

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

**Eventos Técnicos  
& Científicos**

**001**

agosto, 2023

# RESUMOS EXPANDIDOS

## 38<sup>a</sup> Reunião de Pesquisa de Soja

23 e 24 de agosto de 2023  
Londrina, PR

Fernando Augusto Henning  
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite  
Editores Técnicos

Exemplares desta publicação podem ser obtidos na:

### **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, Edson Hirose, Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros França Neto, Leandro Eugênio Cardamone Diniz, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani Zavaflia Pereira e Norman Neumaier.*

Coordenadora de Editoração: *Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

Bibliotecária: *Valéria de Fátima Cardoso*

Editoração eletrônica e capa: *Marisa Yuri Horikawa*

### **1ª edição**

PDF digitalizado (2023).

*As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura e Pecuária.*

*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 (38. : 2023 : Londrina, PR)

Resumos expandidos [da] 38ª Reunião de Pesquisa de Soja / Fernando Augusto Henning, Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite, editores técnicos. – Londrina: Embrapa Soja, 2023.

PDF (220 p.) - (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, e-ISSN ; n. 1).

1. Soja. 2. Pesquisa agrícola. I. Henning, Fernando Augusto. II. Leite, Regina Maria Villas Bôas de Campos. III. Série.

CDD: 633.34072 (21. ed.)

# ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE SOJA POR BANDAS ESPECTRAIS COMPATÍVEIS COM SENSORES EM NÍVEL AÉREO (DRONE) E ORBITAL (SATÉLITE) E MODELOS *MACHINE LEARNING*

CRUSIOL, L. G. T.<sup>1</sup>; SIBALDELLI, R. N. R.<sup>2</sup>; NANNI, M. R.<sup>3</sup>; GONÇALVES, J. V. F.<sup>3</sup>; FURLANETTO, R. H.<sup>4</sup>; GONÇALVES, S. L.<sup>2</sup>; FOLONI, J. S. S.<sup>2</sup>; MERTZ-HENNING, L. M.<sup>2</sup>; NEPOMUCENO, A. L.<sup>2</sup>; NEUMAIER, N.<sup>2</sup>; FARIAS, J. R. B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolsista FAPED/Embrapa Soja, Londrina, PR, luiscrusiol@gmail.com; <sup>2</sup>Embrapa Soja; <sup>3</sup>Universidade Estadual de Maringá; <sup>4</sup>University of Florida.

## Introdução

O monitoramento das condições de desenvolvimento das lavouras de soja é de fundamental importância para subsidiar a implementação e aprimoramento de políticas públicas para mitigação de prejuízos causados em função de estresses ocorridos ao longo da safra, sobretudo por períodos de seca, um dos fatores que mais comprometem a estabilidade dos valores de produtividade da soja no Brasil (Battisti et al., 2018). Além disso, o conhecimento mais detalhado sobre a variabilidade da produtividade nas regiões produtoras pode auxiliar a adoção de práticas culturais específicas para cada local, o que garante maior sustentabilidade aos sistemas de produção, maximizando a exploração das áreas já cultivadas e minimizando a necessidade de abertura de novas áreas de produção.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto mostra-se eficiente para o monitoramento agrícola, permitindo a ágil aquisição de informações sobre as áreas de interesse, com possibilidade de mapeamento de extensas áreas em curto período, com custo relativamente baixo e de forma não destrutiva. Embora modelos de estimativa de produtividade sejam usualmente desenvolvidos para sensores em nível aéreo e orbital, a maior parte deles se baseia na relação direta em índices de vegetação e biomassa, e na relação indireta entre biomassa e produtividade, o que nem sempre traduz as reais condições de desenvolvimento das lavouras (Sakamoto, 2020). Assim, modelos espectrais gerados a partir de dados coletados em áreas experimentais, com uso simultâneo de diferentes bandas espectrais, apresentam potencial para, posteriormente, serem transferidos para sensores operados em nível aéreo e orbital, como drones e satélites, e aplicados em diferentes áreas de monitoramento (Crusiol et al., 2022).

O presente trabalho objetivou estimar a produtividade da soja por meio da resposta espectral da cultura em bandas espectrais compatíveis com sensores em nível aéreo e orbital utilizando algoritmos de aprendizado de máquinas (*machine learning*).

