

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

ISSN 3085-9514

***Eventos Técnicos
& Científicos***

8

Junho, 2026

**Resumos expandidos
21ª Jornada Acadêmica
da Embrapa Soja**

30 de junho e 1º de julho de 2026
Londrina, PR

Embrapa Soja
Londrina, PR
2026

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral, Caixa postal
4006, CEP 86085-981, Distrito de
Warta, Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Roberta Aparecida Carnevali

Secretária-executiva

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite*

Membros

*Adonis Moreira, Clara Beatriz
Hoffmann-Campo, Claudine Dinali
Santos Seixas, Claudio Guilherme
Portela de Carvalho, Fernando
Augusto Henning, Leandro Eugênio
Cardamone Diniz, Liliane Márcia
Mertz-Henning, Maria Cristina Neves
de Oliveira*

Organização da publicação

*Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite
Liliane Márcia Mertz-Henning
Kelly Catharin*

Normalização

Valéria de Fátima Cardoso

Capa

Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Diagramação

*Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol e
Marisa Yuri Horikawa*

Publicação digital: PDF

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

Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (21. : 2026: Londrina, PR).

Resumos expandidos [da] XXI Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, Londrina,
PR, 30 de junho e 1 de julho de 2026 – Londrina : Embrapa Soja, 2026.

PDF (157 p.) - (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Soja, ISSN 3085-9514; 8)

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

CDD (21. ed.) 630.2515

1

Avaliação de dados climáticos para acompanhamento da produtividade da soja em ambientes de seca

Gabriel Buche⁽¹⁾, Luís Guilherme Teixeira Crusiol⁽²⁾, Giovani Veronezzi⁽³⁾, José Renato Bouças Farias⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Ciência da Computação, UniFil, Bolsista PIBIC/CNPq, Londrina, PR. ⁽²⁾

Pesquisador visitante, bolsista FAPED/Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽³⁾ Laboratório de Agrometeorologia, Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

Introdução

O avanço das ferramentas de análise e modelagem de dados tem se mostrado cada vez mais relevante para a agricultura moderna. No Brasil, maior produtor mundial de soja e responsável por mais de 40% da produção global (Conab, 2026), compreender os fatores que influenciam a produtividade da cultura é essencial para garantir a segurança alimentar e a competitividade do agronegócio.

Apesar do expressivo volume produzido, eventos de seca prejudicam frequentemente a produtividade da soja em todo o território nacional. Ao longo de cinco décadas, as perdas associadas à seca representaram 11,65% da produção brasileira, equivalentes a 280 milhões de toneladas ou USD 152 bilhões (Ferreira et al., 2024), evidenciando a vulnerabilidade da cultura às variações climáticas e a necessidade de estratégias eficazes de mitigação de tais perdas.

A quantificação dessas perdas reforça a importância da coleta e análise de dados climáticos para a compreensão dos fatores que limitam a produtividade da soja. Variáveis como temperatura e umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar global, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor da atmosfera exercem influência direta sobre os processos fisiológicos da cultura em cada fase de seu desenvolvimento. A disponibilidade hídrica, em especial, é reconhecida como o fator climático de maior impacto sobre o rendimento de grãos, sendo que défices ocorridos durante a fase reprodutiva, compreendendo a floração e o enchimento de grãos, podem ocasionar perdas severas e irreversíveis na produtividade (Farias et al., 2001).

Nesse contexto, a utilização de modelos numéricos para analisar a relação entre variáveis climáticas e o rendimento da soja representa uma abordagem que pode ser capaz de subsidiar a tomada de decisão ao setor agrícola. Assim, o presente trabalho teve por objetivo identificar as variáveis climáticas com maior influência sobre a produtividade da soja.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido com base em série histórica de dados experimentais obtidos na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, Paraná, abrangendo 14 safras no período de 2010/2011 a 2024/2025, com exceção da safra 2021/2022. Ao longo desse período, cultivares de soja foram submetidas a quatro tratamentos distintos de disponibilidade hídrica: não irrigado (NIRR), em que as parcelas foram expostas a condições normais de precipitação pluviométrica; irrigado (IRR), com a umidade do solo mantida próxima à capacidade de campo; déficit hídrico no período vegetativo (DHV) e déficit hídrico no período reprodutivo (DHR). No total foram 80 parcelas experimentais (4 tratamentos de disponibilidade hídrica $\times$ 5 cultivares $\times$ 4 blocos). Nos tratamentos DHV e DHR as parcelas foram conduzidas sob abrigos móveis, que se fechavam automaticamente na ocorrência de precipitação pluviométrica, garantindo o controle das condições hídricas conforme o período experimental desejado.

