REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

MODELAGEM PREDITIVA DA PRODUTIVIDADE DA SOJA COM BASE EM CENÁRIOS HÍDRICOS E ANÁLOGOS CLIMÁTICOS

PREDICTIVE MODELING OF SOYBEAN YIELD BASED ON WATER SCENARIOS AND CLIMATE ANALOGS

MODELIZACIÓN PREDICTIVA DEL RENDIMIENTO DE LA SOJA BASADA EN ESCENARIOS HÍDRICOS Y ANÁLOGOS CLIMÁTICOS

Valmei Abreu Junior
Doutorando, PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: valmei.junior@unioeste.br

Elmo Rowe Junior
Mestrando, PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: elmo.junior@unioeste.br

Rafaela Maria Tavares Agra
Mestranda, PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: rafaela.agra@unioeste.br

Márcio Furlan Maggi
Professor Dr., PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: marcio.maggi@unioeste.br

Jerry Adriani Johann
Professor Dr., PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: jerry.johann@unioeste.br

Erivelto Mercante
Professor Dr., PGEAGRI, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, BR
E-mail: erivelto.mercante@unioeste.br

Resumo

A produção de soja em Cascavel (PR), embora sustentada por elevado nível tecnológico, permanece sensível à variabilidade climática, especialmente à ocorrência de veranicos durante fases fenológicas críticas. Este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar uma estratégia integrada de prognóstico agroclimático parcial da safra 2025/26, concentrando-se no período de outubro a dezembro de 2025, utilizando séries meteorológicas decendiais referentes aos anos de 1974 a 2024. A escala temporal adotada permitiu maior sensibilidade na detecção de eventos hidrometeorológicos de curta duração, potencialmente limitantes ao desenvolvimento da cultura. A modelagem foi conduzida por meio da classe SARIMA, selecionando modelos específicos para cada variável climática e um modelo comum parcimonioso, cujas estimativas subsidiaram o cálculo do saldo hídrico decendial. Posteriormente, esses modelos foram empregados nas simulações das condições climáticas dos meses de outubro a dezembro de 2025, permitindo a construção de cenários baseados em indicadores de restrição hídrica durante o estabelecimento da cultura e as fases reprodutivas iniciais da soja, bem como na aplicação de métricas de similaridade para a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

identificação de safras historicamente análogas. A comparação entre as previsões e os dados observados no período de outubro a dezembro de 2025 evidenciou desempenhos distintos, com o SARIMA apresentando melhor capacidade preditiva para precipitação e temperatura mínima, enquanto o modelo comum parcimonioso destacou-se para radiação solar e temperatura máxima. A estimativa agroclimática da produtividade, baseada na analogia com safras historicamente semelhantes, situou-se entre 3,14 e 3,5 t ha^{-1}, representando uma referência exploratória compatível com as estimativas oficiais para o estado do Paraná. Os resultados evidenciam que a integração entre modelagem climática decendial e análise de similaridade histórica constitui uma abordagem complementar para o prognóstico agroclimático parcial e para a estimativa agroclimática da produtividade da soja.
Palavras-chave: Análogos climáticos; saldo hídrico climático; modelagem SARIMA; agrometeorologia.

Abstract

Soybean production in Cascavel (PR), despite being sustained by advanced technological practices, remains vulnerable to climatic variability, particularly the occurrence of dry spells during critical phenological stages. This study aimed to develop and assess an integrated strategy for partial agroclimatic forecasting of the 2025/26 growing season, focusing on the period from October to December 2025, based on ten-day meteorological series spanning 1974 to 2024. The chosen temporal scale enhanced sensitivity to short-duration hydrometeorological events that may constrain crop development. Climatic modeling was conducted using the SARIMA class, with specific models selected for each variable and a parsimonious common model whose estimates supported the calculation of the ten-day water balance. These models were subsequently applied to simulate climatic conditions for October to December 2025, enabling the construction of scenarios informed by water restriction indicators during crop establishment and the initial reproductive stages of soybeans, as well as the application of similarity metrics to identify historically analogous seasons. Comparison between forecasts and observed data for October to December 2025 revealed differentiated performances: SARIMA demonstrated superior predictive capacity for precipitation and minimum temperature, while the parsimonious common model performed better for solar radiation and maximum temperature. The agroclimatic yield estimate, derived from analogies with historically similar seasons, ranged between 3.14 and 3.5 t ha^{-1}, serving as an exploratory benchmark consistent with official estimates for Paraná. The findings highlight that integrating ten-day climatic modeling with historical similarity analysis represents a complementary approach for partial agroclimatic forecasting and soybean yield estimation.
Keywords: Climate analogs; climatic water balance; SARIMA modeling; agrometeorology.

Resumen

La producción de soja en Cascavel (PR), aunque respaldada por un alto nivel tecnológico, sigue siendo vulnerable a la variabilidad climática, en particular a la ocurrencia de períodos secos durante etapas fenológicas críticas. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar y evaluar una estrategia integrada de pronóstico agroclimático parcial para la campaña 2025/26, enfocándose en el período de octubre a diciembre de 2025, a partir de series meteorológicas decenales correspondientes a los años 1974 a 2024. La escala temporal adoptada permitió una mayor sensibilidad en la detección de eventos hidrometeorológicos de corta duración que pueden limitar el desarrollo del cultivo. La modelización se realizó mediante la clase SARIMA, seleccionando modelos específicos para cada variable climática y un modelo común parsimonioso, cuyas estimaciones sustentaron el cálculo del balance hídrico decenal. Posteriormente, estos modelos se aplicaron en simulaciones de las condiciones climáticas de octubre a diciembre de 2025, lo que permitió construir escenarios basados en indicadores de restricción hídrica durante el establecimiento del cultivo y las fases reproductivas iniciales de la soja, así como aplicar métricas de similitud para identificar campañas históricamente análogas. La comparación entre las previsiones y los datos observados en el período de octubre a diciembre de 2025 evidenció desempeños diferenciados: el SARIMA mostró mejor capacidad predictiva para la precipitación y la temperatura mínima, mientras que el modelo común parsimonioso se destacó en la radiación solar

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

y la temperatura máxima. La estimación agroclimática del rendimiento, basada en la analogía con campañas históricamente semejantes, se situó entre 3,14 y 3,5 t ha^{-1}, constituyendo una referencia exploratoria compatible con las estimaciones oficiales para el estado de Paraná. Los resultados demuestran que la integración entre la modelización climática decenal y el análisis de similitud histórica constituye un enfoque complementario para el pronóstico agroclimático parcial y la estimación agroclimática del rendimiento de la soja.
Palabras clave: Análogos climáticos; balance hídrico climático; modelización SARIMA; agrometeorología.

1. Introdução

A soja (*Glycine max*) consolidou-se como a principal *commodity* do sistema alimentar global, com o Brasil na posição de maior produtor e exportador mundial (Hirakuri, 2020; USDA, 2023; CONAB, 2024). Nesse cenário, o Paraná ganha destaque, tendo a região Oeste e o município de Cascavel como os maiores protagonistas (IBGE, 2023; SEAB, 2024).

Junto com o alto nível tecnológico empregado e da elevada aptidão agrícola de seus solos, o protagonismo do município de Cascavel na produção de soja também está relacionado com a sua localização geográfica privilegiada sobre o Terceiro Planalto Paranaense, o que lhe confere altitude média de 781 m e um clima Subtropical Úmido (Cfa), segundo a classificação climática de Köppen (Alvares *et al*., 2013; Aparecido *et al*., 2016), contribuindo para a regulação térmica local e mantendo temperaturas médias entre 15 °C e 24 °C, favorecendo o desenvolvimento da cultura.

Além disso, a precipitação anual é, relativamente, bem distribuída, com volumes que variam entre 1800 e 2000 mm (Nitsche *et al*., 2019). No entanto, Schmoeller e Limberger (2023) apontam que, nos últimos anos, têm sido observadas, na região, oscilações intrassazonais no regime pluviométrico, com forte crise hídrica, veranicos, seguindos de períodos com chuvas extremas, especialmente durante o semestre primavera-verão, período correspondente ao ciclo fenológico da soja.

Essas oscilações, associadas a altas temperaturas, podem comprometer o desenvolvimento da cultura da soja, sobretudo durante os estádios reprodutivos (floração – R1 até o enchimento dos grãos - R5) (Farias *et al*., 2007; Thomas e Costa, 2010). Nessas fases, onde as demandas hídricas giram em torno de 7 mm d^{-1} e as necessidades térmicas entre 23 ºC e 27 ºC (Seixas *et al*., 2020), o déficit

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

hídrico e o estresse térmico podem provocar abortamento floral, redução do enchimento de grãos e perdas que podem ser superiores a 40% da produtividade esperada (Baioco *et al*., 2023; Sandmann *et al*., 2023).

Diante da impossibilidade de controle das condições atmosféricas, a projeção da produtividade agrícola baseada em cenários hídricos torna-se uma ferramenta de gestão indispensável, conforme destacam Sentelhas *et al*. (2015).

Entretanto, a estimativa do saldo hídrico e de seus impactos, principalmente sobre a produtividade da soja, depende de séries históricas consistentes e de métodos capazes de descrever a dinâmica temporal das variáveis envolvidas. Nesse contexto, Camelo *et al*. (2017) apontam que a análise de séries temporais, interpretada por intermédio de modelos do tipo *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA), também conhecida como metodologia Box e Jenkins (Box e Jenkins, 1976), destacam-se por permitirem a representação e a modelagem de processos estocásticos, identificando padrões de tendência e dependência temporal presentes nos dados.

Contudo, a elevada variabilidade climática e a natureza dos eventos extremos impõem limitações aos modelos da classe ARIMA, tornando necessária a adoção de abordagens mais robustas, capazes de incorporar a sazonalidade das variáveis para reduzir as incertezas preditivas.

A redução dessas incertezas pode ser alcançada com o emprego dos modelos *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA), que segundo Todescchini e Menezes Filho (2026), é uma versão do ARIMA com a capacidade de incorporar as sazonalidades existentes nas variáveis ambientais, como aquelas apresentadas nas variáveis de temperatura modelada em Godói e Manosso (2026).

