

**(X) Graduação ( ) Pós-Graduação**

**USO DA PRECIPITAÇÃO NA PREVISÃO ANTECIPADA DA PRODUTIVIDADE DE  
SOJA NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL**

**João Antônio Lourençone**

**IFMS, Campus Naviraí**

**joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br**

**Guilherme Botega Torsoni**

**IFMS, Campus Naviraí**

**guilherme.torsoni@ifms.edu.br**

**Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido**

**IFSul de Minas, Campus Muzambinho**

**lucas.aparecido@ifsuldeminas.edu.br**

**Gabriela Marins dos Santos**

**IFMS, Campus Naviraí**

**gabriela.santos9@estudante.ifms.edu.br**

**Rafael Fausto de Lima**

**IFMS, Campus Naviraí**

**rafaelwarlima@gmail.com**

**RESUMO**

A produtividade de soja no Mato Grosso do Sul é de extrema importância para mundo, esse trabalho tem como objetivo prever a produtividade de soja no Mato Grosso do Sul usando dados diários de precipitação. Utilizou-se dados meteorológicos e de produtividade de soja de 47 localidades do estado de Mato Grosso do sul. Foram utilizados dados meteorológicos diários de temperatura do ar ( $T$ , °C), precipitação ( $P$ , mm), irradiância solar global ( $Q_g$ , MJ m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>), velocidade do vento ( $u_2$ , m s<sup>-1</sup>), saldo de radiação ( $R_n$ , MJ m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) e umidade relativa ( $UR$ , %) do sistema NASA-POWER do período de 2002 a 2021. Para cada ponto de coleta foi calculada a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) pelo método padrão da FAO e o balanço

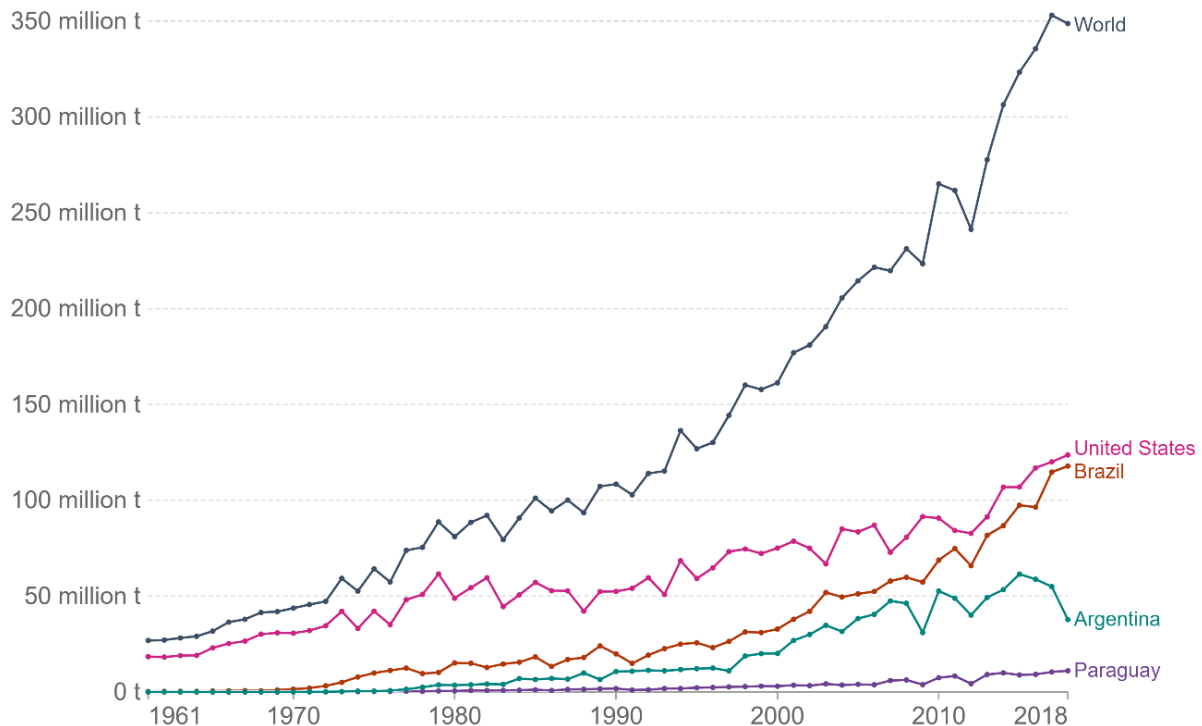
hídrico (BH) conforme Thornthwaite e Mather (1955). Para verificar a influência no clima na produtividade de soja foi usado a análise de correlação univariada de Pearson. As variáveis climáticas demonstraram grande variabilidade espacial e sazonal em todo Mato Grosso do Sul (MS). Nas análises entre a produtividade de soja e as variáveis climáticas do período fenológico demonstraram relações distintas e intensidades diversas. Um modelo de previsão em função somente da chuva é muito prático, entretanto apresentou uma acurácia média.