As variáveis climáticas temperatura do ar média (T_{med}), máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}); umidade relativa do ar (UR); precipitação pluviométrica (Prec); velocidade do vento (Vel); e radiação solar global (Rad) foram coletadas em estação meteorológica localizada na Embrapa Soja e os dados foram processados no laboratório de agrometeorologia. A variável precipitação pluviométrica foi redimensionada, considerando os períodos de déficit impostos e o volume de irrigação aplicada, em cada tratamento ao longo das 14 safras. A partir dos dados dessas variáveis, foram determinados o déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV), o balanço hídrico climatológico (Thorntwaite; Mather, 1955) e o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), obtido pela razão entre evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração máxima (ET_m). A ET_m é o produto entre o coeficiente da cultura (K_c) e a evapotranspiração potencial (ET_p). A determinação do DPV e os valores de evapotranspiração seguiram

a metodologia utilizada por Veronezi et al. (2026) e os valores de Kc foram adotados conforme o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Farias et al., 2025).

Posteriormente, os dados climáticos foram organizados, para cada safra e tratamento, em períodos decendiais (dez dias) a partir da data de semeadura em cada safra, totalizando 12 decêndios (120 dias) por safra. Os decêndios (D) foram agrupados em quatro fases fenológicas, representando os principais estádios de desenvolvimento da soja: Fase 1, estabelecimento da lavoura (D1 e D2), compreendendo semeadura, germinação e emergência; Fase 2, crescimento vegetativo (D3, D4 e D5); Fase 3, floração e enchimento de grãos (D6 a D10); e Fase 4, maturação (D11 e D12) (Neumaier et al., 2020).

Calculou-se a correlação linear de Pearson entre a produtividade relativa da soja e cada variável climática, nas Fases 1, 2, 3 e 4, e também os valores dessas variáveis agregados ao longo dos 12 decêndios. A produtividade relativa foi obtida pela razão entre a produtividade observada em um tratamento em relação à produtividade máxima observada naquela safra. Por fim, ajustou-se a regressão linear da variável de maior correlação com a produtividade relativa.

Resultado e Discussão

A Figura 1 apresenta o coeficiente de correlação entre as variáveis climáticas avaliadas em cada período de análise (fases ou ciclo) com a produtividade relativa da soja. Os resultados indicaram que o ISNA na Fase 3 ($r = 0,89$), o ISNA total do ciclo ($r = 0,78$), a precipitação na Fase 3 ($r = 0,70$) e a precipitação total ($r = 0,69$) foram as variáveis que apresentaram as maiores correlações com a produtividade relativa de grãos da soja.

O ISNA na Fase 3 apresentou correlação superior à da precipitação total ($r = 0,89$ e $r = 0,69$, respectivamente), o que pode ser explicado pelo fato de o ISNA expressar a fração da demanda hídrica da planta efetivamente atendida e não somente o volume de água ofertado às plantas por meio da precipitação pluviométrica. Dessa forma, mesmo em condições de precipitação elevada, o ISNA é capaz de refletir com maior precisão o real estado hídrico da cultura, uma vez que nem toda a água precipitada fica necessariamente disponível para absorção pela planta. Isso confere ao ISNA maior poder explicativo

sobre a produtividade do que indicadores baseados exclusivamente no volume de precipitação.

