimento e expedição do produto das unidades de armazenamento e processamento (CANEPPELE et al., 2003). Para identificar a presença de insetos e outros contaminantes em grãos, métodos de detecção eficazes são cruciais, principalmente se anteriormente foram armazenados em condições inadequadas, o que pode levar a perdas significativas, principalmente devido a infestações de insetos. Entre as espécies de maior importância econômica que infestam grãos armazenados, o caruncho do milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) é a principal espécie responsável por tais prejuízos (LORINI, 2018a).

As técnicas utilizadas para identificação de infestações em grãos consistem na observação manual, seja de orifícios de saída de adultos após emergência, de marcas de galerias nos grãos, ou pela observação da presença de insetos adultos numa massa de grãos. No entanto, estes métodos podem gerar falhas de diagnóstico, devido ao ciclo de vida do inseto, onde as fases larvais e de pupa pode estar em desenvolvimento internamente nos grãos (LORINI, 2018a), dificultando a visualização e dispendendo métodos onerosos e demorados, como corte de grãos para visualização interna. A espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), combinada com métodos quimiométricos, surge como uma ferramenta analítica eficaz para análise de alimentos, produtos farmacêuticos e agrícolas (PASQUINI, 2003; TIBOLA et al., 2018; SANTOS et al., 2019). Essa técnica se baseia na absorção única de energia NIR por compostos químicos específicos, permitindo a detecção de propriedades como umidade, proteínas e lipídios. No entanto, a detecção de diferentes espécies de insetos por NIRS não foi amplamente explorada (DOWELL et al., 2014; TIBOLA et al., 2018).

Em termos de manejo de pragas em grãos, a identificação precisa e automatizada de insetos-praga é crucial para a tomada de decisões. A legislação estabelece limites máximos de tolerância para insetos em grãos armazenados e produtos derivados, e para os processos de classificação de grãos (BRASIL, 2011, 2012, 2014). A espectroscopia NIRS oferece uma abordagem promissora para a rápida detecção de insetos, e permite uma análise não destrutiva, contribuindo para a comercialização de produtos mais seguros e saudáveis (PEREZ-MENDOZA et al., 2003). O objetivo do trabalho foi desenvolver um método mais rápido e alternativo aos métodos de referência para a determinação da presença de *S. zeamais* em milho. Para isso, foi utilizada a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) associada a métodos quimiométricos. O método foi validado e associado

aos métodos convencionais, buscando otimizar as análises na rotina laboratorial.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG, utilizando grãos de cultivares comerciais de milho colhidos nos campos experimentais da Embrapa. As amostras de milho foram infestadas com insetos adultos de *S. zeamais*, recém-emergidos em quatro densidades populacionais (10, 25, 50 e 75 insetos adultos), visando classificar corretamente as amostras com infestação acima de 4%, conforme estabelecido em BRASIL (2011, 2012, 2014). Os diferentes níveis de infestação foram estabelecidos em frascos de vidro com 500 g de grãos milho, com 10 repetições por nível de densidade populacional. Após 10 dias de infestados, os insetos adultos foram removidos dos frascos. Para a preparação das amostras, após 50 dias da infestação inicial, para leitura das mesmas no NIR, os grãos de milho foram secos em estufa a 65°C até atingirem 12,32% de conteúdo de água (umidade). Os espectros dos grãos foram obtidos em um equipamento NIRFlex 500, Buchi, na região de 10.000 a 4.000 cm^{-1} .

Os espectros foram tratados usando o software Unscrambler® 10.3 para pré-processamento dos dados utilizando a padronização normal de sinal (SNV) e a derivada primeira. Um modelo foi construído utilizando o método de análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA) para classificar a qualidade do milho. O conjunto de amostras consistiu em 80 amostras (40 infestadas e 40 não infestadas), com 2/3 (54 amostras) utilizadas para treinamento e 1/3 (26 amostras) para validação do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros originais das amostras de milho foram coletados (Figura 1) e submetidos a pré-processamento, incluindo correção de espalhamento e deslocamentos de linha de base (Figura 2).

O modelo PLS-DA, com 7 fatores e 98,08% de variância explicada, demonstrou ótima separação entre as classes de amostras infestadas e não infestadas por *S. zeamais* (Figuras 3, 4 e 5). Destaca-se que todas as amostras de validação com infestação acima de 4% foram classificadas com 100% de acerto (Figura 6), validando a capacidade do modelo em identificar amostras com alta infestação.