**Palavras-chave:** Mapeamento climático; zonas de produção; Bigdata; Climatologia.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção global de soja aumentou drasticamente nos últimos 50 anos, hoje é 13 vezes maior do que era no início da década de 1960. Inclusive nos últimos 21 anos, a produção mais que dobrou (RITCHIE; ROSER, 2021). Notou-se crescimento exponencial na produção e exportação de soja e produtos por países sul-americanos - principalmente Brasil (Figura 1).

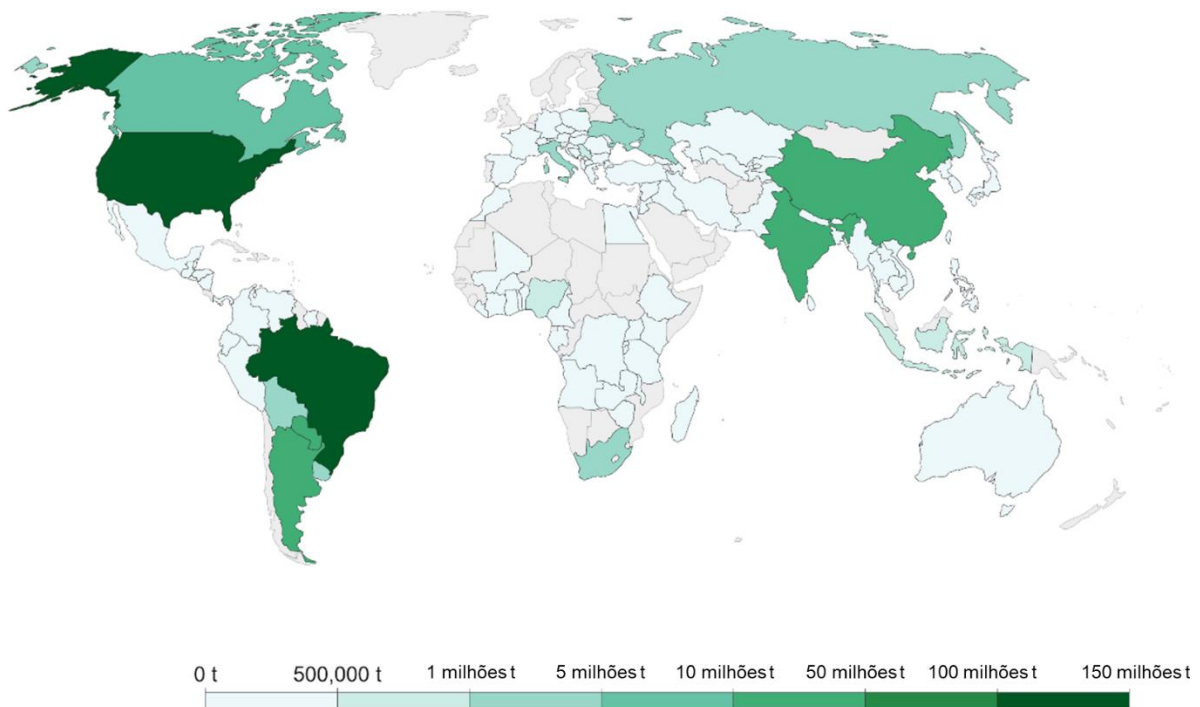
**Figura 1: A produção de soja Mundial.**



Fonte: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO)(RITCHIE; ROSER, 2020).

A produção mundial de soja é de mais de 362,947 milhões de toneladas no ciclo 2020/21 plantados em mais de 127,842 milhões de hectares. Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos com 112,549 milhões de toneladas, o Brasil com 135,409 milhões de toneladas e a Argentina com 41 milhões de toneladas (Embrapa, 2021) (Figura 2). O Estado do Mato Grosso do Sul produz 13,305 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

**Figura 2: Mapa Mundial de produção de soja, em 2018.**



Fonte: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO)(RITCHIE; ROSER, 2020).

