

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária*

Eventos Técnicos & Científicos

3

Junho, 2024

RESUMOS EXPANDIDOS

39^a Reunião de Pesquisa de Soja

**26 e 27 de junho de 2024
Londrina, PR**

*Embrapa Soja
Londrina, PR
2024*

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta
Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000
Fax: (43) 3371 6100
www.embrapa.br/soja
https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Embrapa Soja

Presidente: *Adeney de Freitas Bueno*

Secretário-executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Claudine Dinali Santos Seixas, Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Fernando Augusto Henning, Ivani de Oliveira Negrão Lopes, Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Maria Cristina Neves de Oliveira, Mônica Juliani Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Edição executiva: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

Normalização: *Valéria de Fátima Cardoso*

Diagramação: *Marisa Yuri Horikawa*

Organização da publicação: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite, Claudine Dinali Santos Seixas*

1ª edição

Publicação digital: PDF

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Embrapa.

É de responsabilidade dos autores a declaração afirmando que seu trabalho encontra-se em conformidade com as exigências da Lei nº 13.123/2015, que trata do acesso ao Patrimônio Genético e ao Conhecimento Tradicional Associado.

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Reunião de Pesquisa de Soja (39. : 2024 : Londrina, PR).

Resumos expandidos 39ª Reunião de Pesquisa de Soja, Londrina, PR, 26 e 27 de junho de 2024

-- Londrina : Embrapa Soja, 2024.

PDF (195 p.) -- (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, ISSN 0000-0000 ; 3).

1. Soja. 2. Pesquisa agrícola. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 633.34072

ESTIMATIVA DO POTÁSSIO FOLIAR NA CULTURA DA SOJA POR IMAGENS AÉREAS MULTISPECTRAIS

GONÇALVES, J. V. F.^(1,2); NANNI, M. R.⁽¹⁾; CRUSIOL, L. G. T.⁽³⁾; SIBALDELLI, R. N. R.⁽³⁾;

FURLANETTO, R. H.⁽⁴⁾; OLIVEIRA JUNIOR, A. DE⁽³⁾; CASTRO, C. DE⁽³⁾; OLIVEIRA, F. A. DE⁽³⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR; ⁽²⁾Auburn University; ⁽³⁾Embrapa Soja, Londrina, PR; ⁽⁴⁾University of Florida.

Introdução

O potássio é o nutriente aplicado em maior quantidade para a obtenção de altas produtividades na soja e a disponibilidade adequada desse nutriente no solo é fundamental para o metabolismo da soja, incluindo a formação dos nódulos, o desenvolvimento vegetativo, o potencial produtivo, a qualidade dos grãos e o vigor das sementes (Sacramento; Rosolem, 1998) desenvolveu-se o experimento em blocos casualizados com esquema fatorial 4 x 2 x 3 e três repetições a fim de estudar a influência da idade sobre as relações de eficiência (EAB, eficiência de absorção; EC, eficiência de conversão, e EUK, eficiência de utilização de potássio. O monitoramento dos teores foliares de potássio constitui-se em uma ferramenta precisa de avaliação do estado nutricional, que indica a eficiência da adubação e a necessidade de ajustes nas práticas de manejo, de modo a maximizar a produtividade da soja.

No contexto atual de avanços tecnológicos, a agricultura de precisão emerge com ferramentas promissoras para aprimorar a gestão de insumos agrícolas (Klerkx et al., 2019). O uso de sensores como ferramentas de análise não destrutiva do estado nutricional das plantas intensifica o volume de dados coletados em diferentes fases do desenvolvimento da lavoura e a aplicação de modelos matemáticos para o processamento dessas informações, correlacionando-as com análises químicas, apresenta grande potencial para diagnóstico e predição das classes de disponibilidade de potássio foliar com acurácia e assertividade, viabilizando intervenções de manejo nas fases mais críticas para a cultura da soja.

A hipótese deste trabalho é que essas tecnologias possam identificar o estado nutricional de potássio na cultura da soja. Assim, o objetivo foi avaliar o uso de câmera multispectral embarcada em drone e o processamento dos dados por meio de modelos de regressão múltipla, para prever o teor foliar de potássio na cultura da soja.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido durante a safra 2022/2023 na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, localizada em Londrina, PR. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos completos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos variaram quanto às doses de potássio, de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se a fonte cloreto de potássio (60% K₂O), aplicada de forma parcelada na semeadura (40 kg ha⁻¹ de K₂O) e a diferença, de acordo com os tratamentos, em cobertura. Cultivou-se soja em parcelas de 12 m². A semeadura mecanizada da cultivar BRS 1061 IPRO foi realizada em 04/11/2022, visando uma população de 260.000 plantas.