Além disso, os resultados indicaram coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,9 para todas os constituintes avaliados, tanto para o conjunto de calibração quanto para o conjunto de validação. Isso revela uma forte correlação entre os valores previstos pelo modelo PLS-DA e os obtidos pelos métodos de referência, confirmando a robustez da abordagem.

Em síntese, os resultados demonstram que o método desenvolvido é altamente eficaz na classificação da qualidade do milho com base na presença de insetos, especialmente o *S. zeamais*. Resultados obtidos por SANTOS et al. (2019) demonstraram alta precisão, e precisão de 100% para a identificação de grãos infestados com *S. zeamais* em sorgo.

Esses resultados mostraram que a combinação de NIRS com PLS-DA fornece uma maneira rápida, eficaz e não invasiva de detectar infestação por insetos em grãos de milho. O modelo desenvolvido demonstrou alta precisão e veracidade, sugerindo sua viabilidade como abordagem alternativa. A implementação do modelo PLS-NIR tem o potencial de agilizar a identificação de insetos em grãos de milho, otimizando as análises laboratoriais (PEREZ-MENDOZA et al., 2003; DOWELL et al., 2014). Essa técnica, que se mostrou eficaz para avaliar a qualidade do milho, considerando as cultivares e condições de produção nacionais, e pode ser adaptada para outras aplicações, com grande potencial de melhorar a detecção de pragas, associado às análises de composição química dos grãos, contribuindo para a segurança e qualidade dos produtos agrícolas.

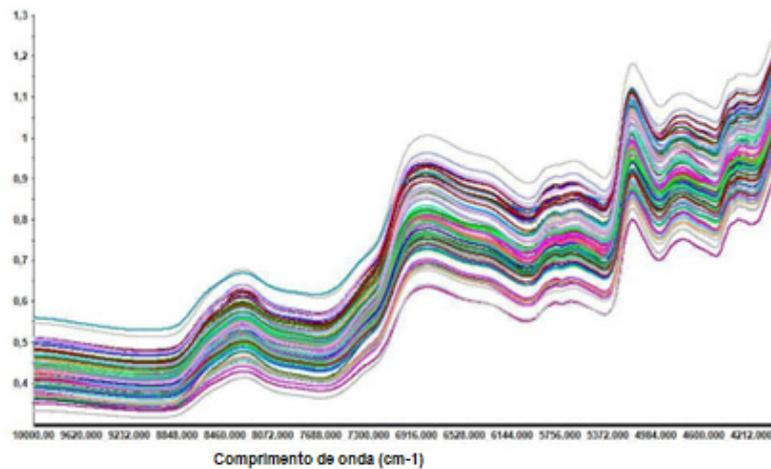


Figura 1. Espectros originais obtidos pela coleta dos espectros NIR das amostras de milho.

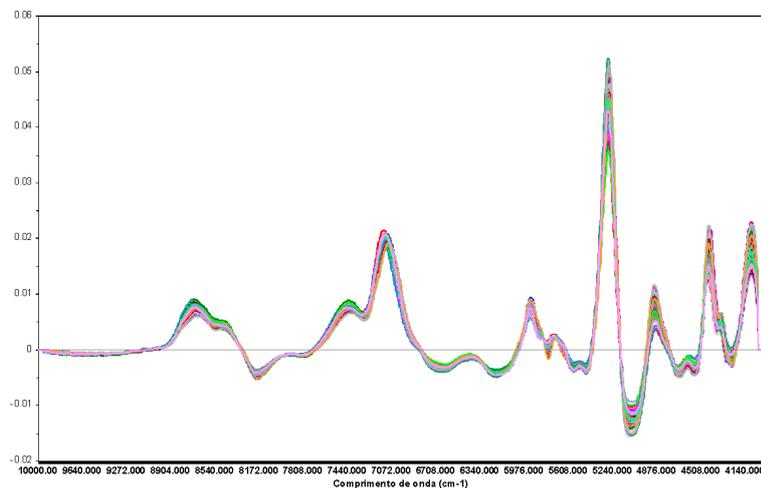


Figura 2. Espectros pré-processados por padronização normal do sinal (SNV) e derivada primeira

