

**Evento:**XXX Jornada de Pesquisa

## **ÍNDICE VARI COMO MÉTRICA CINÉTICA NA ESTIMATIVA DA TAXA DE SENESCÊNCIA EM FOLÍOLOS DE SOJA SUBMETIDOS A DIFERENTES AGENTES TECNOLÓGICOS DE ANTECIPAÇÃO DE COLHEITA**

Marlon Vinicius da Rosa Sarturi<sup>2</sup>, Bethina Ceccato dos Santos<sup>3</sup>, Júlia Sarturi Jung<sup>4</sup>, Igor Miguel Zardin<sup>5</sup>, Cristhian Milbradt Babeski<sup>6</sup>, José Antonio Gonzalez da Silva<sup>7</sup>, Ivan Ricardo Carvalho<sup>8</sup>, Márcia de Fátima Brondani Binelo<sup>9</sup>

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí; trabalho da disciplina de doutorado - Modelagem Matemática.

<sup>2</sup> Bolsista PROSUC/CAPES Estudante de doutorado do PPGMMC - UNIJUÍ

<sup>3</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIT/CNPq.

<sup>4</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIT/CNPq.

<sup>5</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq

<sup>6</sup> Estudante do curso de Doutorado da UFSM. Pesquisador Colaborador

<sup>7</sup> Professor Orientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ

<sup>8</sup> Professor Coorientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ

<sup>9</sup> Professora PPGMMC, UNIJUÍ

### **INTRODUÇÃO**

A soja (*Glycine max* L.) é amplamente cultivada e destacada como fonte estratégica de proteína e óleo vegetal, sustentando cadeias de alimentação humana e de rações, além de servir como insumo para biocombustíveis e produtos químicos renováveis (LIMA et al., 2024; GAFFIELD et al., 2024). Em síntese, sua elevada concentração proteica e lipídica dá suporte ao uso alimentar e zootécnico, enquanto o óleo tem ganhado centralidade em rotas industriais de uso global (VAN DEN BERG et al., 2022; BHOWMIK et al., 2024).

A antecipação da colheita visa mitigar perdas associadas as condições meteorológicas adversas, que aceleram a deterioração e a qualidade fisiológica e física das sementes. A decisão deve combinar o estágio fenológico, a janela meteorológica prevista e a capacidade de colheita disponível (KENDALL et al., 2025). No Brasil, a antecipação de colheita é realizada comumente com os herbicidas glufosinato e diquat, estratégias para uniformizar maturação e abrir janela segura de colheita (ALBRECHT et al., 2024).

A presente pesquisa tem como objetivo utilizar agentes de antecipação de colheita comerciais em soja buscando validar o índice VARI como método eficiente de determinar a



capacidade de degradação de clorofila, oportunizando desenvolver um recurso computacional para melhor emprego das tecnologias de uniformização de maturação em pré colheita.

## **METODOLOGIA**

O estudo foi conduzido no Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), em Augusto Pestana - RS, nas coordenadas nas coordenadas 28° 26' 30'' S e 54° 00' 58''. Adotou-se delineamento em blocos ao acaso, com três tratamentos: testemunha, glufosinato de amônio e diquat. Foram coletados folíolos a cada 24 h, após a aplicação, até à senescência. Foram obtidas imagens em ambiente controlado e a partir das imagens de alta resolução extraíram-se as bandas vermelho (R), verde (G) e azul (B). O processamento foi realizado em software Python, utilizando as bibliotecas OpenCV, Pillow e NumPy. Entre os índices testados, GLI (Green Leaf Index, Índice de Folha Verde), ExG (Excess Green, Excesso de Verde) e TGI (Triangular Greenness Index, Índice de Verdor Triangular), VARI (Visible Atmospherically Resistant Index, Índice Visível Resistente a Efeitos Atmosféricos). Optou-se pelo VARI, devido combinar estabilidade a variações de iluminação com capacidade de distinguir a coloração verde em RGB, estando de acordo com evidências recentes sobre a robustez de índices de vegetação sob iluminação variável, padronização de índices e desempenho em fenotipagem agrícola (LIMA et al., 2024).