Trabalhos como os de Lima *et al*. (2020) e Santos *et al*. (2021) comprovam essa superioridade do SARIMA frente ao ARIMA, e enfatizam que essa forma de abordagem permite previsões meteorológicas confiáveis e fundamentais para o planejamento agrícola.

No entanto, análises baseadas apenas em totais ou médias mensais tendem a mascarar eventos críticos de curta duração, reduzindo a capacidade de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

representar a variabilidade da precipitação. Como consequência, as estruturas de autocorrelação e sazonalidade da série podem ser enfraquecidas, comprometendo a capacidade preditiva dos modelos SARIMA. Esse comportamento foi observado por Konthiyal *et al*. (2025), que utilizaram séries mensais de temperatura e precipitação para selecionar modelos SARIMA, verificando desempenho apenas moderado para a precipitação, atribuindo esse resultado à elevada variabilidade espacial e temporal do regime pluviométrico da região estudada.

Assim, a integração da escala decendial constitui uma alternativa relevante para a quantificação das variáveis que caracterizam esses eventos e que são fundamentais para a predição dos riscos agroclimáticos, como as variáveis hidrometeorológicas envolvidas na determinação do saldo hídrico climatológico, fornecendo uma representação mais sensível das variabilidades impostas (Sentelhas *et al*., 2015; Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2002).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo desenvolver e validar uma estratégia metodológica integrada, implementada em linguagem Python (van Rossum e Warsaw, 2024), para o prognóstico parcial da produtividade da soja na safra 2025/26, utilizando previsões meteorológicas para o período de outubro a dezembro de 2025 no município de Cascavel (PR), não incorporando explicitamente fatores relacionados ao solo, material genético, manejo agrícola ou fitossanidade. Para isso, a pesquisa fundamenta-se na modelagem SARIMA, empregando séries meteorológicas decendiais com sazonalidade de 36 períodos (S = 36) para a previsão de variáveis climáticas, cujas estimativas subsidiarão o cálculo do saldo hídrico, a identificação de anos análogos e a inferência do potencial produtivo parcial municipal, com ênfase nos estádios fenológicos iniciais da cultura.

2. Metodologia

2.1 A base de dados para a área em estudo

A abordagem preditiva da produtividade parcial da safra de soja de 2025/26,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

concentrou-se no município de Cascavel, situado na regiões Oeste do estado do Paraná, Brasil, tendo como base os dados climáticos diários de precipitação (Prp - mm), temperatura máxima (TMax - ºC) e mínima do ar (TMin - ºC), umidade relativa (UR - %), radiação solar (RadSol – MJ m^{-2}) e velocidade do vento até dois metros de altura (VelVnt – m s^{-1}), provenientes do modelo *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD), que interpola dados observacionais do Brasil, numa resolução espacial de 0,1°, provenientes de 11.473 pluviômetros e 1.252 estações meteorológicas disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional das Águas (ANA), que foram testados e comparados por diferentes métodos de interpolação (Xavier *et al*., 2022) e, também, da estação meteorológica automática, código S807, do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar) (https://mapas.inmet.gov.br/), abrangendo o período de 1974 a 2025.

Para garantir a compatibilidade espacial entre as bases, os dados do BR-DWGD foram extraídos utilizando as mesmas coordenadas geográficas da estação meteorológica automática S807 (−24,88°; −53,55°), permitindo a correspondência espacial entre elas e, assim, minimizando eventuais diferenças refletidas por suas inerentes características. A correção formal de viés não foi realizada devido à inexistência de uma série temporal comum suficientemente completa para esse procedimento, visto que o BR-DWGD disponibilizava dados apenas até dezembro de 2024 e a estação S807 apresentava registros com lacunas no período de sobreposição.

Mesmo diante dessa limitação, os dados de ambas as bases não apresentavam valores ausentes nas séries utilizadas e foram selecionados por constituírem o conjunto mínimo necessário para a modelagem da precipitação, o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo - mm) e a estimativa do saldo hídrico, garantindo consistência metodológica ao estudo.

As séries foram agregadas na escala decendial para melhor capturar a ocorrência de eventos de curta duração, em especial as limitações hídricas nos estádios de estabelecimento e nas fases reprodutivas iniciais da soja, que geralmente estão associados a perdas produtivas (Baptista *et al*., 2021). Para

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

isso, a Prp e a ETo foram agregadas por soma decendial, enquanto as demais variáveis foram agregadas por médias decendiais, preservando suas coerências físicas.

A ETo da base BR-DWGD foi utilizada diretamente, uma vez que a própria base disponibiliza essa variável previamente estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (Xavier *et al*., 2022; Rossatto *et al*., 2022), além de dispor da velocidade do vento já para a altura padrão de dois metros. Para os dados observados da estação S807 (SIMEPAR), a ETo foi calculada diariamente pelo mesmo método e, posteriormente, agregada por decêndio, de forma compatível com a escala temporal adotada no estudo. As demais variáveis meteorológicas seguiram o mesmo padrão do modelo BR-DWGD, não sendo necessário adotar qualaquer tipo de transformação ou adequação de escala.

Os dados compreendidos entre os anos de 1974 a 2024, provenientes do BR-DWGD, foram considerados como históricos e agregados em 1836 observações decendiais. Já os dados reais da estação S807, relativos ao ano de 2025, foram divididos em dois conjuntos: o primeiro compreendendo os meses de janeiro a setembro (27 decêndios); o segundo, os meses de outubro a dezembro (9 decêndios).

O horizonte de previsão compreendeu nove observações decendiais, correspondentes ao período entre outubro e dezembro de 2025. Essa delimitação temporal constitui uma limitação do estudo, uma vez que restringe a avaliação às condições climáticas entre a semeadura/estádio vegetativo (VE) e as fases reprodutivas iniciais da soja (estádio R4) (Farias *et al*., 2007).

Conforme exposto em Johann (2012), a duração das fases fenológicas pode variar em função da metodologia adotada, do ciclo da cultivar e das condições de cultivo. O autor também destaca que a época de semeadura pode sofrer alterações em decorrência das condições climáticas consideradas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e do período de vazio sanitário estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

Neste estudo, a correspondência entre os decêndios e os estádios fenológicos da soja foi estabelecida considerando uma semeadura representativa

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

no primeiro decêndio de outubro, uma vez que o período preferencial de semeadura varia entre 21 de setembro e 15 de outubro nos 18 municípios que formam a Microrregião de Cascavel (Hirakuri, 2020). A partir disso, adotou-se um ciclo de cultivo de aproximadamente 120 dias, que serviu para definir as fases fenológicas utilizadas na análise dos indicadores agroclimáticos. Ressalta-se que esse calendário fenológico constitui uma aproximação, podendo apresentar variações em função da data efetiva de semeadura, do grupo de maturidade das cultivares e das condições ambientais de cada safra.

2.2 Modelagem das séries decendiais

As variáveis climáticas históricas decendiais provenientes do modelo BR-DWGD (Prp, TMax, TMin, UR, VelVnt e RadSol) foram avaliadas, individualmente, por meio de modelos da classe SARIMA$(p,d,q)\times(P,D,Q)_S$. A seleção das estruturas possíveis para esses modelos deu-se de forma automática por intermédio do algoritmo AutoARIMA (Hyndman e Khandakar, 2008), via biblioteca *pmdarima* 2.1.1, em ambiente Python 3.13, que investigou diferentes combinações dos termos autorregressivos (p e P), de médias móveis (q e Q) e das ordens de diferenciação (d e D), até os limites especificados do algoritmo e considerando uma sazonalidade de 36 decêndios (S = 36), adotando o intervalo de 1974 a 2022 para treinamento e reservando os anos de 2023 e 2024 como um único conjunto de validação para avaliação do desempenho preditivo dos modelos.

A seleção dos melhores modelos foi baseada nos critérios *Akaike Information Criterion* (AIC) (Akaike, 1974), *Bayesian Information Criterion* (BIC) (Schwarz, 1978) e *Hannan–Quinn Information Criterion* (HQIC) (Hannan e Quinn, 1979), os quais conciliam qualidade de ajuste e complexidade, sendo utilizados como métricas quantitativas para comparações estruturais. Adicionalmente, a significância estatística dos coeficientes foi verificada através do Teste Z (ao nível de significância de 5%) (Anderson *et al*., 2008) e a capacidade preditiva dos modelos foi comparada por intermédio das métricas *Mean Absolute Error* (MAE) e *Root Mean Square Error* (RMSE), sendo selecionados aqueles que apresentaram

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

o menor desvio em relação aos dados observados (Morettin e Toloi, 2006).

Após a seleção dos modelos SARIMA, os dados observados de janeiro a setembro de 2025, referentes às variáveis precipitação (Prp), temperatura máxima (TMax), temperatura mínima (TMin), umidade relativa (UR), velocidade do vento (VelVnt) e radiação solar (RadSol), foram utilizados como base para as projeções das condições meteorológicas decendiais de outubro a dezembro de 2025, originando a série denominada de previ_SARIMA.

Como segunda etapa da determinação das previsões das variáveis climáticas, optou-se por testar um modelo único para todas as variáveis, isso porque durante as execuções do AutoARIMA diversos modelos apresentaram instabilidade numérica, falhas de convergência e elevado custo computacional, culminando em erros de memória associados à alocação de grandes matrizes no filtro de Kalman (Gomes *et al*., 2025). Nesse contexto, a estrutura SARIMA(1,0,1)×$(1,1,0)_{36}$ foi adotada como modelo comum parcimonioso (Parcim), por apresentar desempenho preditivo consistente, simplicidade estrutural e estabilidade computacional, constituindo uma alternativa operacional aos modelos específicos ajustados individualmente para cada variável. A partir dessa estrutura foram geradas as previsões para o período de outubro a dezembro de 2025, denominadas previ_Parcim.