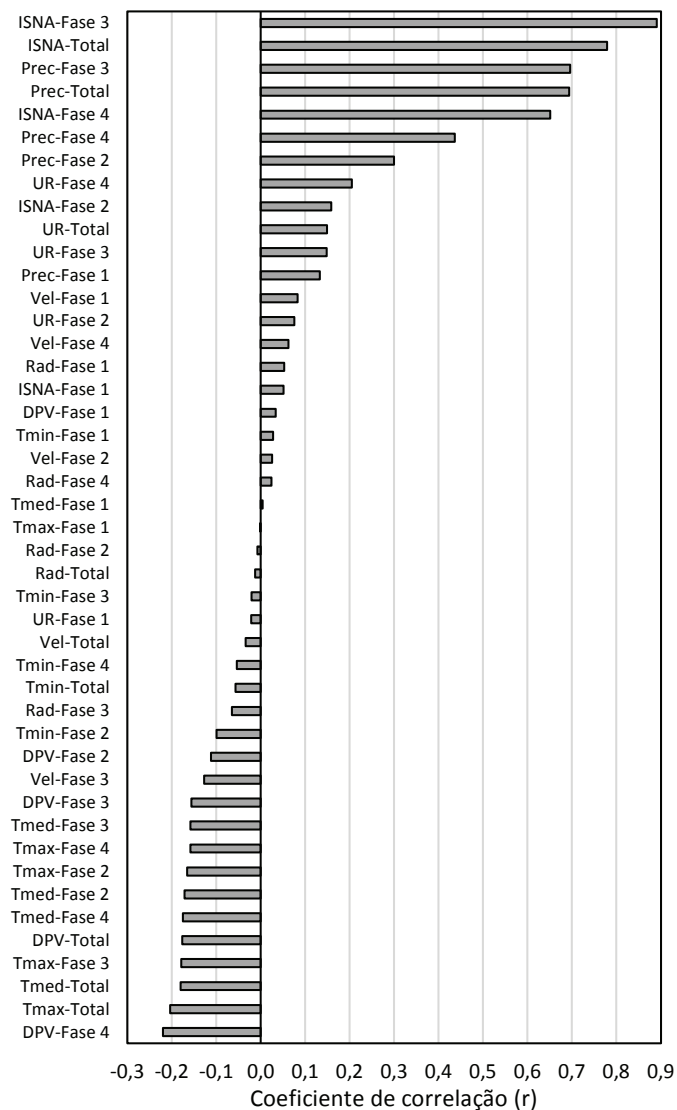


Figura 1. Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis climáticas por fase fenológica e produtividade relativa da soja.

Na Figura 2 é apresentada a dispersão da produtividade relativa de grãos da soja em função do ISNA na Fase 3 (variável que apresentou a maior correlação). O ajuste linear revelou que o ISNA nessa fase explica 79% da variabilidade da produtividade relativa da cultura ($R^2 = 0,79$).

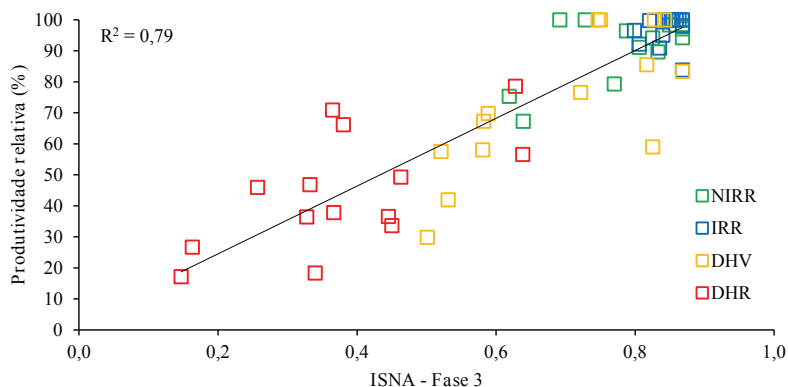


Figura 2. Regressão linear simples entre produtividade relativa de grãos da soja e ISNA na Fase 3.