A velocidade média de degradação do índice VARI foi determinada, para cada tratamento, a partir da inclinação da reta ajustada aos valores de VARI em função do tempo (horas) por regressão linear simples, adotada devido melhor ajuste de modelo. Matematicamente, a inclinação ( $\beta_1$ ) representa a taxa média de mudança em VARI  $h^{-1}$  e foi estimada conforme a equação abaixo:

$$\beta_1 = \Sigma (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y}) / \Sigma(t_i - \bar{t})^2$$

Onde:

$\beta_1$  = inclinação da reta, taxa média de variação do VARI por hora;

$t_i$  = tempo da i-ésima observação (em horas após aplicação);

$\bar{t}$  = média dos tempos observados;

$y_i$  = valor do VARI na i-ésima observação;

$\bar{y}$  = média dos valores de VARI observados;

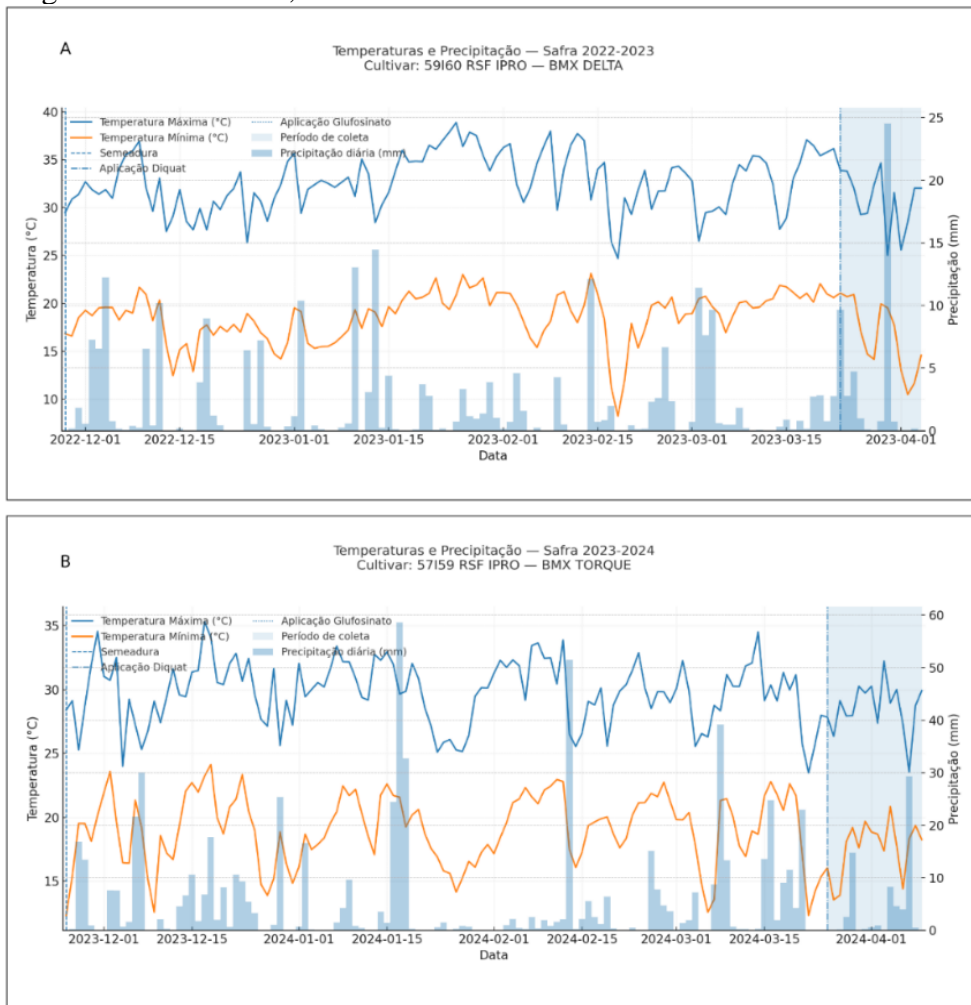
$\Sigma$  = somatório sobre todas as observações da parcela.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