A utilização da soja global é dividida em, 77% é fornecido ao gado para produção de carne e laticínios. A maior parte do restante (16%) é usada para biocombustíveis, indústria ou óleos vegetais. Apenas 7% da soja é usada diretamente para produtos alimentícios humanos, como tofu, leite de soja e edamame (soja verde)(RITCHIE; ROSER, 2021).

A soja é uma importante fonte de alimento, proteína e óleo e, portanto, mais pesquisas são essenciais para aumentar seu rendimento sob diferentes condições climáticas. Assim, o objetivo por meio deste trabalho é prever a produtividade de soja no Mato Grosso do Sul usando dados diários de precipitação.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Os principais fatores causadores da queda na produtividade da cultura da soja (Sentelhas et al., 2015) é motivado pelo clima, e dentre as variáveis climáticas o déficit hídrico é um dos elementos que mais limitam a produção (BATTISTI; SENTELHAS; BOOTE, 2017). Câmara (1991) também relatou que quando há variação nos fatores meteorológicos em uma região de cultivo, ocorre redução no crescimento, desenvolvimento e produção da cultura da soja.

Com condições climáticas adequadas a cultura da soja pode apresentar todo seu potencial produtivo e conseqüentemente maior produtividade, desde que não haja outros fatores limitantes (FRANKE; DORFMAN, 2000; KUSS, 2006; SMIDERLE et al., 2019). Dentre os fatores meteorológicos a temperatura do ar, radiação solar, a umidade do solo e deficiência hídrica, são determinantes sobre a eficiência dos processos fisiológicos nas plantas (BONATO et al., 1998).

A melhor forma de sintetizar quantitativamente os efeitos do clima sobre o surgimento das doenças nas culturas, a variação na produtividade agrícola e a qualidade dos grãos em plantas de soja, é por meio de técnicas de modelagem de cultivos (APARECIDO et al., 2017). Logo, grande parte dessas ocorrências causadas pelo clima, podem ser simuladas por meio do uso de modelos agrometeorológicos (ROLIM et al., 2008). Esses modelos ponderam os efeitos dos elementos climáticos sobre a produtividade dos cultivos.

Neste contexto, vários estudos foram realizados para avaliar os modelos de previsão com base no clima, destacando-se as pesquisas realizadas por Vale et al. (1990); FONTANA et al. (2001); Dourado Neto et al. (2004); Barbieri et al. (2010); Silva et al. (2012) e todos mostraram que a modelagem é de fundamental importância para previsão dos cultivos agrícolas. No entanto, a literatura ainda é escassa de trabalhos que possam prever o efeito das variáveis climáticas sobre o desenvolvimento e a produtividade da soja no Estado de Mato Grosso do Sul.

Determinar o papel do clima na variabilidade da produtividade de Soja não é tarefa fácil, mas é importante para estabelecer estratégias para mitigar a influência negativa do clima agricultura (KUSS, 2006).

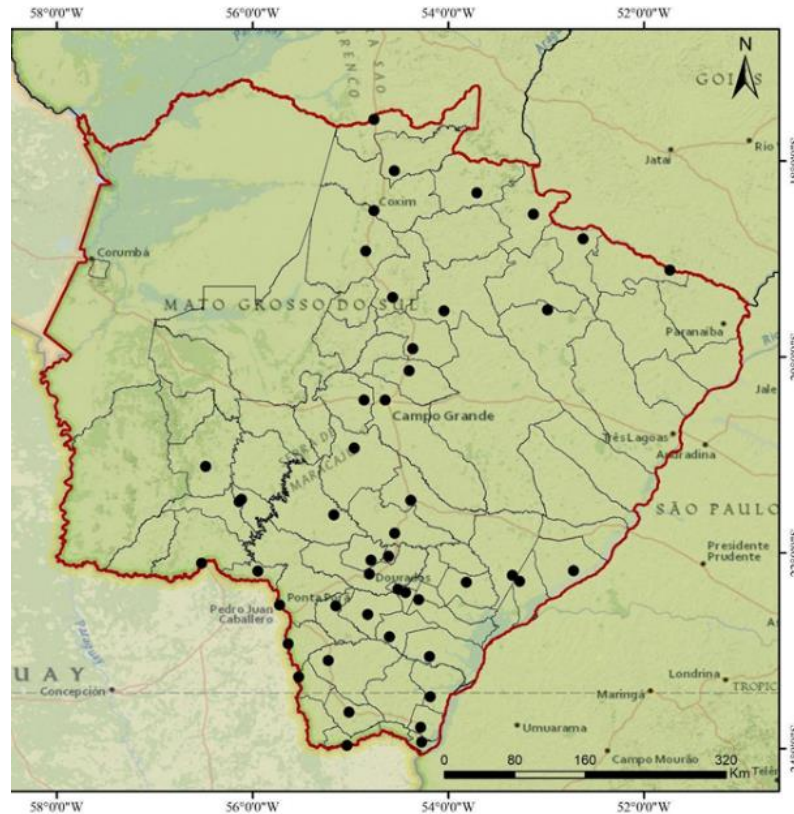
## **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Foram utilizados dados meteorológicos e de produtividade de soja obtidos em 47