2.3 Construção dos indicadores agroclimáticos

Diferentemente da abordagem adotada por Amaral *et al*. (2026), que utilizaram o balanço hídrico climatológico (BHC), tendo a evapotranspiração da cultura (ETc) como referência para estimar períodos de estresse hídrico e subsidiar a adoção de sistemas de irrigação, neste estudo foi utilizado o saldo hídrico decendial (SHD), calculado de forma simplificada sem incorporar processos como armazenamento de água no solo, capacidade de água disponível, profundidade efetiva do sistema radicular, escoamento superficial ou a ETc, devendo ser interpretado como um indicador climático potencial determinado pela diferença entre a precipitação e a evapotranspiração de referência estimada em cada decêndio (SHD = Prp - ETo), permitindo identificar

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

períodos de potencial limitação hídrica ou de disponibilidade excedente de água, condições que podem influenciar o desenvolvimento da cultura da soja.

Com base nesse saldo hídrico, foram derivados indicadores agroclimáticos para os decêndios compreendidos entre os meses de outubro e fevereiro, período correspondente à safra da soja na região de Cascavel (Johann, 2012), sintetizando diferentes aspectos da disponibilidade hídrica ao longo do ciclo da cultura, permitindo representar cada safra como um vetor climático multivariado. Com isso, os indicadores agroclimáticos estabelecidos foram:

- Precipitação total da safra (P_total - mm): representando a precipitação acumulada entre os decêndios avaliados;
- Déficit hídrico acumulado (Def_total - mm): soma dos saldos hídricos negativos (SHD < 0) observados ao longo do período parcial de safra;
- Déficit hídrico acumulado durante a floração (Def_flor - mm): soma dos saldos hídricos negativos registrados entre o 3º decêndio de novembro e o 3º decêndio de dezembro (estádios R1 a R4);
- Déficit hídrico acumulado durante o enchimento de grãos (Def_ench - mm): soma dos saldos hídricos negativos registrados entre o 1º e o 3º decêndio de janeiro (estádio R5);
- Percentual de decêndios com déficit hídrico (Perc_dec_def - %): percentual de decêndios em que o saldo hídrico foi negativo durante o período de safra.

Os mesmos procedimentos também foram adotados para as safras previstas (previ_SARIMA e previ_Parcim) e observadas de 2025.

2.4 Métricas de similaridade e definição dos cenários

Para determinar a similaridade entre os indicadores agroclimáticos da safra prevista e as das safras históricas, foram estipulados cenários avaliados por meio de métricas de distâncias (Euclidiana, Manhattan e Mahalanobis) capazes de interpretar a estrutura dos dados sob diferentes prismas geométricos e estatísticos. Para isso, os indicadores foram padronizados por transformação Z-score, garantindo comparabilidade entre as variáveis e evitando efeitos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

decorrentes de diferenças de escala.

Para cada cenário estipulado foram identificadas as cinco safras mais similares com 2025, considerando os critérios descritos em Etherington (2019) e Cha (2007), sendo eles:

- Cenário Euclidiano: calcula a magnitude absoluta entre vetores de indicadores agroclimáticos, identificando similaridades globais quando os dados são homogêneos, mas sendo mais sensível à valores extremos isolados;
- Cenário Manhattan: calcula a soma das diferenças absolutas entre os indicadores agroclimáticos (desvios absolutos), oferecendo uma abordagem menos influenciada por valores extremos isolados, capturando uma similaridade baseada na proximidade média;
- Cenário Mahalanobis: incorpora a matriz de covariância dos dados, penalizando correlações existentes entre os indicadores agroclimáticos (como a relação intrínseca entre precipitação total e déficit hídrico). Foi escolhida por poder identificar analogias baseadas em padrões de variabilidade estatística, sendo capaz de isolar safras com combinações climáticas raras ou severas que fogem da correlação comum.

2.5 Definição da parcial produtividade

A partir da identificação das safras históricas com condições agroclimáticas semelhantes ao cenário projetado para 2025, foram utilizados dados de produção de soja (em toneladas – t) e de área plantada (em hectares – ha) no município de Cascavel, obtidos da Tabela 5457 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), em conjunto com indicadores estatísticos do Departamento de Economia Rural do Paraná (SEAB, 2025), para realizar uma análise comparativa da produtividade (t ha^{-1}) dos anos históricos selecionados e, assim, estimar parcialmente a produtividade da soja na safra 2025/26 para a área de estudo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

3. Resultados e Discussão

3.1 Seleção dos modelos SARIMA

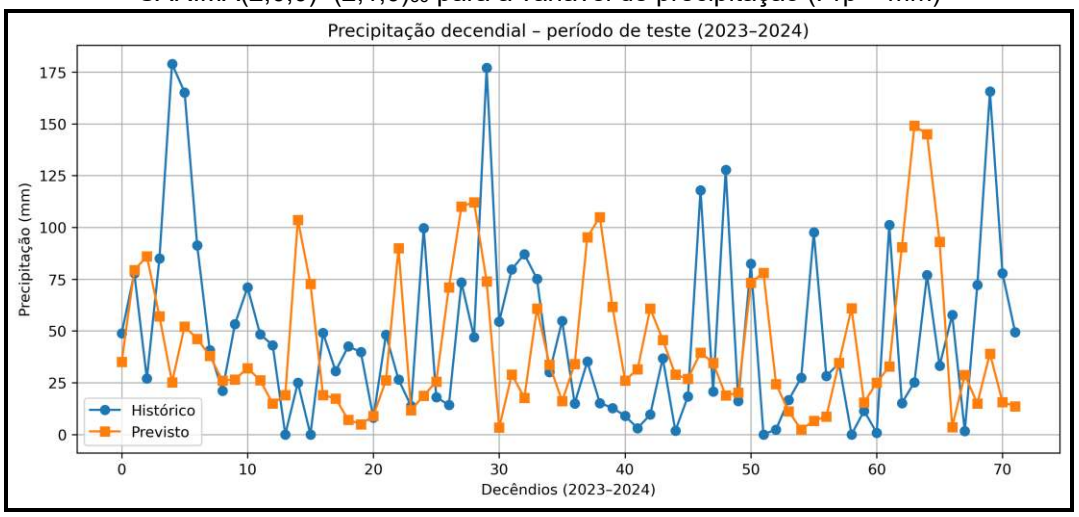
As combinações de termos autorregressivos e de médias móveis não sazonais e sazonais, forneceram modelos SARIMA que apresentaram o melhor desempenho durante as execuções dos AutoARIMA, como o SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)36 mostrado na Figura 1, que foi escolhido para a variável Prp por apresentar o menor AIC (17912,31) e BIC (17939,37), com desempenho preditivo de RMSE de 55,75 mm e MAE de 43,76 mm, valores que, segundo Vieira *et al*. (2024), podem ser considerados compatíveis com a elevada variabilidade estocástica da precipitação em escala intrassazonal, além de ter conseguido capturar a sazonalidade e a persistência temporal de curto prazo, com sincronização dos períodos secos e chuvosos, embora tenha apresentado subestimação de períodos mais secos e picos extremos que foram identificados no trabalho de Schmoeller e Limberger (2023), o que é uma característica dos modelos SARIMA, pois ajustam-se melhor a valores médios ou mínimos, com apontam Caminha *et al*. (2025).

O modelo SARIMA(2,0,2)×$(2,1,0)_{36}$ foi selecionado para representar a TMax, apresentando os menores critérios de informação (AIC = 7506,90; BIC = 7544,58). Embora os estudos utilizem metodologias distintas, a comparação das métricas de erro com aquelas reportadas por Vieira *et al*. (2024) (RMSE entre 3,0 °C e 3,5 °C) permite uma avaliação indicativa do desempenho preditivo do modelo. Nesse contexto, o SARIMA apresentou desempenho satisfatório, com RMSE de 4,34 °C e MAE de 3,53 °C. Conforme ilustrado na Figura 2, o modelo reproduziu adequadamente a sazonalidade térmica e a alternância entre períodos mais quentes e mais amenos. Entretanto, observou-se uma suavização dos valores extremos, caracterizada pela subestimação das quedas mais acentuadas de temperatura e por um leve viés positivo durante os períodos mais frios, sem comprometer sua capacidade de representar a dinâmica temporal da série.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

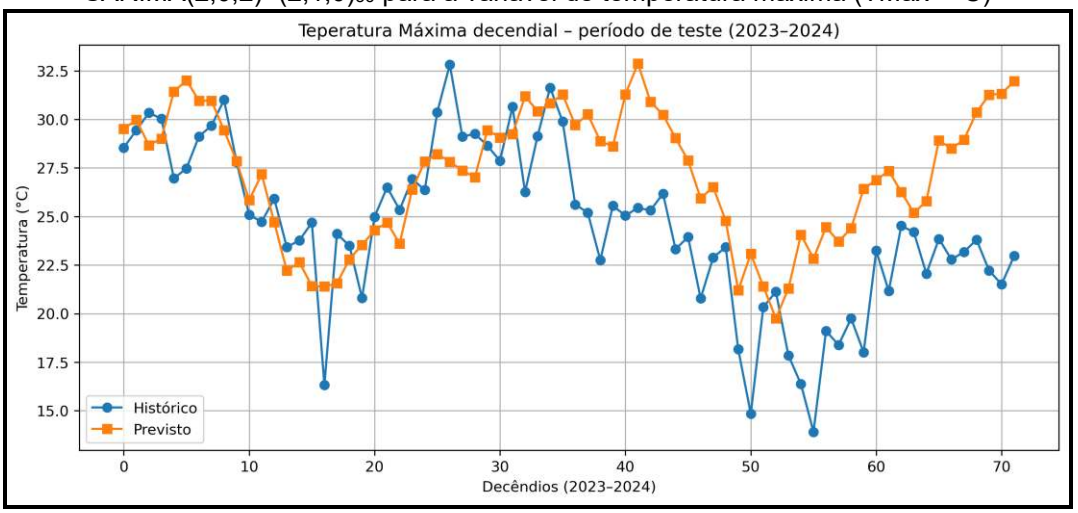
Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

Figura 1 - Resultados comparativos entre os valores históricos e previstos do modelo SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$ para a variável de precipitação (Prp – mm)



Fonte: Autores, 2026.

Figura 2 - Resultados comparativos entre os valores históricos e previstos do modelo SARIMA(2,0,2)×(2,1,0)$_{36}$ para a variável de temperatura máxima (TMax - ºC)



Fonte: Autores, 2026.