Na safra 2022/2023 (Figura 1A), notou-se elevada amplitude térmica, associada a temperaturas máximas extremas, atingindo valores próximos a 39 °C, e precipitação irregular, com eventos concentrados logo após a aplicação dos herbicidas. Na safra 2023/2024 (Figura 1B), houve maior estabilidade térmica e hídrica que favoreceu respostas fisiológicas menos extremas.

**Figura 1.** Temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação diária (mm) nas safras (A) 2022/2023 e (B) 2023/2024, no Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), Augusto Pestana – RS, Brasil.



Fonte: autores, 2025.

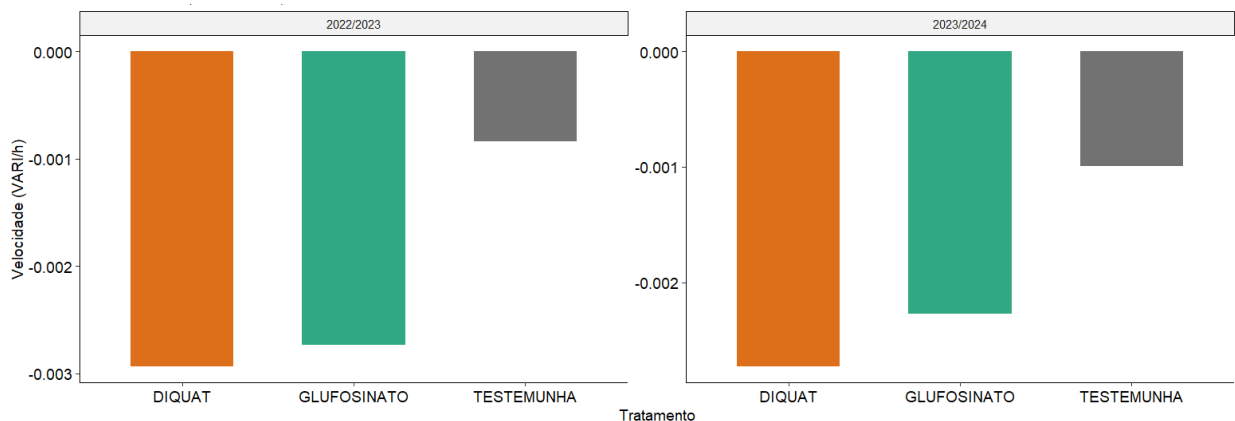
Através da análise gráfica das velocidades da degradação do verde (Figura 2), que compara as safras 2022/2023 e 2023/2024, notou-se que a safra 2022/2023 obteve maiores velocidades de degradação da clorofila, compatível com os picos térmicos e chuvas irregulares que intensificaram a senescência, provocando estresse oxidativo. Na safra 2023/2024, as condições meteorológicas mais estáveis, com temperaturas e precipitações mais favoráveis que



na safra anterior, favoreceram respostas fisiológicas menos extremas e convergência das velocidades entre diquat e glufosinato.

Para safra 2022/2023, na análise de velocidade de degradação de verde dos folíolos (Figura 2) houve maiores taxas de perda de clorofila, coerentes com picos térmicos e chuvas irregulares que intensificam a senescência por estresse oxidativo e podem modular a eficácia de desseccantes. Ainda na figura 2, para a safra 2023/2024, as condições meteorológicas favoráveis às respostas fisiológicas menos extremas e a convergência das velocidades entre diquat e glufosinato. A efetividade da velocidade da degradação dos folíolos de soja, está relacionada com a maior sanidade das plantas, que é uma característica diretamente ligada a condições meteorológicas ideais na janela de cultivo (ALBRECHT et al., 2024; LANDAU et al., 2025).