A análise dos tratamentos em função do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) na Fase 3 revela um padrão consistente entre a disponibilidade hídrica e a produtividade relativa da soja. O tratamento irrigado (IRR) exibiu os maiores rendimentos ao longo das 14 safras avaliadas. Nessas condições, os valores de ISNA mantiveram-se predominantemente superiores a 0,8. Em contrapartida, o tratamento não irrigado (NIRR) registrou produtividades próximas ao IRR, com ISNA geralmente acima de 0,7. Observou-se, contudo, maior dispersão dos dados neste tratamento em relação ao IRR, o que reflete a variabilidade do balanço entre oferta e demanda de água entre as safras.

Sob condições de estresse programado, o tratamento com déficit hídrico no período vegetativo (DHV) demonstrou comportamento intermediário. Embora a cultura tenha demonstrado capacidade de recuperação em safras com atendimento da demanda hídrica após o estresse (alcançando rendimentos próximos ao máximo), a maior parte das observações concentrou-se em produtividades relativas inferiores a 80%, com ISNA acima de 0,5. Por sua vez, o tratamento

com déficit hídrico no período reprodutivo (DHR) provou-se o mais crítico. Nesse cenário, os valores de ISNA situaram-se majoritariamente abaixo de 0,5, resultando em produtividades inferiores a 60%. A frequente ocorrência de rendimento relativo inferiores a 50% neste tratamento atesta que o estresse hídrico durante a floração e o enchimento de grãos acarreta perdas severas e irreversíveis. De modo geral, os valores de ISNA na Fase 3 inferiores a 0,55 comprometem criticamente o rendimento da soja, independentemente do tratamento hídrico imposto, evidenciando a essencialidade do suprimento hídrico adequado nesta etapa fenológica.

Conclusão

O presente trabalho demonstrou que o ISNA na Fase 3 (floração e enchimento de grãos) apresentou a maior correlação com a produtividade relativa da soja ($r = 0,89$). O modelo linear revelou que o ISNA nessa fase explicou 79% da variabilidade da produtividade relativa ($R^2 = 0,79$). Adicionalmente, observou-se que a obtenção de produtividades relativas superiores a 70% esteve majoritariamente associada a valores de ISNA acima de 0,55. Isso evidencia a marca entre 0,6 e 0,55 como um limiar crítico do ISNA, abaixo da qual o rendimento da cultura é severamente comprometido. Esses resultados reforçam que o período reprodutivo constitui a fase mais sensível ao déficit hídrico, sendo determinante para o rendimento final da lavoura.

A identificação das variáveis climáticas e das fases mais sensíveis à falta de água, representam um passo fundamental para o desenvolvimento de modelos preditivos mais robustos. A incorporação dessas variáveis em técnicas de aprendizado de máquina, combinadas com outros bancos de dados (como informações de solo, genótipo, manejo e dados espectrais), tem o potencial de ampliar significativamente a capacidade de predição do rendimento da cultura. Dessa forma, a integração entre dados climáticos, experimentais e computacionais pode contribuir para uma compreensão mais completa dos fatores que determinam a produtividade da soja, subsidiando a tomada de decisão dos agricultores e o planejamento agrícola.

Referências

- CONAB. **Boletim da safra de grãos: 8º levantamento - safra 2025/26**, maio 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-8o-levantamento_2026.pdf. Acesso em: 26 maio 2026.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R. de; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.
- FARIAS, J. R. B.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; DEBIASI, H.; SALTON, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; COMUNELLO, E.; FIETZ, C. R.; OLIVEIRA, F. A. de. **Indicadores para classificação dos níveis de manejo no ZarcNM Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 12 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 114).
- FERREIRA, R. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; CRUSIOL, L. G. T.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. Soybean yield losses related to drought events in Brazil: spatial-temporal trends over five decades and management strategies. **Agriculture**, v. 14, n. 12, 2144, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14122144.
- NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONÇALVES, S. L. Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 2, p. 33-54. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).
- THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, 1955. 104 p.
- VERONEZZI, G.; CRUSIOL, L. G. T.; SIBALDELLI, R. N. R.; GONÇALVES, S. L.; FARIAS, J. R. B. **Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja, Londrina, PR - 2025**. Londrina: Embrapa Soja, 2026. 31 p. (Embrapa Soja. Documentos, 482).