



Evento:XXX Jornada de Pesquisa

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS ENOS NO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO DA SOJA A PARTIR DE CENÁRIOS SIMULADOS DE SEMEADURA (1985/1986–2022/2023)

Marlon Vinicius da Rosa Sarturi², Rubens Ricardo Pott Megier³, Fernando Krause Schmidt⁴, Igor Miguel Zardin⁵, Cristhian Milbradt Babeski⁶, Henrique Petrolli⁷, José Antonio Gonzalez da Silva⁸, Ivan Ricardo Carvalho⁹

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ.

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

³ Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/FAPERGS

⁴ Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq

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

⁶ Estudante do curso de Doutorado da UFSM. Pesquisador Colaborador

⁷ Estudante do Ensino Médio vinculado a UNIJUÍ. Bolsista EM/CNPq

⁸ Professor Orientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

⁹ Professor Coorientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas globais, cuja produtividade depende fortemente das condições meteorológicas, em especial da temperatura do ar e da precipitação diária, que impactam diretamente processos fisiológicos como fotossíntese, enchimento de grãos e acúmulo de biomassa, refletindo no rendimento final, mesmo sob ciclos de duração fixada (TAN et al., 2023).

As disponibilidade hídrica e as condições térmicas durante as safras são amplamente moduladas pelo fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS), que altera os padrões regionais de precipitação e temperatura no Sul do Brasil, afetando diretamente o desempenho das plantas de soja. Eventos de El Niño tendem a intensificar a precipitação e reduzir riscos de déficit hídrico, enquanto episódios de La Niña frequentemente ampliam a ocorrência de estiagens, impactando negativamente na produtividade (CUNHA et al., 2022).

O objetivo da pesquisa é avaliar a influência dos fenômenos ENOS (El Niño, La Niña e Neutro), sobre o desenvolvimento da cultura da soja em 38 safras simuladas em 5 cenários de semeaduras, dando suporte de previsão na perspectiva de estratégias para redução de impactos.



METODOLOGIA

Os dados meteorológicos foram obtidos para Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) em Augusto Pestana - RS, Brasil (28°25'57.5" S; 54°00'25.8" W), por meio do sistema NASA POWER. As informações, foram simuladas, com safras hipotéticas da soja, cada estágio fenológico recebeu notas atribuídas conforme a adequação das condições climáticas às exigências da cultura. Foram definidos cinco cenários de semeadura, correspondendo a diferentes datas fixas em cada ano agrícola: 21 de outubro (cenário 1), 31 de outubro (cenário 2), 20 de novembro (cenário 3), 10 de dezembro (cenário 4) e 20 de dezembro (cenário 5). Em todos os cenários, considerou-se um ciclo médio de 130 dias, permitindo delimitar de forma padronizada os períodos fenológicos. Cada safra foi classificada conforme o fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS), categorizado em El Niño, La Niña ou Neutro.

Foi realizado a análise estatística baseada no coeficiente de correlação linear de Pearson (r), aplicada entre os diferentes estádios fenológicos (emergência, cotilédone, vegetativo, floração, formação de vagens, enchimento de grãos, granação plena e maturação) e a nota média final das safras simuladas. O método permitiu quantificar a força e a direção das associações lineares, sendo avaliadas inicialmente de forma global e, posteriormente, de maneira estratificada por cenários de ENOS, possibilitando identificar padrões diferenciados de resposta da cultura sob distintos contextos climáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