A dinâmica da TMin foi representada pelo SARIMA(1,0,0)×(2,1,0)$_{36}$, com AIC de 7133,76 e BIC de 7155,44, apresentando desempenho preditivo (RMSE = 4,35 °C; MAE = 3,53 °C) semelhante ao da TMax, porém com uma estrutura mais simples. Esse resultado sugere que a dinâmica térmica noturna pôde ser representada, adequadamente, sem a inclusão de componentes de média móvel ou de termos autorregressivos de ordem superior, indicando um comportamento

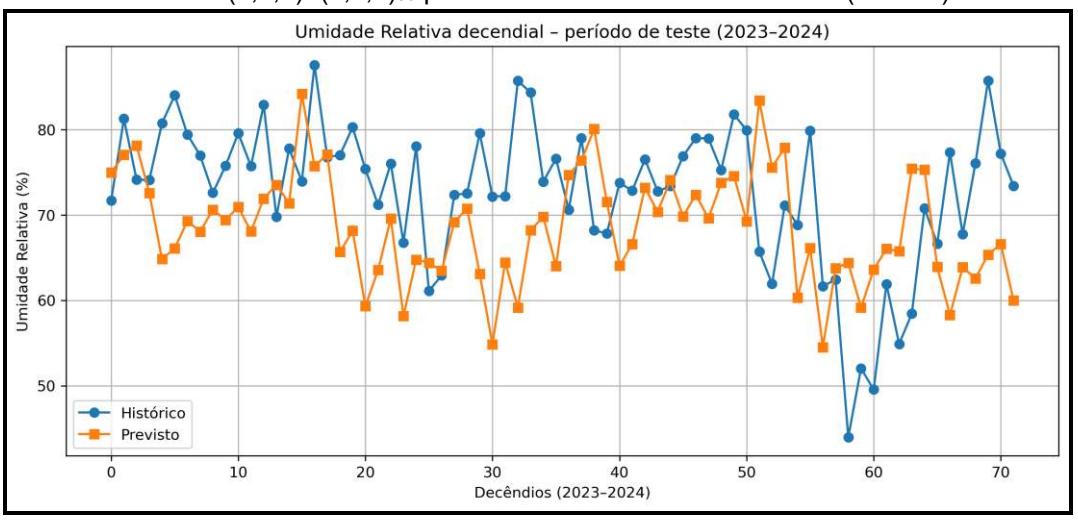
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

temporal mais regular da série.

A UR foi modelada pelo SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$, que apresentou resíduos normalmente distribuídos e ausência de autocorrelação, além de bom desempenho preditivo (RMSE = 10,54 % e MAE = 8,84%). O erro obtido foi semelhante ao reportado por Vieira *et al*. (2024) para modelos de regressão múltipla aplicados a regiões de clima tropical de inverno seco (RMSE = 10,0%) e inferior ao observado para regiões de clima tropical de monção (RMSE = 16,5%). A comparação entre os valores observados e previstos (Figura 3) evidencia que o modelo foi capaz de reproduzir a dinâmica temporal e o padrão sazonal da série ao longo dos decêndios. Entretanto, observou-se uma suavização da amplitude das oscilações, caracterizada pela superestimação dos valores mínimos mais intensos de umidade relativa e pela subestimação de parte dos picos máximos.

Figura 3 - Resultados comparativos entre os valores históricos e previstos do modelo SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$ para a variável de umidade relativa (UR - %)



Fonte: Autores, 2026.

A RadSol foi modelada pelo SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$, selecionado por apresentar os menores critérios de informação (AIC = 10966,30; BIC = 10993,56). O modelo apresentou resíduos independentes e apenas um leve desvio da normalidade. Ainda assim, as métricas de erro (RMSE = 5,21 MJ m^{-2}; MAE = 4,13 MJ m^{-2}) indicaram bom desempenho preditivo na escala decendial. Embora tenha suavizado parte das oscilações de maior amplitude, como mostra a Figura 4, é possível notar que o modelo conseguiu reproduzir a dinâmica da radiação

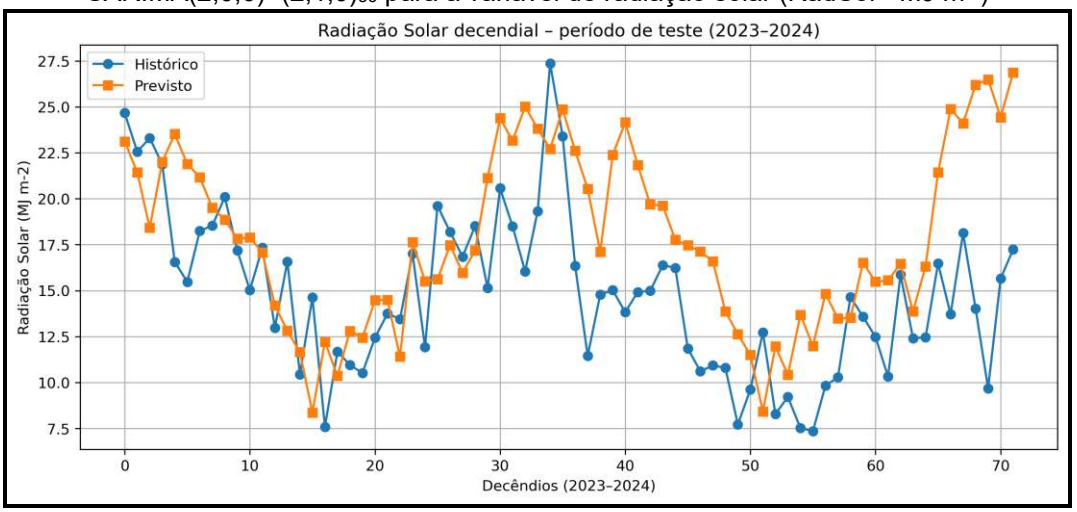
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

solar, mesmo sendo mais difícil prevê-la devido à variação sazonal da cobertura de nuvens, especialmente nas estações secas, como afirmam Vieira *et al*. (2024).

Por fim, o modelo SARIMA(1,0,1)×(2,1,0)$_{36}$ foi selecionado para representar a VelVnt, por apresentar os menores critérios de informação (AIC = 457,62; BIC = 484,68). Apesar da presença de heterocedasticidade e de desvios da normalidade nos resíduos, o modelo reproduziu satisfatoriamente o comportamento geral e a dinâmica da série histórica. As métricas de erro (RMSE = 1,27 m s^{-1}; MAE = 0,95 m s^{-1}) indicaram bom desempenho preditivo na escala decendial, embora tenham sido superiores aos valores reportados por Vieira *et al*. (2024) (RMSE em torno de 0,9 m s^{-1}) mas, em função da ordem de grandeza dos erros, pode-se afirmar que o desempenho preditivo do SARIMA foi compatível com o adotado pelos autores.

Figura 4 - Resultados comparativos entre os valores históricos e previstos do modelo SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$ para a variável de radiação solar (RadSol - MJ m^{-2})



Fonte: Autores, 2026.

3.2 Resultados do modelo comum parcimonioso

A escolha do modelo comum SARIMA(1,0,1)×(1,1,0)$_{36}$ (Parcim) como único, mais parcimonioso, para previsão das variáveis climáticas mostrou desempenho consistente na modelagem da dependência temporal e sazonalidade decendial. Em todos os casos, os coeficientes autorregressivos e de médias móveis, tanto na componente não sazonal quanto sazonal, mostraram-se, estatisticamente,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

significativos (p-valor < 0,05), indicando adequada captura da dinâmica temporal das séries.

A avaliação preditiva, baseada na comparação entre valores observados e previstos, indicou desempenho diferenciado entre as variáveis. As menores magnitudes de erro foram observadas para VelVnt, TMin e RadSol, evidenciando alta capacidade preditiva. A TMax apresentou erros moderados e compatíveis com a sua variabilidade natural. Já a UR e, principalmente, a Prp exibiram maiores valores de RMSE e MAE, refletindo a irregularidade e variabilidade intrínseca dessas séries.

Essas evidências são apresentadas na Tabela 1 que contém as métricas preditivas calculadas utilizando o conjunto de validação externa composto pelos anos de 2023 e 2024, reservado exclusivamente para avaliação do desempenho dos modelos, após o treinamento realizado com a série histórica de 1974 a 2022.

No conjunto, os resultados confirmam a adequação do modelo comum parcimonioso para previsão climática decendial, com bom desempenho para variáveis termodinâmicas e desempenho aceitável para as variáveis de maior variabilidade estocástica.

Tabela 1 - Critérios de informação e métricas preditivas obtidas no conjunto de validação externa (2023–2024) para o modelo comum parcimonioso (Parcim)

Variável	AIC	BIC	HQIC	RMSE	MAE
Prp	19469,32	19491,26	19477,43	38,96	32,75
TMax	8381,81	8403,75	8389,92	4,38	4,02
TMin	7918,13	7940,07	7926,23	2,09	1,68
UR	12079,72	12101,67	12087,83	9,46	7,41
RadSol	8881,30	8903,24	8889,41	2,14	1,74
VelVnt	1036,83	1058,77	1044,93	0,51	0,41

Fonte: Autores, 2026.