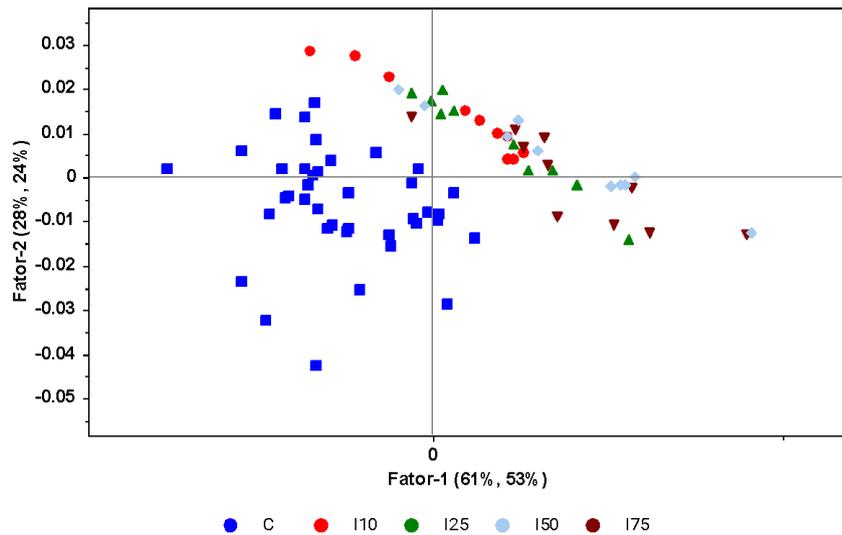


Figura 3. Gráfico de scores para a classificação por PLS-DA das amostras de milho infestadas com 10 (I10), 20 (I25), 50 (I50) e 75 (I75) insetos e não infestadas (controle – C) com *Sitophilus zeamais*.

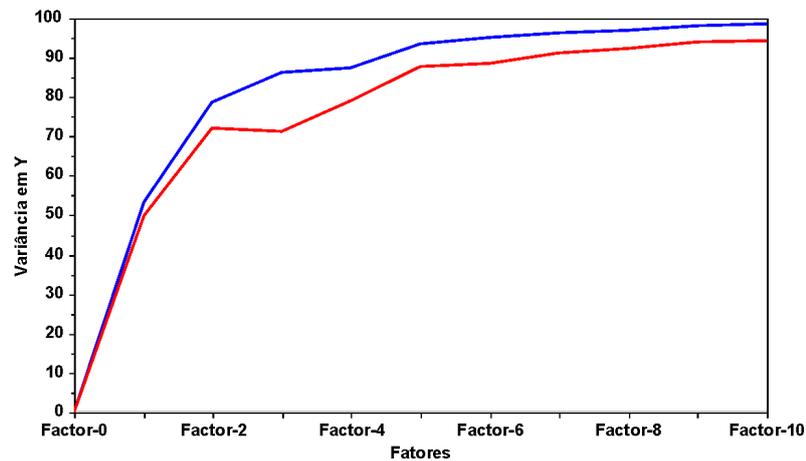


Figura 4. Variância explicada para a classificação por PLS-DA das amostras de milho infestadas e não infestadas com *Sitophilus zeamais*, calibração (azul) e validação cruzada (vermelho).

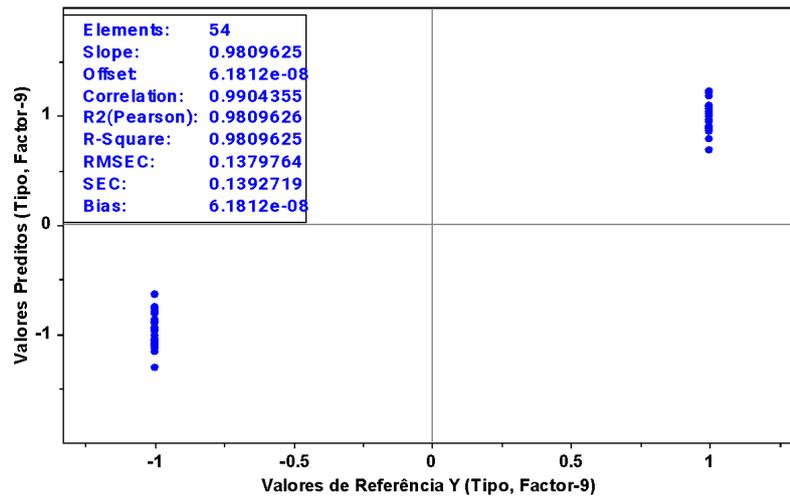


Figura 5. Classificação por PLS-DA para o conjunto de treinamento das amostras de milho infestadas (+1) e não infestadas (-1) com *Sitophilus zeamais*.