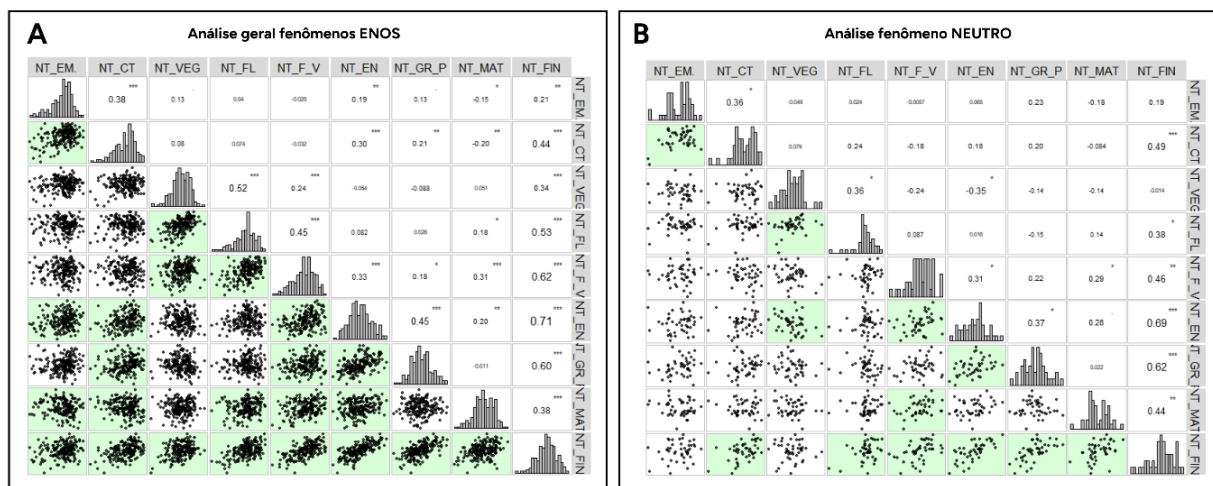
Na análise geral, os estádios enchimento de grãos, formação de vagens, granação plena e floração apresentaram as correlações mais fortes com a nota final, evidenciando que as fases reprodutivas são as que mais explicam a variabilidade entre safras, de maneira geral (Figura 1A). A predominância das fases reprodutivas na determinação do rendimento é amplamente reconhecida, especialmente os estádios de floração e enchimento de grãos (POUDEL et al., 2023). O estresse hídrico durante esses estádios reduz o rendimento da soja em mais de 70%, frente a 30% na fase vegetativa (LIYANAGE et al., 2023). Parâmetros fenológicos observados em floração, formação de vagens e enchimento de grãos são os mais eficazes na predição da produtividade final, reforçando sua representatividade sobre o desempenho da cultura (Radočaj; Plaščak; Jurišić, 2025).

Sob condição Neutra (Figura 1B), o enchimento de grãos e a granação plena se destacaram como os estádios de maior influência sobre a nota final. Diferente dos outros



cenários, o cotilédone também apresentou correlação moderada, sugerindo que em anos sem extremos climáticos o estabelecimento inicial da lavoura contribui de forma mais clara para o desempenho final. Embora cotilédone forneça reservas limitadas, sua integridade pode influenciar o estabelecimento e o crescimento inicial, afetando o desempenho subsequente da lavoura (GUO et al., 2022).

Figura 1. Matrizes de correlação de Pearson entre as notas fenológicas da soja e a nota final média - (A) Análise geral considerando todos os fenômenos; (B) anos de condição Neutra; (C) anos de La Niña; (D) anos de El Niño. As abreviações representam os estádios fenológicos: NT_EM (emergência), NT_CT (cotilédone), NT_VEG (vegetativo), NT_FL (floração), NT_F_V (formação de vagens), NT_EN (enchimento de grãos), NT_GR_P (granação plena), NT_MAT (maturação) e NT_FIN (nota média final).



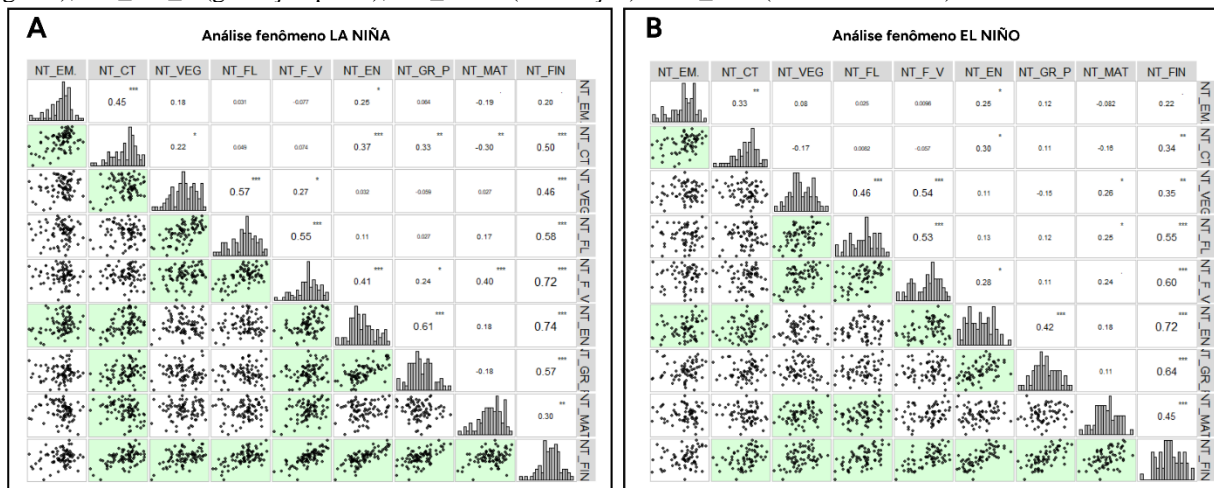
Fonte: autores, 2025.