Foram realizadas amostragens de folhas para caracterização do estado nutricional aos 63, 75 e 94 dias após a semeadura (DAS), correspondentes aos estádios V10, R3 e R5.1, respectivamente. A determinação de potássio foliar foi realizada empregando-se a espectrofotometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), conforme Silva (1999).

A aquisição de imagens do dossel de cada parcela foi realizada com o drone Nuvem modelo Spectral 2, equipado com a câmera Altum-pt (Micasense®), que possui bandas espectrais centrais em Azul (475 nm), Verde (560 nm), Vermelho (668 nm), *Red-Edge* (717 nm) e Infravermelho próximo (NIR 842 nm). Os voos foram realizados à altura de 50 metros nos dias de coleta das

amostras, alcançando uma resolução espacial de 2,53 cm. A correção radiométrica e a geração dos ortomosaicos foram feitas no software Metashape, e o software QGIS 3.14 foi utilizado para extrair os valores médios de reflectância para cada banda espectral, além de permitir o cálculo do índice NDVI ().

Utilizando o software Rstudio®, aplicou-se a análise de variância do K foliar em função do fator tratamento e do fator estágio de desenvolvimento. Posteriormente, construiu-se um gráfico de correlação de Pearson entre as bandas espectrais e o NDVI (variáveis X) e o K foliar (variável Y). Foi ajustado um modelo linear inicial com todas as bandas espectrais e o NDVI, consequentemente, foi reajustado o modelo apenas com as bandas significativas a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferenças significativas nos teores foliares de potássio (K) entre os tratamentos e os estádios de desenvolvimento, com valores médios de 17,17^a em V10, 18,32^a em R3 e 11,52^b em R5.1, indicando uma variação significativa na absorção, no acúmulo e na redistribuição do nutriente pelas plantas. Os teores de K foliar variaram entre 4,75 g kg⁻¹ e 25,48 g kg⁻¹. Não foi observada interação significativa entre os tratamentos e os estádios de desenvolvimento.

Uma correlação significativa ($r = 0.53$) foi identificada entre o K foliar e a banda espectral NIR (Figura 1).

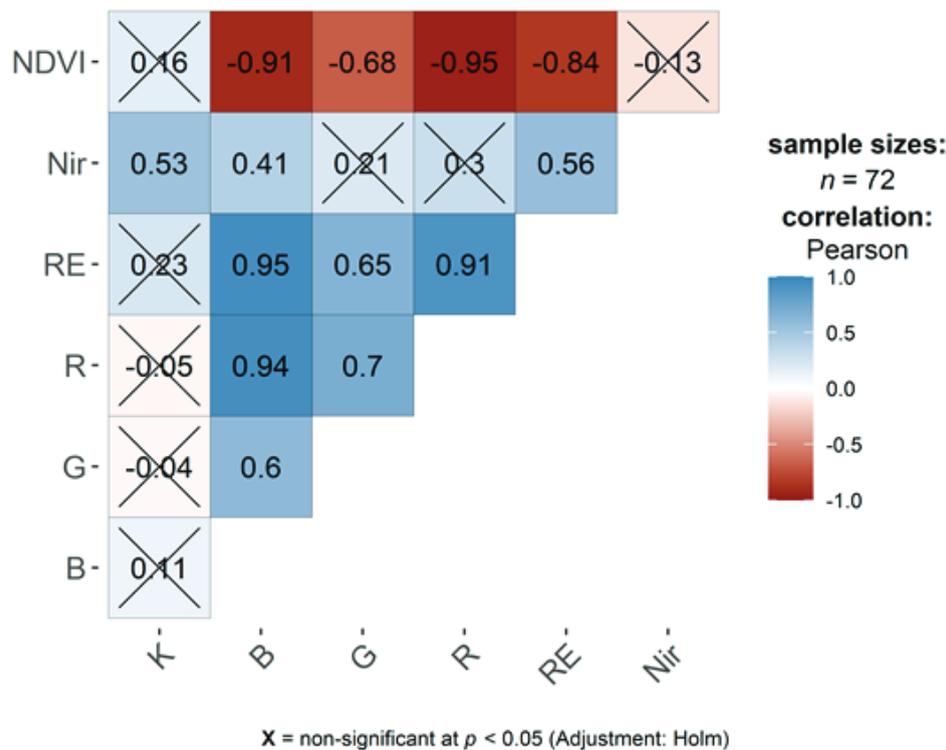


Figura 1. Matriz de correlação entre as bandas espectrais e o teor de K⁺ foliar medido em laboratório. X é a não significância a 5% de probabilidade pelo teste de Holm.