localidades do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 3). Os dados de soja foram obtidos da APROSOJA.

**Figura 3: Localização geográfica das regiões produtoras de soja no Mato Grosso do Sul, Brasil.**



Fonte: Próprio Autor.

Foram utilizados dados meteorológicos diários de temperatura do ar ( $T$ , °C), precipitação ( $P$ , mm), irradiância solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), velocidade do vento ( $u^2$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ), saldo de radiação ( $R_n$ ,  $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) e umidade relativa ( $UR$ , %) do sistema NASA-POWER do período de 2002 a 2021. Os dados serão coletados respectivamente, em cada coordenada geográfica referente a cada ponto de produtividade da soja fornecido pela cooperativa. O grid do sistema NASA-POWER é de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (aproximadamente 56 km x 56 km) e os dados são provenientes de vários sistemas globais de medidas de superfície e de sensoriamento remoto, como também de modelagem meteorológica.

Para cada ponto de coleta foi calculada a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) pelo método padrão da FAO, proposto por Penman-Monteith (ALLAN; PEREIRA; SMITH, 1998), considerando o fluxo de calor sensível no solo igual a 5% da radiação líquida. Foi calculado

também o balanço hídrico (BH) conforme Thornthwaite and Mather (1955).

Para verificar a influência dos elementos climáticos na variação da produtividade de soja do MS foi utilizado a análise de correlação de Pearson (Equação 1). O valor da correlação assume apenas valores entre -1 e 1. Valores próximos de 1 significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. Valores próximos de -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui. Valores próximos de zero significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (1)$$

Interpretando o valor de  $\rho$  (correlação)

- 0.9 a 1 positivo ou negativo indica uma correlação muito forte.
- 0.7 a 0.9 positivo ou negativo indica uma correlação forte.
- 0.5 a 0.7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
- 0.3 a 0.5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
- 0 a 0.3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