3.3 Comparativos entre as previsões dos modelos

Após a definição dos modelos (SARIMA e Parcim) e a comprovação de suas capacidades preditivas, os mesmos foram empregados a fim de estimarem

REMUNOM
ISSN 2178-6925

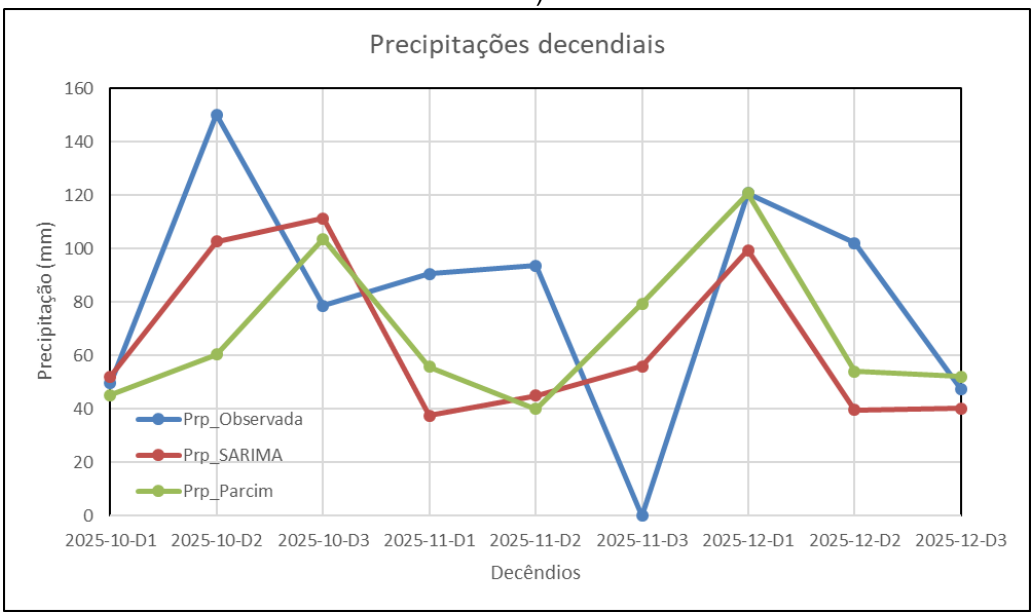
Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

os valores das variáveis climáticas para os decêndios compreendidos entre os meses de outubro a dezembro de 2025.

Por simplicidade e facilidade na identificação dos modelos, os resultados referentes às observações reais de cada uma das variáveis climatológicas foram denominados de “XXX_Observados”. Para os resultados referentes aos modelos SARIMA, os mesmos foram denominados de “XXX_SARIMA”, enquanto que os resultantes do modelo Parcim foram intitulados de “XXX_Parcim”.

O comparativo para a variável Prp (Figura 5) demonstrou que ambos os modelos representaram parcialmente a evolução temporal da precipitação, não conseguindo reproduzir os eventos extremos observados, especialmente o elevado acumulado no segundo decêndio de outubro (2025-10-D2) e o terceiro decêndio de novembro (2025-11-D3) que foi excepcionalmente seco, comportamento típico dos modelos da classe SARIMA, como apontado em Caminha *et al*. (2025) e já identificado durante a etapa de seleção dos modelos.

Figura 5 - Comparativo entre as previsões para os meses de outubro a dezembro dos modelos SARIMA(2,0,0)×(2,1,0)$_{36}$, parcimonioso (Parcim) e os dados observados para a precipitação (Prp - mm)



Fonte: Autores, 2026.

Individualmente, o Prp_SARIMA apresentou uma resposta mais suavizada, reduzindo a amplitude das oscilações da série. Em contraste, o Prp_Parcim apresentou maior concordância com os valores observados ao longo da maior

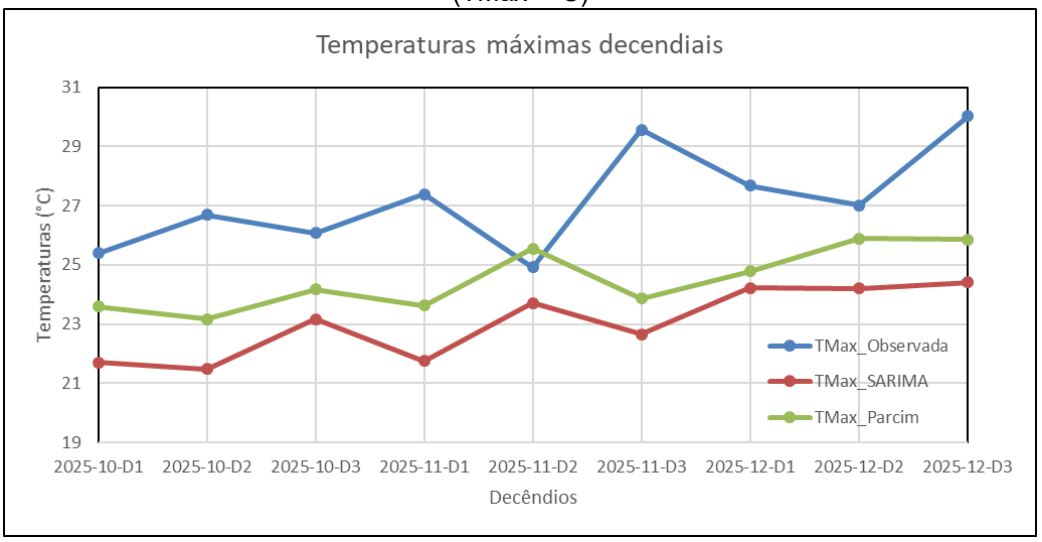
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

parte dos decêndios, acompanhando, de forma mais consistente, os aumentos e reduções da precipitação, embora tenha superestimado alguns períodos e também não tenha representado, adequadamente, os eventos extremos.

Para a TMax (Figura 6), ambos os modelos acompanharam a tendência de aumento das temperaturas ao longo do período, especialmente em dezembro. O TMax_SARIMA apresentou estimativas mais suavizadas e tendência à subestimação dos valores observados, enquanto o TMax_Parcim mostrou maior proximidade com os dados reais em alguns decêndios, apesar de subestimar os picos de temperatura, como no final de dezembro (2025-12-D3).

Figura 6 - Comparativo entre as previsões para os meses de outubro a dezembro dos modelos SARIMA(2,0,2)×(2,1,0)$_{36}$, parcimonioso (Parcim) e os dados observados para a temperatura máxima (TMax - ºC)



Fonte: Autores, 2026.

Na TMin, os dois modelos apresentaram tendência de superestimar as temperaturas mínimas observadas. Enquanto a série observada exibiu maior variabilidade, principalmente entre outubro e início de novembro, as previsões permaneceram em níveis mais elevados e suavizados.

Para a UR, ambos os modelos reproduziram adequadamente a tendência da série, incluindo o aumento da umidade no início de dezembro. Entretanto, o UR_SARIMA apresentou maior proximidade com os valores observados, enquanto o UR_Parcim demonstrou superestimação mais evidente entre

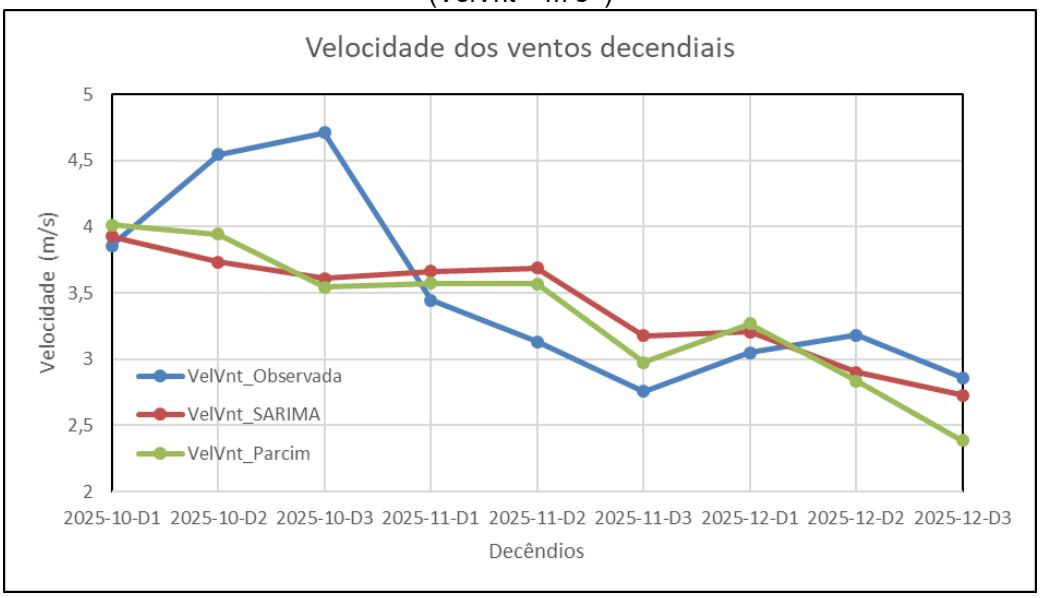
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

novembro e início de dezembro.

As previsões da VelVnt indicaram tendência de redução da velocidade do vento ao longo dos decêndios, sobretudo a partir de novembro. O VelVnt_SARIMA acompanhou essa dinâmica com valores próximos aos observados, apresentando pequenas superestimações e subestimações pontuais. Já o VelVnt_Parcim também reproduziu a tendência de queda, porém com maior subestimação nos decêndios finais, especialmente no terceiro decêndio de dezembro (2025-12-D3) (Figura 7).

Figura 7 - Comparativo entre as previsões para os meses de outubro a dezembro dos modelos SARIMA(1,0,1)×(2,1,0)$_{36}$, parcimonioso (Parcim) e os dados observados para a velocidade do vento (VelVnt – m s^{-1})



Fonte: Autores, 2026.

Os comparativos da variável RadSol indicaram que o RadSol_SARIMA tendeu a superestimar, sistematicamente, a radiação na maior parte dos decêndios, especialmente em novembro e no final de dezembro, apresentando maior amplitude que a série observada. Já o RadSol_Parcim mostrou comportamento intermediário, aproximando-se melhor dos valores reais em alguns pontos, mas ainda apresentando superestimação em parte de novembro e dezembro.

As métricas comparativas expostas na Tabela 2 confirmam, de modo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

quantitativo, os padrões observados nas avaliações, enfatizando que não houve um modelo universalmente superior dentre os testados, pois o SARIMA apresentou melhor desempenho para as variáveis PRP e TMin, enquanto o Parcim se destacou para a TMax e RadSol, e ambos apresentaram desempenho semelhante para UR e VelVnt. Com isso, os dois modelos foram adotados com o objetivo de determinar os indicadores agroclimáticos e os cenários de produtividade.