**Figura 2.** Velocidade média de degradação do verde, calculada a partir do índice VARI.



Fonte: Autores, 2025.

Modelar a velocidade de degradação do verde em folíolos ( $\text{VARI h}^{-1}$ ) transforma séries de imagens em uma métrica padronizada, comparável e reproduzível, útil para contrastar manejos e anos e para apoiar decisões de campo, estando alinhado às recomendações de padronização e uso criterioso de índices no visível (MONTERO et al., 2023). As variações de iluminação são essenciais para estimar clorofila com índices vegetativos (WANG et al., 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem da degradação do índice VARI demonstrou ser uma ferramenta eficaz para quantificar e comparar a velocidade de perda de coloração verde em folíolos de soja submetidos a diferentes manejos de pré-colheita. Os resultados deste estudo oferecem uma tecnologia com métrica objetiva, simples e reproduzível para comparar manejos de dessecação



pré-colheita a partir da colorimetria aplicada aos folíolos, oportunizando melhorar estratégias no uso de tecnologias para uniformidade de maturação.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L.. Dessecação. Glufosinato. Diquat. Índice VARI.

### AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com apoio da CAPES/PROSUC, PPGMMC, PPGSAS e infraestrutura do IRDeR/UNIJUÍ. O manuscrito também compõe a avaliação da disciplina Modelagem Matemática do PPGMMC/UNIJUÍ.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, L. P. et al. Alternative herbicides to paraquat in pre-harvest desiccation of soybean plants. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, 2024. DOI: 10.5965/223811712412024019.
- BHOWMIK, P.; SHARMA, B. K.; SARKER, M. I.; CHOI, H.; TANG, C.; ROY, S. Investigating the impact of a newly developed chemical modification technique on improving the tribological properties of high oleic soybean oil. *Sustainable Energy & Fuels*, 2024. DOI: 10.1039/D3SE01526B.
- GAFFIELD, L. W.; TAMBURINI, A.; AMER, Y.; DEVKOTA, B. R.; JOHNSON, J. S. A review of soybean processing byproducts and their use in food and feed. *Translational Animal Science*, v. 8, n. 1, 2024. DOI: 10.1093/tas/txae063.
- KENDALL, M. A. et al. Harvest aid applied at soybean growth stage R7 rarely impacted seed protein or oil yield. *Agronomy Journal*, 2025. DOI: 10.1002/agj2.70109.
- LANDAU, C. A. et al. Weather and glufosinate efficacy: a retrospective analysis looking forward to the changing climate. *Weed Science*, v. 73, e32, 2025. DOI: 10.1017/wsc.2024.101.
- LIMA, C. S.; UHRT JUNIOR, D. F.; CARVALHO, I. R.; BREDEMEIER, C. Use of phenomics in the selection of UAV-based vegetation indices and prediction of agronomic traits in soybean subjected to flooding. *AgriEngineering*, v. 6, n. 3, p. 3261–3278, 2024. DOI: 10.3390/agriengineering6030186.
- MONTERO, D.; CAMPOS-TABERNERO, M.; DOMÍNGUEZ, J. et al. A standardized catalogue of spectral indices to advance Earth system research. *Scientific Data*, v. 10, 197, 2023. DOI: 10.1038/s41597-023-02096-0.
- VAN DEN BERG, L. A.; MES, J. J.; MENSINK, M.; WANDERS, A. J. Protein quality of soy and the effect of processing: a quantitative review. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2022.1004754.
- WANG, Y.; YANG, Z.; KOOTSTRA, G.; KHAN, H. A. The impact of variable illumination on vegetation indices and evaluation of illumination correction methods on chlorophyll content estimation using UAV imagery. *Plant Methods*, v. 19, 51, 2023. DOI: 10.1186/s13007-023-01028-8.