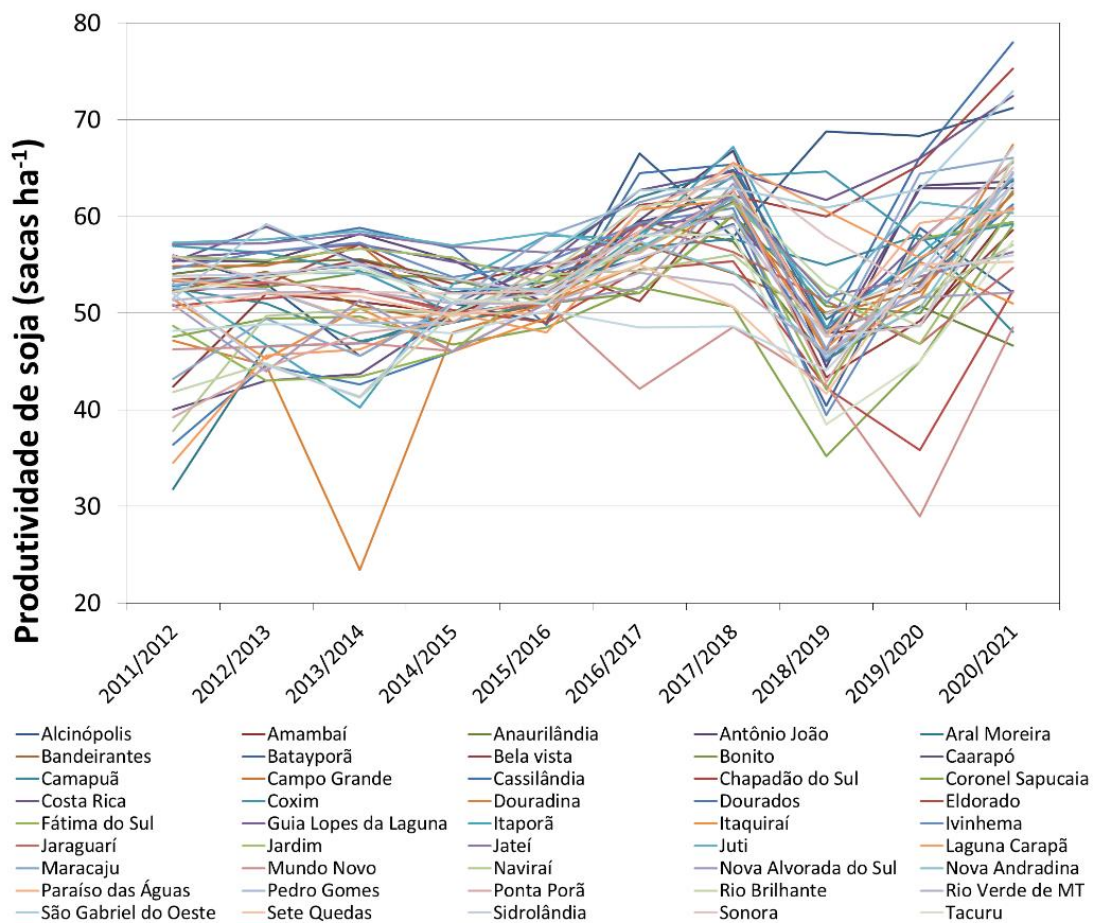
Para a predição de produtividade da soja utilizamos o algoritmo da Regressão Linear Múltipla (RLM), na qual a variável dependente foi a produtividade de soja e as variáveis independentes a precipitação diária dos meses de outubro, novembro e dezembro. Para avaliar o desempenho dos modelos utilizamos índices estatísticos de precisão e acurácia. Para avaliar a precisão foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) e para avaliar a acurácia foi utilizado o MAPE (Erro Percentual Absoluto Médio).

Todas as análises foram feitas com a linguagem de programação Python (<https://www.python.org/>, versão 3.7.3 ou superior) que permite o trabalho com grandes conjuntos de dados.

#### 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A produtividade de soja do Mato Grosso do sul média do de 2011 a 2021 foi de 53,71 sacas.ha<sup>-1</sup> (Figura 4) e ainda demonstrou uma grande variação, uma vez que apresentou um desvio padrão de 3,22 sacas.ha<sup>-1</sup>. A localidade do Mato Grosso do sul que demonstrou as maiores produtividades de soja foi Costa Rica com uma média de 60,31 sacas.ha<sup>-1</sup> e a localidade com as menores produtividades de soja foi Mundo Novo, um valor médio 44,76 sacas.ha<sup>-1</sup>.