Tabela 2 – Métricas comparativas entre os dados observados e os modelos SARIMA e o parcimonioso (Parcim)

	Modelos	RMSE	MAE
PRP	Observado X SARIMA	42,22887	36,83879
	Observado X Parcim	48,75906	37,69303
TMax	Observado X SARIMA	4,491081	4,161889
	Observado X Parcim	3,220616	2,835773
TMin	Observado X SARIMA	2,974634	2,693259
	Observado X Parcim	4,375412	4,008935
UR	Observado X SARIMA	7,87645	7,561576
	Observado X Parcim	8,226875	6,920926
VelVnt	Observado X SARIMA	0,52973	0,415854
	Observado X Parcim	0,514935	0,415675
RadSol	Observado X SARIMA	5,939314	5,06208
	Observado X Parcim	3,908413	3,246548

Fonte: Autores, 2026.

3.4 Indicadores agroclimáticos estimados

Com a aceitação dos modelos e as previsões das variáveis climáticas, para os decêndios compreendidos entre os meses de outubro a dezembro de 2025, foram calculadas as ETo que, em conjunto com a Prp, estimaram os SHD. Os resultados, expostos na Tabela 3, mostram que nos dados observados houve predominância da condição de excedente hídrico, especialmente em outubro e no início de dezembro, com apenas dois momentos destoando desse padrão: terceiro decêndio de novembro (2025-11-D3), com ocorrência de déficit (SHD = -59,85 mm), e o terceiro decêndio de dezembro (2025-12-D3) que apresentou um saldo positivo (SHD = 3,16 mm), podendo ser considerado como equilibrado.

Esse comportamento dos dados observados corrobora as considerações

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

apresentadas anteriormente, evidenciando que, embora Cascavel apresente elevado índice pluviométrico (Prp = 733 mm acumulados entre outubro e dezembro de 2025), a distribuição é irregular, com a ocorrência de eventos extremos caracterizados por períodos de estiagem (2025-11-D3) seguidos por episódios de precipitação intensa (2025-10-D2 e 2025-12-D1). Esse padrão também foi observado por Schmoeller e Limberger (2023), que identificaram um aumento na frequência de períodos secos intercalados com eventos de chuva superiores a 20 mm d^{-1} na região Oeste do Paraná.

Tabela 3 – Comparativo entre os saldos hídricos decendiais

	Saldo hídrico decendial (SHD)		
Decêndios	**Observado (mm)**	**SARIMA (mm)**	**Parcim (mm)**
2025-10-D1	16,22	6,32	0,39
2025-10-D2	105,73	64,34	18,95
2025-10-D3	27,36	59,62	57,19
2025-11-D1	51,99	-14,72	13,39
2025-11-D2	59,47	-10,64	-10,30
2025-11-D3	-59,85	5,17	39,58
2025-12-D1	81,60	57,58	87,38
2025-12-D2	65,03	-13,85	2,58
2025-12-D3	3,16	-20,77	-2,18

Fonte: Autores, 2026.

As estimativas hídricas do modelo SARIMA, com Prp total de 548 mm, conseguiram reproduzir os excedentes de outubro e o primeiro decêndio de dezembro (2025-12-D1), embora tenha apresentado tendência de condições mais restritivas de umidade, com exceção do terceiro decêndio de outubro (2025-10-D3) que superou os dados observados em mais de 30 mm. Para os demais decêndios indicou déficit que pode ser considerado moderado, mas sem conseguir capturar a restrição hídrica observada em 2025-11-D3, classificando-o como excedente (SHD = 5,17 mm).

No modelo Parcim, com 612 mm de Prp prevista, houve maior concordância com os dados observados, especialmente ao manter a condição de excedente em outubro e no início de dezembro, mas sem atingir o mesmo saldo, reforçando a tendência de suavização dos modelos da classe ARIMA, como apontado em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

Caminha *et al*. (2025).

Assim como ocorreu no SARIMA, o Parcim também não identificou a restrição hídrica do terceiro decêndio de novembro (2025-11-D3), considerando-o como excedente (SHD = 39,58 mm), mas apresentou um SHD positivo nos dois últimos decêndios de dezembro, superando o SARIMA.

Dessa forma, pode-se considerar que os modelos demonstraram boa capacidade de identificar períodos de excedente hídrico, mas com limitações na detecção de eventos de restrição, especialmente aquela registrada em novembro, vindo a ratificar as observações feitas durante as seleções do SARIMA.

Isso também foi notado nos resultados dos indicadores agroclimáticos (Figura 8) que evidenciaram diferenças importantes entre os modelos e os valores observados, mantendo a coerência com as análises anteriores. O modelo SARIMA demonstrou melhor desempenho na reprodução do déficit total (59,98), reproduzindo adequadamente os valores observados, mas tendeu a superestimar a ocorrência e intensidade de déficits em períodos específicos, sobretudo na fase de floração (34,6 mm) e na frequência de eventos deficitários (45%). Já o Parcim apresentou menor viés na frequência de déficit (22%), porém subestimou o déficit total acumulado (12,5 mm), reforçando que ambos apresentaram desempenhos distintoso e indicando não haver superioridade absoluta de um sobre o outro.

3.5 Os cenários e os análogos climáticos

Com base nos indicadores agroclimáticos derivados das séries históricas, foram construídos os cenários de similaridade (Euclidiano, Manhattan e Mahalanobis), permitindo identificar os anos mais análogos à configuração agroclimática projetada para a safra 2025/26. Os resultados obtidos pelos modelos SARIMA e Parcim são apresentados na Tabela 4.

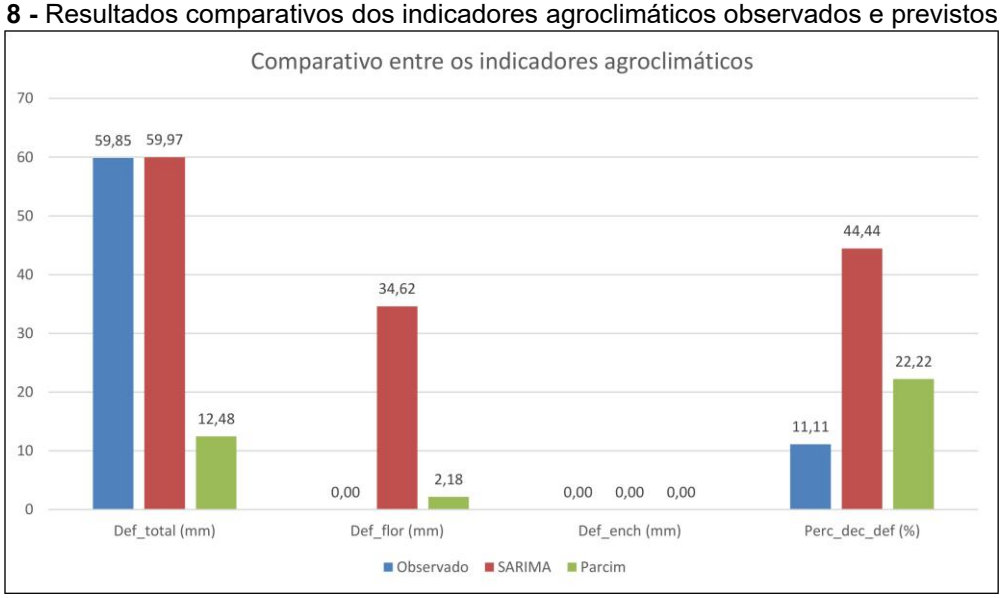
Ressalta-se que, embora a Tabela 4 apresente os valores do déficit hídrico durante o enchimento de grãos (Def_ench), correspondente ao período entre o 1º e o 3º decêndio de janeiro (estádio R5), esse indicador não foi considerado no cálculo das métricas de similaridade. Essa decisão decorre do fato de que os modelos SARIMA e Parcim não foram configurados para realizar previsões para

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

os meses de janeiro e fevereiro de 2026. Consequentemente, a Figura 8 apresenta valores nulos para esse período, devido à indisponibilidade de dados observados utilizados na validação. Dessa forma, evitou-se a inclusão de informações incompletas, preservando a consistência das métricas de similaridade que foram calculadas, exclusivamente, com os indicadores disponíveis dentro do horizonte de previsão (outubro a dezembro de 2025), compreendendo P_total, Def_total, Def_flor e Perc_dec_def. Assim, a comparação entre os anos históricos e os cenários projetados foi realizada considerando períodos temporalmente equivalentes.

Figura 8 - Resultados comparativos dos indicadores agroclimáticos observados e previstos



Fonte: Autores, 2026.

Dentre os análogos identificados é possível observar a recorrência de anos como 1980/81, 1993/94 e 1998/99 entre os diferentes cenários, o que indica uma forte proximidade estrutural entre essas safras e a configuração climática projetada.

Para o modelo SARIMA o cenário Euclidiano caracterizou-se por volumes de precipitação total elevados (850 a 970 mm) e altos déficits hídricos (150 a 216 mm). Mesmo a disponibilidade hídrica sendo considerada satisfatória, dentro dos critérios estabelecidos em Seixas *et al*. (2020) e próximas do observado, a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

ocorrência de déficits em 40% a 53% dos decêndios sinalizou limitações hídricas pontuais, notadamente na fase de floração.

No cenário Manhattan houve uma maior variabilidade e irregularidade pluviométrica (entre 750 e 985 mm), com o déficit total variando entre 150 mm (safra 1998/99) e 249 mm (safra 2007/08). Os déficits na fase de floração variam entre 28 e 78 mm, sendo que a safra de 2007/08, exclusiva desse cenário, apresentou 32,25 mm de déficit, valor muito próximo daquele obtido no modelo SARIMA (34,6 mm).

O cenário baseado na distância de Mahalanobis apresentou os maiores contrastes entre as safras selecionadas. Essa abordagem, por considerar simultaneamente a variabilidade e a estrutura de correlação entre os indicadores agroclimáticos, pode selecionar análogos com volumes absolutos de precipitação bastante distintos do cenário atual, como observado para a safra 1974/75, que registrou apenas 306,86 mm de precipitação acumulada. Nesse caso, a similaridade estatística entre o conjunto de variáveis foi priorizada em detrimento da proximidade do acumulado pluviométrico total. Além disso, essa safra concentrou parcela expressiva da deficiência hídrica na fase de enchimento de grãos (Def_ench), condição que pode comprometer a formação e o enchimento das vagens (Farias *et al.*, 2007). A inclusão da safra 2023/24 entre os anos análogos também reforçou esse comportamento, em razão do elevado déficit hídrico total (222,79 mm) e da ocorrência de restrição hídrica em aproximadamente 53% dos decêndios.