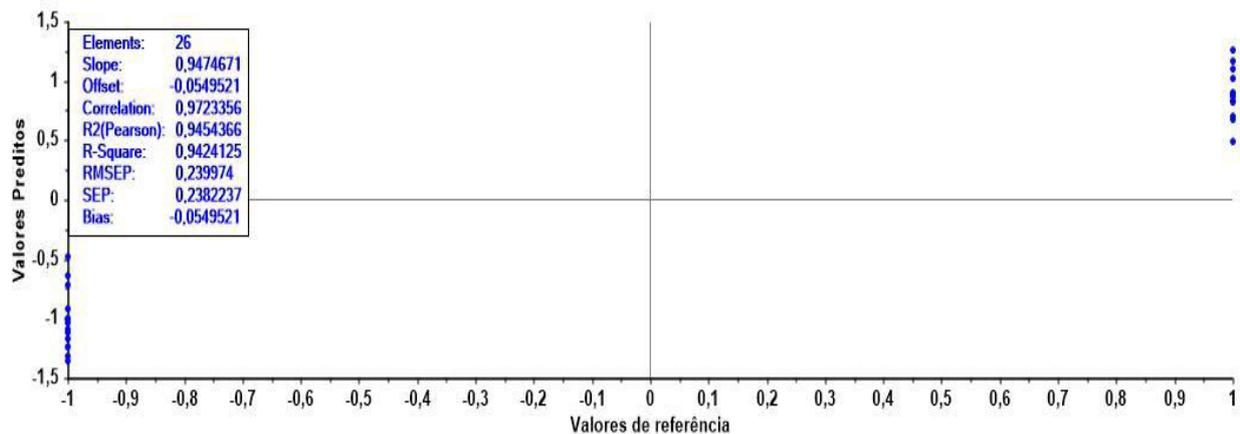


Figura 6. Classificação por PLS-DA das amostras de milho infestadas (+1) e não infestadas (-1) com *Sitophilus zeamais* para o conjunto de validação externa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. **Estabelece o Regulamento Técnico do Milho**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 246, 23 dez. 2011. Seção 1, p. 3-5.

BRASIL. Instrução Normativa nº 18, de 4 de julho de 2012. **Altera os incisos IV e VI do art. 25 e o art. 31, todos da Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 129, 5 jul. 2012. Seção 1, p. 10.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 14, de 28 de março de 2014. **Dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, seus limites de tolerância e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, 31-de março, 2014.

CANEPPELE, M. A. B.; CANEPPELE, C.; LÁZZARI, F. A.; LAZZARI, S. M. N. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47(4), p. 625-630. 2003.

DOWELL, F. E.; THRONE, J. E.; WANG, D.; BAKER, J. E. Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. **Journal of Economic Entomology**, v. 92, n. 1, 2014.

LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos e sementes armazenadas. In: **Armazenagem de grãos**, ed. I. Lorini, L. H. Miike, V. M. Scussel & L. R. D. Faroni. Instituto Biogeneziz - IBG, Jundiaí, SP, 2018a. p. 363-381.

LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. (Ed.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: IBG, 2018b. p. 659-692.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, p. 198-219, 2003.

PEREZ-MENDOZA, J.; THRONE, J. E.; DOWELL, F. E.; BAKER, J. E. Detection of insect fragments in wheat flour by near-infrared spectroscopy. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, p. 305–312. 2003.

SANTOS, P. M.; SIMEONE, M. L. F.; PIMENTEL, M. A. G.; SENA, M. M. Non-destructive screening method for detecting the presence of insects in sorghum grains using near infrared spectroscopy and discriminant analysis. **Microchemical Journal**, v. 149, p. 104057. 2019.

SCOLARI, D. D. G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. **Revista da Fundação Milton Campos**, Brasília, DF, v. 25, p. 09-86, 2006.

TIBOLA, C. S., MEDEIROS, E. P., SIMEONE, M. L. F., & OLIVEIRA, M. A. **Espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos**. Embrapa: Brasília, Brasil, 2018.