**Figura 4: Variação da produtividade de soja no Mato grosso do sul de 2011 a 2021.**

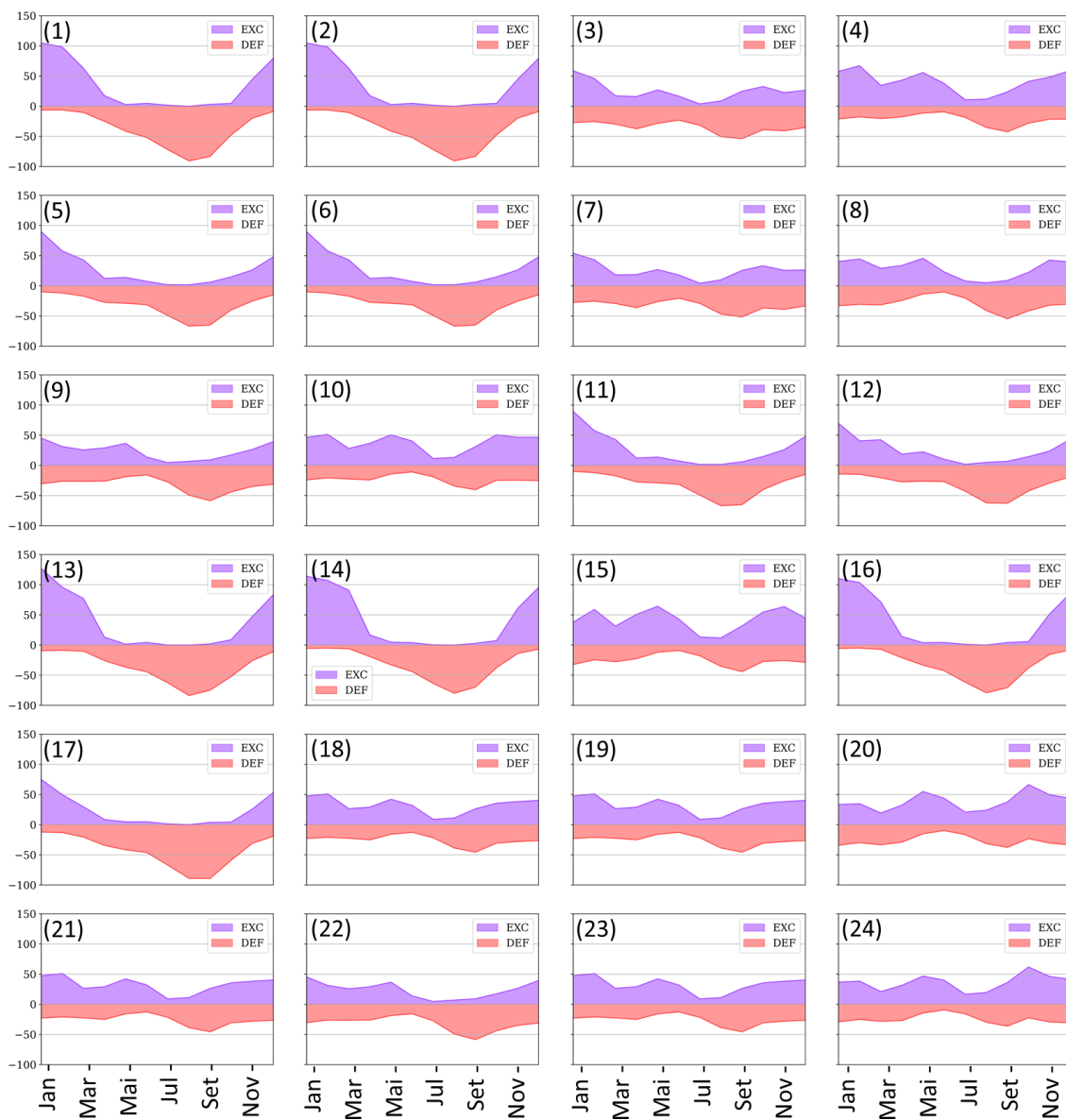


Fonte: Próprio Autor.