Pelos critérios de similaridade do modelo Parcim evidenciou-se um conjunto de anos marcados por maior estabilidade hídrica, indicando tendência de aproximação da safra 2025/26 com padrões historicamente úmidos ou de déficit não tão acentuados como no SARIMA.

No cenário Euclidiano do modelo Parcim ocorreu uma predominância de anos com volumes pluviométricos superiores a 1000 mm e baixa restrição hídrica (26% a 40% dos decêndios). Nesses casos, o déficit nas fases críticas foi reduzido ou inexistente, indicando um padrão de regularidade ideal ao longo do ciclo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

Tabela 4 - Safras análogas à safra 2025/26, segundo métricas de similaridade para o modelo SARIMA e o comum parcimonioso (Parcim)

	Cenário	Safra	P_total (mm)	Def_total (mm)	Def_flor (mm)	Def_ench * (mm)	decêndios com déficit (%)
SARIMA	Euclidiano	1980/81	749,06	203,34	40,07	33,94	53,33
		1993/94	853,54	155,09	78,02	27,72	46,67
		1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		2006/07	969,11	167,35	58,85	29,08	46,67
		1976/77	851,05	216,43	24,17	50,97	46,67
	Manhattan	1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		1980/81	749,06	203,34	40,07	33,94	53,33
		2007/08	930,71	249,10	32,25	11,37	46,67
		1993/94	853,54	155,09	78,02	27,72	46,67
		1995/96	985,77	200,06	47,90	7,08	40,00
	Mahalanobis	1993/94	853,54	155,09	78,02	27,72	46,67
		1980/81	749,06	203,34	40,07	33,94	53,33
		1974/75	306,86	73,46	0	50,14	66,67
		1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		2023/24	768,90	222,79	45,01	65,02	53,33
Parcim	Euclidiano	1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		1975/76	1151,07	98,68	48,83	0,88	33,33
		2010/11	1082,93	134,75	13,96	35,78	40,00
		2002/03	1114,87	97,27	70,67	23,91	26,67
		1995/96	985,77	200,06	47,90	7,08	40,00
	Manhattan	1996/97	1156,97	167,12	0	24,75	26,67
		2015/16	1466,81	66,85	0	9,70	26,67
		1975/76	1151,07	98,68	48,83	0,88	33,33
		1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		2002/03	1114,87	97,27	70,67	23,91	26,67
	Mahalanobis	2002/03	1114,87	97,27	70,67	23,91	26,67
		1998/99	945,07	150,50	28,50	27,43	40,00
		1993/94	853,54	155,09	78,02	27,72	46,67
		1980/81	749,06	203,34	40,07	33,94	53,33
		1995/96	985,77	200,06	47,90	7,08	40,00

* O indicador agroclimático Def_ench não foi utilizado no cálculo das métricas de similaridade por corresponder ao período de enchimento de grãos (janeiro), não contemplado no horizonte de previsão deste estudo.

Fonte: Autores, 2026.

Essas características favoráveis se mantiveram no cenário de Manhattan, com a recorrência de safras como 1975/76 e 2002/03, reforçando a identificação de padrões climáticos estáveis, com frequência de estresse inferior a 40%. No entanto, o cenário de Mahalanobis registrou redução nos totais pluviométricos e aumento do déficit acumulado (até 53% dos decêndios), especialmente na

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

floração, sugerindo uma maior vulnerabilidade produtiva.

3.6 A estimativa parcial da produtividade

Com a determinação dos cenários e a obtenção das safras mais semelhantes à prevista de 2025/26 foi possível estimar parcialmente a produtividade para os modelos testados (Tabela 5). Para o SARIMA, as médias de produtividade se situaram entre 3,14 t ha^{-1} (cenário de Manhattan) e 3,40 t ha^{-1} (cenário Euclidiano), enquanto o cenário de Mahalanobis registrou 3,38 t ha^{-1}. Esse comportamento evidenciou que não há queda acentuada da média, mesmo sob condições menos favoráveis, sugerindo relativa consistência do conjunto de anos análogos selecionados.

Entretanto, destaca-se a maior dispersão interna das produtividades, com a existência de safras de desempenho excepcional como 1980/81 (5,17 t ha^{-1}) e anos de rendimento reduzido como 1993/94 (2,21 t ha^{-1}), que podem atuar como *outlier* e elevar, artificicialmente, as médias, o que exige cautela nas interpretações dos cenários Euclidiano e Manhattan. Mesmo assim, essa amplitude indica que o modelo conseguiu captar a variabilidade histórica, respondendo tanto a extremos positivos quanto negativos, projetando uma expectativa média consistente, mas associada a maior variabilidade e, consequentemente, maior amplitude de risco produtivo.

Já no modelo comum parcimonioso as médias foram ligeiramente superiores e mais homogêneas: 3,40 t ha^{-1} (cenário Euclidiano), 3,50 t ha^{-1} (cenário de Manhattan) e 3,36 t ha^{-1} (cenário de Mahalanobis). A amplitude entre cenários foi menor e as produtividades concentraram-se, predominantemente, entre 3,0 e 4,2 t ha^{-1}, indicando padrão histórico mais estável. Diferentemente do SARIMA, o cenário de Manhattan apresentou a maior média, sugerindo que os anos análogos selecionados pelo Parcim estão associados a desempenho produtivo mais consistente e com menor influência de extremos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

Tabela 5 - Produtividade das safras análogas à safra 2025/26 segundo o modelo SARIMA e o comum parcimonioso (Parcim)

	Cenário	Safra	Área_total (ha)	Produção (t)	Produtividade (t ha⁻¹)
SARIMA	Euclidiano	1980/81	52.435	271.278	5,17
		1993/94	60.050	132.733	2,21
		1998/99	75.000	230.500	3,07
		2006/07	82.000	238.059	2,90
		1976/77	50.903	186.164	3,66
	Média	-	-	-	**3,40**
	Manhattan	1998/99	75.000	230.500	3,07
		1980/81	52.435	271.278	5,17
		2007/08	87.700	265.849	3,03
		1993/94	60.050	132.733	2,21
		1995/96	65.100	144.126	2,21
	Média	-	-	-	**3,14**
	Mahalanobis	1993/94	60.050	132.733	2,21
		1980/81	52.435	271.278	5,17
		1974/75	37.758	136.500	3,62
		1998/99	75.000	230.500	3,07
		2023/24	102.000	290.000	2,84
	Média	-	-	-	**3,38**
Parcim	Euclidiano	1998/99	75.000	230.500	3,07
		1975/76	48.203	187.200	3,88
		2010/11	81.500	298.853	3,67
		2002/03	72.000	298.853	4,15
		1995/96	65.100	144.126	2,21
	Média	-	-	-	**3,40**
	Manhattan	1996/97	70.546	182.120	2,58
		2015/16	97.498	370.028	3,80
		1975/76	48.203	187.200	3,88
		1998/99	75.000	230.500	3,07
		2002/03	72.000	298.853	4,15
	Média	-	-	-	**3,50**
	Mahanalobis	2002/03	72.000	298.853	4,15
		1998/99	75.000	230.500	3,07
		1993/94	60.050	132.733	2,21
		1980/81	52.435	271.278	5,17
		1995/96	65.100	144.126	2,21
	Média	-	-	-	**3,36**

Fonte: Autores, 2026.

Comparativamente, ambos os modelos convergiram para uma produtividade estimada entre 3,14 e 3,5 t ha⁻¹, com desvios-padrão entre 0,65 e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

1,29 t ha^{-1}. Embora as médias tenham apresentado elevada consistência entre os cenários avaliados, as produtividades individuais das safras análogas variaram entre 2,21 e 5,17 t ha^{-1}, refletindo a variabilidade climática e tecnológica presente na série histórica. Dessa forma, os valores obtidos devem ser interpretados como uma faixa exploratória baseada em analogia agroclimática, e não como uma estimativa determinística da produtividade, uma vez que não foi realizada correção da tendência temporal da produtividade (*de-trending*), podendo a evolução tecnológica influenciar a comparabilidade entre safras de diferentes períodos.

As estimativas do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná, 2025) apontam que a produção de soja no estado deve crescer cerca de 4,23% em relação à safra 2024/25. Em Cascavel, segundo dados da Tabela 5457 (IBGE, 2024), a produtividade registrada na última safra foi de aproximadamente 3,39 t ha^{-1}. Com esse aumento projetado, a tendência é que a produtividade alcance em torno de 3,53 t ha^{-1} na safra 2025/26, indicando um cenário positivo para o município.

Quando comparadas às médias parciais projetadas pelos modelos (3,14 a 3,50 t ha^{-1}), as estimativas oficiais para o estado apresentaram valores ligeiramente superiores. Essa diferença pode ser atribuída à distinta escala espacial das análises (Estado versus Município), às diferenças metodológicas entre as abordagens (projeção institucional multivariada versus analogia agroclimática) e ao perfil histórico das safras selecionadas como análogas.

Apesar dessas diferenças, os resultados sugerem que a safra 2025/26 tende a posicionar-se em um patamar produtivo intermediário a favorável, mantendo a perspectiva de continuidade do elevado potencial produtivo regional e alinhando-se à tendência de crescimento indicada pelo cenário estadual, o que constitui uma referência externa preliminar para a interpretação dos resultados.

Contudo, essas estimativas devem ser interpretadas como uma referência agroclimática derivada da analogia entre safras com comportamento climático semelhante, desconsiderando tanto a evolução tecnológica ocorrida ao longo da série histórica quanto as limitações inerentes à abordagem adotada. Nesse

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

contexto, a metodologia proposta representa uma ferramenta complementar para o prognóstico antecipado da produtividade da soja e para o gerenciamento de riscos climáticos, devendo sua aplicação ser integrada a informações agronômicas, edáficas, fitossanitárias e de manejo, de modo a subsidiar a tomada de decisão no planejamento agrícola.