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Embrapa Soja, localizada no município de Londrina, PR. Os dados coletados nas safras 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019 foram analisados em delineamento experimental de blocos ao acaso com parcela subdividida com quatro tratamentos e quatro repetições. Nas parcelas, foram distribuídas quatro condições hídricas: irrigado (recebendo irrigação, mantendo o potencial matricial do solo entre -0,03 Mpa e -0,05 Mpa), não irrigado (recebendo apenas águas de chuva), déficit hídrico no período vegetativo e déficit hídrico no período reprodutivo. A indução do déficit hídrico ocorreu por meio de abrigos móveis programados para fecharem sempre que volumes de chuva superiores a 0,1 mm fossem registrados pela estação meteorológica localizada dentro da área experimental. Nas subparcelas, foram distribuídos cinco genótipos de soja com diferentes respostas à disponibilidade hídrica, sendo avaliados 10 genótipos nas três safras estudadas.

A reflectância foliar das plantas de soja foi coletada no estágio de desenvolvimento R5, em cada uma das safras avaliadas, por meio do espectrorradiômetro FieldSpec 3 Jr (*Analytical Spectral Devices*, Boulder, CO, USA), com resolução espectral de 3 nm entre 350 e 1400 nm e 30 nm entre 1400 e 2500 nm, disponibilizando a resposta hiperespectral em 2151 bandas espectrais. As curvas espectrais coletadas foram reamostradas para bandas espectrais compatíveis com os sensores Altum (Micasense Inc.), câmera multiespectral usualmente acoplada a drones; e o satélite Sentinel-2, o qual fornece imagens multiespectrais com resolução temporal de cinco dias. As bandas do sensor Altum utilizadas para reamostragem dos dados hiperespectrais foram: B1 (465-485 nm), B2 (550-570 nm), B3 (663-673 nm), B4 (712-722 nm) e B5 (820-860 nm). Para o sensor Sentinel-2, as bandas utilizadas foram: B2 (460-525 nm), B3 (542-577 nm), B4 650-680 nm), B5 (697-711 nm), B6 (733-747 nm), B7 (772-791 nm), B8 (780-884 nm), B11 (1568-1658 nm) e B12 (2115-2289 nm).

Para cada sensor avaliado, todos os valores de reflectância nas bandas espectrais compatíveis foram correlacionados aos valores de produtividade da soja em cada parcela experimental de cada safra avaliada ( $n = 224$ ), utilizando os algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*): *Support Vector Machines* (SVM), *Neural Network* (NN), *AdaBoost* (AB), *Gradient Boost* (GB), *Random Forest* (RF) e *k-Nearest Neighbors* (kNN). Os algoritmos foram implementados em linguagem de programação Python através da plataforma Orange Data Mining e os modelos obtidos foram comparados usando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear entre os valores observados e estimados na fase de validação cruzada, com a segmentação do conjunto de dados em dez subconjuntos (10 *k-fold*).

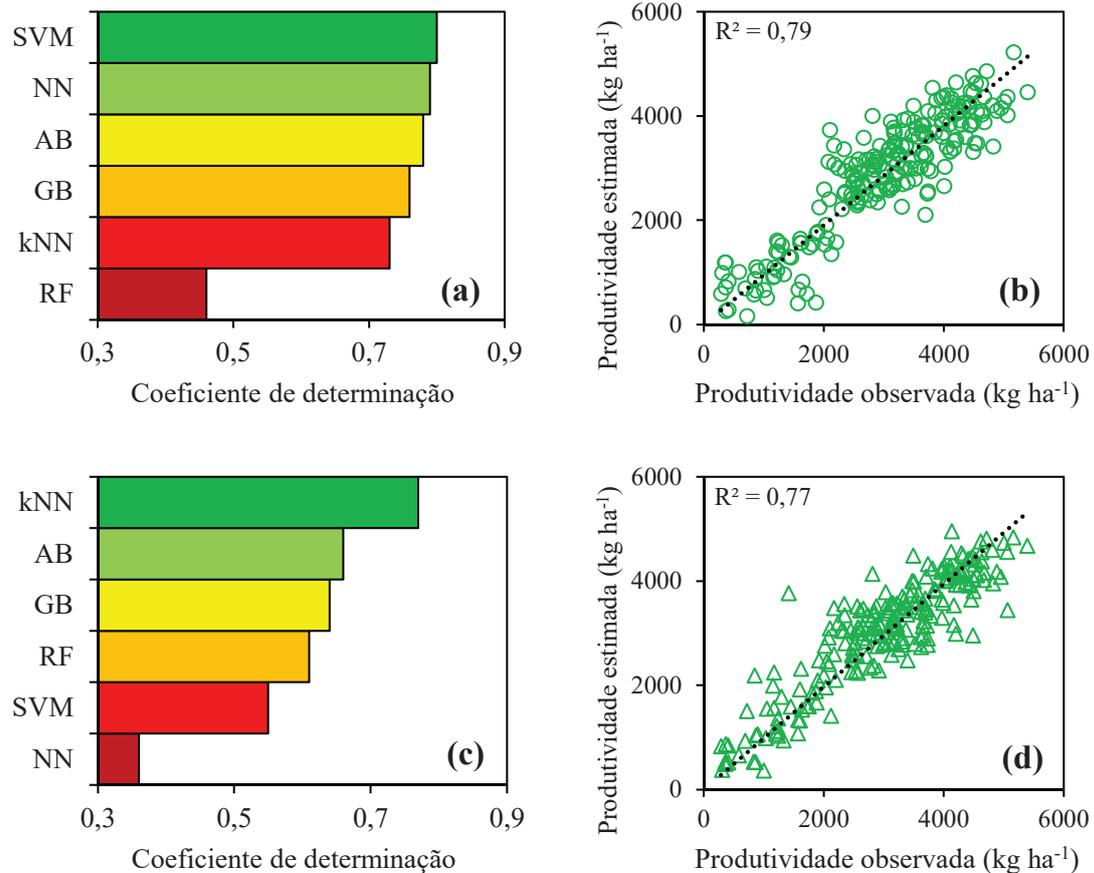
## Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos algoritmos avaliados para estimativa de produtividade de soja utilizando bandas espectrais compatíveis com o sensor Altum (a) e Sentinel-2 (c) e a regressão linear entre os valores observados e estimados pelo algoritmo de melhor performance para o sensor Altum (Neural Network - b) e Sentinel-2 (k-Nearest Neighbors - d).