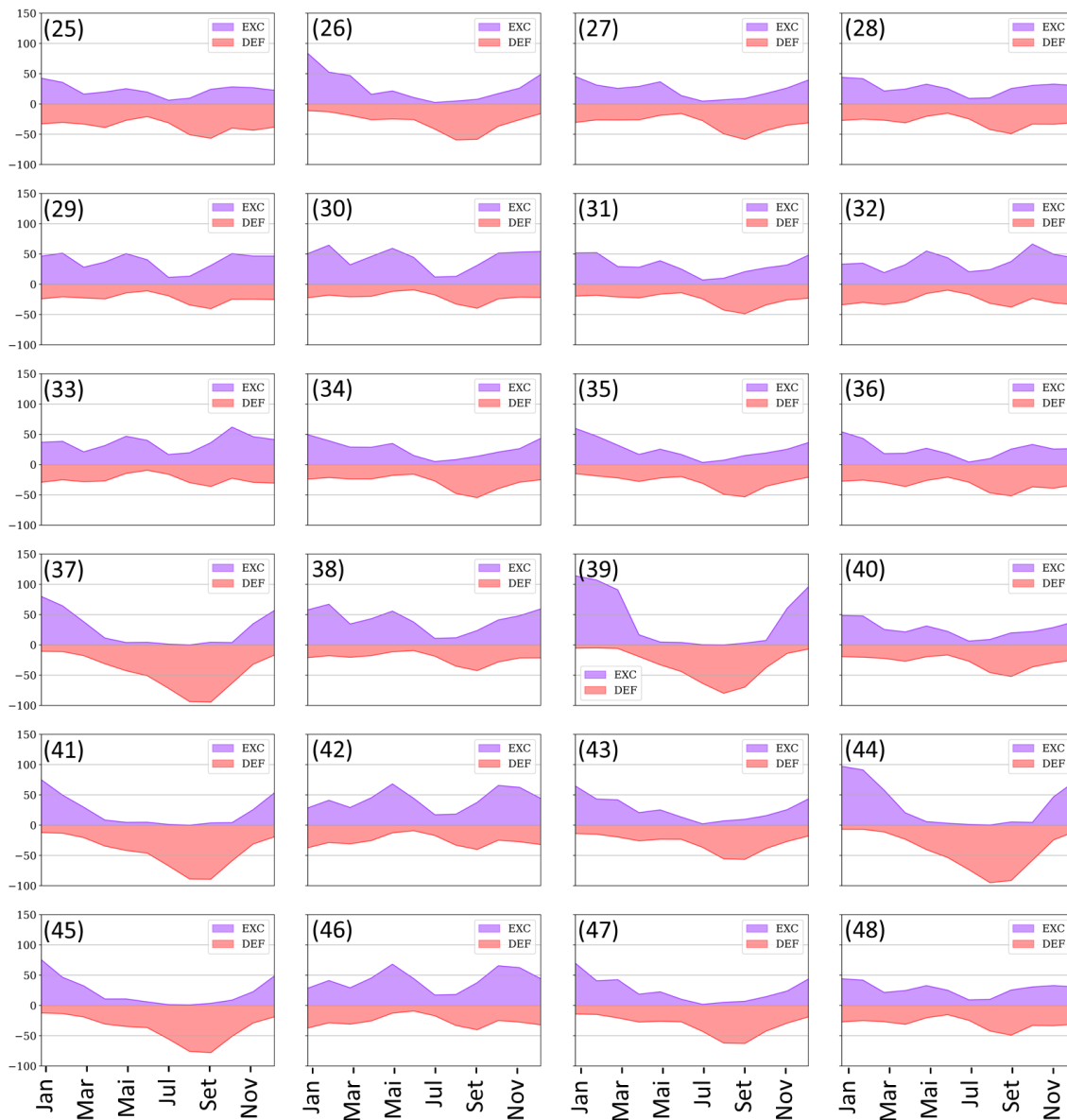
O clima influencia demasiadamente a produtividade de soja, assim realizamos o balanço hídrico climatológico para todas as localidades produtoras de soja. De maneira geral, os meses em que ocorreram os maiores valores de excedente hídrico foram no período de novembro a fevereiro, momento em que há as maiores precipitações. Por sua vez, observou-se que o período em que ocorre os déficits hídricos mais incidentes foram de maio a setembro (Figura 5).



**Figura 5: Balanços hídricos para as principais localidades produtoras de soja: 01=Alcinópolis; 02=Amambaí ;03=Anaurilândia ; 04=Antônio João ; 05=Aral Moreira ; 06=Bandeirantes ; 07=Batayporã ; 08=Bela vista ; 09=Bonito ; 10=Caarapó ; 11=Camapuã ; 12=Campo Grande ; 13=Cassilândia ; 14=Chapadão do Sul ; 15=Coronel Sapucaia ; 16=Costa Rica ; 17=Coxim ; 18=Douradina ; 19=Dourados ; 20=Eldorado ; 21=Fátima do Sul ; 22=Guia Lopes da Laguna ; 23=Itaporã ; 24=Itaquiraí ; 25=Ivinhema ; 26=Jaraguari ; 27=Jardim ; 28=Jateí ; 29=Juti ; 30=Laguna Carapã ; 31=Maracaju ; 32=Mundo Novo ; 33=Naviraí ; 34=Nioaque ; 35=Nova Alvorada do Sul ; 36=Nova Andradina ; 37=Paraíso das Águas ; 38=Pedro Gomes ; 39=Ponta Porã ; 40=Rio Brillhante ; 41=Rio Verde de MT ; 42= São Gabriel do Oeste ; 43=Sete Quedas ; 44=Sidrolândia ; 45=Sonora ; 46=Tacuru ; 47=Terenos ; 48 =Vicentina.**







Fonte: Próprio Autor.