No fenômeno La Niña (Figura 1C), as correlações foram mais intensas, com enchimento de grãos e formação de vagens como os estádios mais determinantes, seguidos por floração e granação plena. Isso indica que, sob déficit hídrico, o sucesso da cultura torna-se ainda mais dependente das fases reprodutivas iniciais. Para Hamed et al. (2023) os eventos persistentes de La Niña reduzem o rendimento da soja no Sul do Brasil em até 50%.

Durante El Niño, o enchimento de grãos novamente foi o estádio mais influente, mas a granação plena assumiu papel relativamente maior do que nos outros cenários (Figura 1D). Fenômenos de El Niño estão associados a aumento na produtividade devido ao favorecimento de precipitação durante estádios sensíveis como no enchimento de grãos (IIZUMI et al., 2014).



Figura 2. Matrizes de correlação de Pearson entre as notas fenológicas da soja e a nota final média - (A) anos de La Niña; (B) anos de El Niño. As abreviações representam os estádios fenológicos: NT_EM (emergência), NT_CT (cotilédone), NT_VEG (vegetativo), NT_FL (floração), NT_F_V (formação de vagens), NT_EN (enchimento de grãos), NT_GR_P (granação plena), NT_MAT (maturação) e NT_FIN (nota média final).



Fonte: autores, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fenômenos ENOS exercem influência diferenciada sobre o desenvolvimento da soja, com os estádios reprodutivos se mostrando decisivos em todos os cenários. O enchimento de grãos foi o estágio mais consistente na explicação do desempenho final, enquanto a formação de vagens teve maior peso em condições de La Niña e a granação plena se destacou durante o El Niño.

Palavras-chave: Fenologia. Semeadura. ENOS. Precipitação. Temperatura do ar.

AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com apoio da CAPES/PROSUC, PPGMMC, PPGSAS e infraestrutura do IRDeR/UNIJUÍ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, G. R.; OLIVEIRA, E. D.; NEUMAIER, N.; et al. Climate risk zoning for soybean in southern Brazil under El Niño and La Niña events. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 314, 108771, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108771>.
- GUO, S.; LI, Z.; LI, Y.; et al. Impacts of mean climate and extreme climate indices on soybean yield and yield components in Northeast China. *Science of The Total Environment*, v. 838, art. 156284, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156284>.
- HAMED, R.; VIJVERBERG, S.; VAN LOON, A. F.; AERTS, J.; COUMOU, D. Persistent La Niñas drive joint soybean harvest failures in North and South America. *Earth System Dynamics*, v. 14, p. 255–272, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-14-255-2023>.



- IIZUMI, T.; YE, L.; XU, Z.; et al. Impacts of El Niño–Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature Communications*, v. 5, art. 3712, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms4712>.
- LIYANAGE, D. K.; LUO, Q.; WANG, X.; et al. Drought stress at flowering and seed-filling stages reduces soybean yield by 73% and 82%, respectively. *Plants*, v. 12, n. 5, p. 1004, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051004>.
- TAN, M. L.; ABDULLAH, J.; YUSOF, F.; et al. Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for estimating tropical precipitation and temperature extremes. *Journal of Hydrology*, v. 624, art. 129940, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129940>.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. POWER Data Access Viewer. 2024. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 05 ago. 2025.
- POUDEL, S.; VENNAM, R. R.; SHRESTHA, A.; et al. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. *Scientific Reports*, v. 13, art. 1277, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28354-0>.
- Radočaj, D.; Plaščak, I.; Jurišić, M. (2025). *Phenology-Based Maize and Soybean Yield Potential Prediction Using Machine Learning and Sentinel-2 Imagery Time-Series*. *Applied Sciences*, 15(13):7216. DOI: 10.3390/app15137216.