Os resultados obtidos apontam para a elevada acurácia dos modelos utilizados na estimativa da produtividade da soja, cujos valores oscilaram entre 287 kg e 5398 kg ha<sup>-1</sup>. Usando bandas compatíveis com o sensor Altum, apenas o algoritmo Random Forest apresentou  $R^2$  inferior a 0,7. Já para o sensor Sentinel-2, apenas o algoritmo k-Nearest Neighbors apresentou  $R^2$  acima de 0,7. A diferença na acurácia entre os sensores avaliados pode estar associada à largura de suas bandas espectrais. Embora o sensor Sentinel-2 tenham um maior número de bandas (9) comparado ao sensor Altum (5), essas bandas apresentam maiores larguras, o que minimiza a detecção de feições espectrais em comprimentos de onda específicos.

A partir da regressão linear, passando pela origem ( $y = ax$ ) entre os valores observados e estimados, os algoritmos NN e kNN apresentaram coeficiente angular de 0,95 e 0,98 respectivamente e  $R^2$  igual a 0,79 e 0,77 respectivamente. Ressalta-se que o algoritmo SVM não foi utilizado para os dados compatíveis com o sensor Altum por ter estimado valores negativos de produtividade.

Para comparação, as acurácias dos resultados obtidos para o sensor Altum e Sentinel-2 pelos algoritmos adotados mostraram-se mais elevados quando comparados à regressão linear entre a produtividade e o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) calculado a partir das bandas desses sensores:  $R^2 = 0,26$  (Altum) e 0,24 (Sentinel-2).



**Figura 1.** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos algoritmos *Support Vector Machines* (SVM), *Neural Network* (NN), *AdaBoost* (AB), *Gradient Boost* (GB), *Random Forest* (RF) e *k-Nearest Neighbors* (kNN) para estimativa de produtividade de soja utilizando bandas espectrais compatíveis com o sensor Altum (a) e Sentinel-2 (c); e regressão linear entre os valores observados e estimados pelos algoritmos *Neural Network* (Sensor Altum - B) e *k-Nearest Neighbors* (Sentinel-2 - D).

## Conclusão

Modelos Algoritmos *machine learning* apresentam elevado potencial para realizar o monitoramento da produtividade da soja por meio de bandas espectrais compatíveis com sensores em nível aéreo (drone) e orbital (satélite), o que aponta a possibilidade de desenvolvimento de modelos espectrais em áreas experimentais e extrapolação para diferentes áreas de produção, considerando. Ressalta-se que as características intrínsecas aos dados espectrais, dependentes das especificidades de cada sensor, devem ser levadas em consideração na escolha dos modelos preditivos.

## Referências

- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; DANTAS, J. P. D. S.; MORAES, M. F. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, p. 159-168, 2018.
- CRUSIOL, L. G. T.; SUN, L.; SIBALDELLI, R. N. R.; FELIPE JUNIOR, V.; FURLANETI, W. X.; CHEN, R.; SUN, Z.; WUYUN, D.; CHEN, Z.; NANNI, M. R.; FURLANETTO, R. H.; CEZAR, E.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Strategies for monitoring within-feld soybean yield using Sentinel-2 Vis-NIR-SWIR spectral bands and machine learning regression methods. **Precision Agriculture**, v. 23, p. 1093-1123, 2022.
- SAKAMOTO, T. Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm. **ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 160, p. 208-228, 2020.