As folhas de soja saudáveis apresentam características específicas em termos de reflectância e absorção de luz, que são influenciadas pela presença de clorofila (Sun et al., 2021). Na banda verde do espectro, as folhas exibem alta reflectância porque a clorofila absorve mais luz azul e vermelho, o que contribui para a cor verde característica das plantas. A alta absorção da banda vermelho está associada à utilização dessa energia para a fotossíntese, um processo crucial

para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Esse comportamento é resultado da estrutura molecular da clorofila, que absorve eficientemente a luz nas regiões azul (400 nm-500 nm) e vermelha (600 nm-700 nm) do espectro, enquanto reflete mais luz na região verde (500 nm-600 nm) (Merzlyak et al., 2003). A deficiência de K, que causa o amarelecimento seguido de necrose nas bordas foliares (Mascarenhas et al., 1990), afeta diretamente o comportamento espectral da soja, indicando como a deficiência desse nutriente impacta as propriedades fisiológicas e espectrais das plantas.

A análise inicial do modelo que incluiu as bandas B, G, R, RE e NIR e o NDVI, demonstrou significância ($p < 0.001$). No entanto, apenas as bandas R e RE e o índice NDVI mostraram-se significativos ($p < 0.05$) na predição do teor de K foliar, com um R^2 ajustado de 0,477. Assim, o modelo final foi reajustado com as variáveis R, RE e NDVI, resultando numa assertividade de predição de aproximadamente 49%, aplicável às três épocas de amostragem (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo estatístico do modelo final de regressão linear.

Modelo selecionado				
Fórmula = K Foliar ~ R + RE + NDVI				
Resíduos:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-10,056	-2,833	0,867	2,464	6,864
Coeficientes:				
	Estimado	s	t-valor	Pr(> t)
Intercepto	-129,68	50,99	-2,54	0,013*
R	-391,79	193,77	-2,022	0,047*
RE	96,90	13,18	7,354	0,001***
NDVI	142,81	52,17	2,737	0,0079**
Significância **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 * 0,1 ' ' 1				
Resíduo do erro standardizado: 4,03 em 68 GL				
R^2 : 0,511, R^2 ajustado: 0,489				
Estatística F: 23,7 em 3 e 68 GL, p-valor: $1,35e^{-10}$				

R^2 ajustado = 0,489 RMSE = 3,918

$Y = -129,68 - 391,79 * R + 96,90 * RE + 142,81 * NDVI$

Conclusão

A utilização de imagens aéreas espectrais apresenta potencial estimar o estado nutricional do potássio na cultura da soja nos estádios V10, R3 e R5.1. Para o conjunto de dados analisados, foi ajustado um modelo de regressão múltipla significativo, utilizando as bandas espectrais do vermelho, *red-edge* e o NDVI pela fórmula .

Referências

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90-91, 100315, 2019.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C. de; OKANO, C.; TANAKA, R. T.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Immature opening of soybean pods related to climatic condition, soil acidity and potassium deficiency. **Better Crops International**, v. 6, n. 1, p. 10-11, 1990.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; SOLOVCHENKO, A. E.; POGOSYAN, S. I. Application of Reflectance Spectroscopy for Analysis of Higher Plant Pigments. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 50, n. 5, p. 704-710, 2003.

SACRAMENTO, L. V. S. D.; ROSOLEM, C. A. Eficiência de absorção e utilização de potássio por plantas de soja em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 57, p. 355-365, 1998.

SILVA, F. C. da (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

SUN, J.; YANG, L.; YANG, X.; WEI, J.; LI, L.; GUO, E.; KONG, Y. Using spectral reflectance to estimate the leaf chlorophyll content of maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, article 646173, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.646173/full>. Acesso em: 24 abr. 2024.