4. Conclusão

O presente estudo projetou a produtividade parcial da soja para a safra 2025/26 no município de Cascavel (PR) por meio da modelagem estatística de séries climáticas decendiais concentrando-se, exclusivamente, nos períodos de outubro a dezembro de 2025 e na construção de cenários agroclimáticos baseados em analogia histórica.

Apesar das características distintas das bases meteorológicas utilizadas (série interpolada em grade e observação pontual), que podem contribuir para parte das diferenças entre valores previstos e observados, a adoção da escala decendial mostrou-se adequada para representar a variabilidade climática intrassazonal e identificar potenciais limitações hídricas durante fases fenológicas iniciais da cultura. Os modelos SARIMA apresentaram desempenho consistente na representação da sazonalidade climática, embora com tendência à suavização de eventos extremos, enquanto o modelo comum parcimonioso demonstrou estabilidade e desempenho preditivo competitivo. Entretanto, verificou-se limitação na representação de eventos deficitários isolados, como o observado no terceiro decêndio de novembro de 2025 (2025-11-D3), indicando maior capacidade dos modelos para reproduzir padrões sazonais do que para antecipar eventos extremos de curta duração. Esses resultados reforçam que não houve superioridade universal entre as abordagens avaliadas, sendo sua adequação dependente do indicador climático analisado.

As projeções indicaram predominância de condições hídricas favoráveis durante o horizonte de previsão, com identificação de potenciais limitações hídricas pontuais. A produtividade estimada situou-se entre 3,14 e 3,5 t ha^{-1}, constituindo uma referência exploratória baseada na analogia com safras

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

historicamente semelhantes, cuja interpretação deve considerar a evolução tecnológica observada ao longo da série histórica. Ressalta-se, ainda, que o desempenho final da safra permaneceu condicionado às condições meteorológicas dos meses subsequentes, especialmente durante janeiro e fevereiro de 2026.

Sendo assim, os resultados evidenciam a relevância da modelagem climática decendial integrada à análise de similaridade histórica como uma abordagem complementar de suporte ao prognóstico agroclimático e ao gerenciamento de riscos agrícolas em regiões com elevada variabilidade pluviométrica intrassazonal, como Cascavel (PR).

O desempenho diferenciado dos modelos evidenciou que a representação do risco agroclimático depende do indicador adotado, reforçando a necessidade de abordagens metodológicas complementares, como a utilização de balanços hídricos capazes de representar, de forma mais realista, a disponibilidade de água no sistema solo–planta. Ressalta-se ainda, que o desempenho produtivo da soja também pode ser influenciado por outros fatores não contemplados nesta abordagem, como excesso hídrico, baixa disponibilidade de radiação solar, ocorrência de doenças, características do solo e práticas de manejo como alterações no caledário de plantio, mesmo em safras com saldo hídrico climático favorável.

Nesse sentido, recomenda-se, em estudos futuros, a incorporação de modelos não lineares, técnicas de *machine learning* e abordagens híbridas, capazes de representar eventos extremos e relações complexas entre variáveis climáticas e produtividade. Além disso, a integração de variáveis edáficas e de manejo agrícola pode ampliar a robustez das projeções, permitindo análises mais realistas da interação clima–solo–planta em escala municipal.

Referências

AMARAL, Alisson Macendo et al. Modelagem da precipitação provável para a irrigação da soja no Cerrado Mineiro utilizando distribuição Gama. **REMUNOM**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1–22, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.66104/5vwaq915.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

ANDERSON, David R.; SWEENEY, Dennis J.; WILLIAMS, Thomas A. **Estatística aplicada à administração e economia**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

AKAIKE, Hirotugu. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

APARECIDO, Lucas Eduardo de Oliveira et al. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for adaptation in the State of Paraná, Brazil. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 126, p. 248–258, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916.

BAIOCO, Rafaela Adam et al. Impacto da estiagem sobre a safra de soja 2021/22 no núcleo regional de Cascavel. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 1–11, 2023. Disponível em: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9038234.

BAPTISTA, Caio et al. **A variabilidade climática e a produtividade da soja**: Uma análise para as regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil entre 2002 e 2016. *In*: XIX ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 19, 2021, Online. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABER, 2021. Disponível em: https://brsa.org.br/wp-content/uploads/wpcf7-submissions/4491/Soja-ENSO-Nomes.pdf.

BOX, George E. P.; JENKINS, Gwilym M. **Time series analysis**: Forecasting and control (rev. ed). San Francisco: CA: Holden-Day, 1976.

CAMELO, Henrique do Nascimento et al. Métodos de previsão de séries temporais e modelagem híbrida ambos aplicados em médias mensais de velocidade do vento para regiões do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 4, p. 565–574, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-7786324005.

CAMINHA, Alice Raquel et al. Previsão de precipitação e vazão a partir da modelagem de séries temporais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 36, n. 21, p. 264–290, 2025. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

https://doi.org/10.55761/abclima.v36i21.18885.
CHA, Sung-Hyuk. Comprehensive survey on distance/similarity measures between probability density functions. **International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 300–307, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277286121_Comprehensive_Survey_on_DistanceSimilarity_Measures_Between_Probability_Density_Functions

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: Safra 2023/24. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-10o-levantamento-2025.pdf.

ETHERINGTON, Thomas. Mahalanobis distance as a measure of environmental similarity for biological and agricultural studies. **Methods in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 10, n. 12, p. 2024–2030, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.7717/peerj.6678 .

FARIAS, José Renato Bouças; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; NEUMAIER, Norman. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Circular técnica, n. 48). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/470308.

GODOI, Luiza Caroline Medeiros; MANOSSO, Fernando César. Previsão de temperatura com modelos SARIMA: Uma abordagem por séries temporais. **Revista RGE Interdisciplinar**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 1–23, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.56238/revgeov17n5-101.

GOMES, Mouglas Eugênio Nasário; MORAIS, Bárbara Silva; DE MATTOS-NETO, Paulo Salgado Gomes. Enhancing ARIMA with Residual Kalman Filtering for Robust Time Series Prediction. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E COMPUTACIONAL (ENIAC), 22, 2025, Fortaleza/CE. **Anais**[...]. Porto Alegre: SBC, 2025. p. 25-36. ISSN 2763-9061. DOI:https://doi.org/10.5753/eniac.2025.11774.

HANNAN, Edward James; QUINN, Barry G. The determination of the order of an autoregression. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 190–195, 1979.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi. O contexto econômico da produção de soja. In: SEIXAS, C. D. S. *et al*. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 17–26. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

1.pdf.
HYNDMAN, Rob J.; KHANDAKAR, Yeasmin. Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 1–22, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal (PAM) 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 5457**: Área plantada, área colhida, produção e rendimento médio de cereais, leguminosas e oleaginosas. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457.

IDR-PARANÁ. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. **Primeira estimativa da safra 2025/26 mostra aumento na produção de soja e milho no Paraná.** Londrina: IDR-Paraná, 2025. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Primeira-estimativa-da-safra-202526-mostra-aumento-na-producao-de-soja-e-milho-no-Parana.

JOHANN, Jerry Adriani. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/845863.

KOTHIYAL, Shivani et al. SARIMA-based time series analysis of rainfall and temperature for the Tarai region of Uttarakhand. **Journal of Agrometeorology**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 73–76, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.54386/jam.v27i1.2838.

LIMA, Luis Philippe de Arruda et al. Utilização de estatística descritiva e de modelo SARIMA no estudo de precipitação na região sudeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 14, n. 1, p. 25-34, 2020. Disponível em: http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca.

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Clélia Maria de Castro. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NITSCHE, Pablo Ricardo et al. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 2019. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf

PEREIRA, Antônio Roberto e ANGELOCCI, Luiz Roberto e SENTELHAS, Paulo César. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

ROSSATTO, Antônio Augusto Pinto et al. Partição da evapotranspiração da cultura da soja em diferentes cultivares em cada estádio fenológico. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 477–492, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n3p477-492.

SANDMANN, André et al. Produção de soja no município de Cascavel - PR: Índices pluviométricos como principal fator de influência. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 10, e04161, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n10-045.

SANTOS, Pedro Henrique Alves Bittencourt et al. Ajuste de um modelo de séries temporais para prever a precipitação pluviométrica. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 6, e13910615643, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15643.

SCHMOELLER, Angélica Maiara Pivatto; LIMBERGER, Leila. Detecção de padrões de mudanças climáticas no Oeste e Sudoeste do Paraná no período de 1977-2018. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 1697-1713, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1697-1713.

SCHWARZ, Gideon. Estimating the dimension of a model. **The Annals of Statistics**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978. Disponínel em: https://www.jstor.org/stable/2958889

SEAB. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (PR). **Evolução da área colhida, produção, rendimento, participação e colocação Paraná/Brasil:** Principais culturas (1970–2025). Curitiba: SEAB, 2025. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/ProducaoAnual.

SEAB. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Prognóstico de safra**: Soja. Curitiba: SEAB, 2024. Disponível em: https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Deral-preve-crescimento-da-safra-paranaense-de-soja-milho-feijao-e-batata-em-202425.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos et al. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/06/2026 - **Accepted:** 28/07/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/g2jgj981
Pages: 1-35

http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123928.
SENTELHAS, Paulo César et al. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real clima e produtividade. **Boletim de Pesquisa**, Rondonópolis, p. 1-15, 2015. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/eb033abf-94cf-4375-84d3-8a270ee7a77c/3093142-Clima_e_produtividade_da_soja_efeitos_nas_produtividades_potencial__ating%C3%ADvel_e_real.pdf.

THOMAS, André Luís; COSTA, José Antonio. **Soja: Manejo para alta produtividade de grãos.** Porto Alegre: Evangraf, 2010. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/255769/000737276.pdf?sequence=1.

TODESCHINI, Thaiana; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. Previsão de Vazões com Modelos Orientados por Dados: Comparação entre Método de Séries Temporais e de Aprendizado de Máquina na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 41, e41260001, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-778641260001.

USDA. U.S. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **World agricultural production**. Washington, DC: USDA, 2023. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/PSDOnline/Circulars/2023/06/production.pdf.