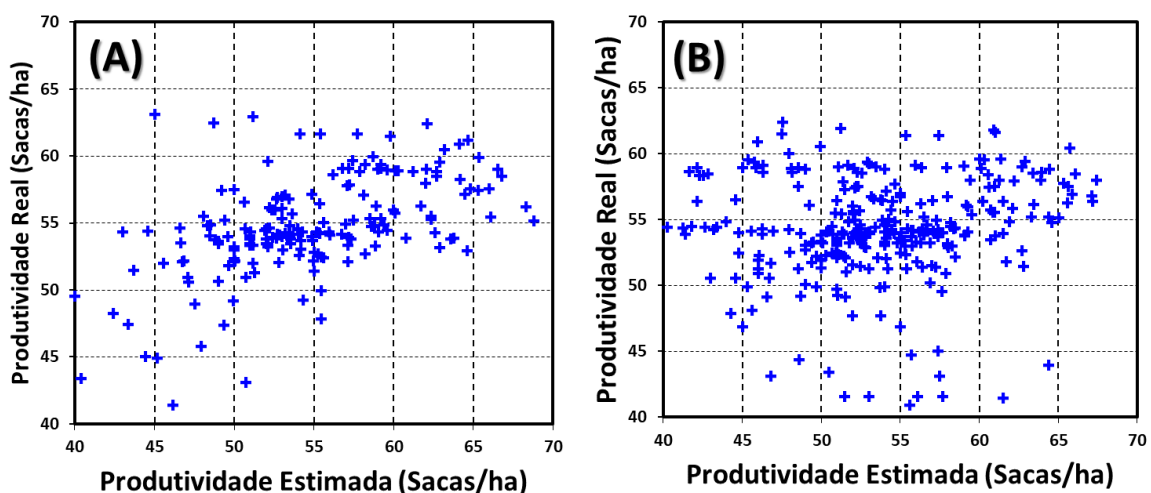
As correlações univariadas de Pearson entre a produtividade de soja e as variáveis climáticas do período fenológico demonstraram relações distintas e intensidades diversas (Tabela 1). Por exemplo, o armazenamento de água no solo (ARM) demonstrou correlações negativas, neutras e positivas em outubro, novembro e dezembro, respectivamente. Isso demonstra que o mesmo elemento climático tem influências diversas em função do período fenológico em que a planta se encontra naquele momento. O déficit hídrico demonstrou o inverso do ARM, pois teve correlação positiva em outubro e negativa em dezembro. Evidenciando que DEF no momento no início da maturação promove aumento da produtividade da soja. É interessante ainda destacar que DEF é um dos elementos mais importantes que influenciam as culturas agrícolas, podendo ser negativo ou positivo essa relação (JUMRANI; BHATIA, 2018).



Analisando as correções observamos que a precipitação foi uma variável climática bem influente e por isso calibramos o modelo de previsão em função da mesma (Equação. 1). Um modelo de previsão em função somente da chuva é muito prático, pois é uma variável que todos os produtores aferem em suas fazendas, o que facilita o seu uso em todo o estado do MS. O modelo de previsão de soja em função da chuva apresentou uma acurácia média como podemos observar nos gráficos de performance na Figura 6. Na calibração o modelo demonstrou um MAPE de 8.43% e  $r_{2adj}$  de 0.249 e no teste um MAPE de 8.92% e  $r_{2adj}$  de 0,20.

$$Prod = -0,24 \times 24_{10\_P} + 0,14 \times 2_{10\_P} + 0,25 \times 5_{10\_P} + 0,25 \times 10_{11\_P} + 53,66(1)$$

**Figura 6: Performance do modelo de previsão de soja em função da chuva na calibração (A) e teste (B) para o Mato Grosso do sul.**



Fonte: Próprio Autor.

## 5 CONCLUSÕES

Os elementos climáticos com maior correlação positiva foi 26\_12\_ARM (armazenamento do vigésimo sexto dia de dezembro) e negativa foi 2\_10\_TDEW (temperatura do ponto de orvalho do segundo dia de outubro, ocorrendo nos períodos fenológicos de enchimento de grãos e emergência, respectivamente.

Um modelo de previsão em função somente da chuva é muito prático, entretanto apresentou uma acurácia média, por isso motivo não recomendamos a previsão da soja somente em função da chuva. Recomendamos calibrar um modelo de previsão em função de mais elementos climáticas acoplados a variáveis de soja.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos FUNDECT pelos recursos disponibilizados para o desenvolvimento do projeto e ao IFMS pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

ALLAN, R.; PEREIRA, L.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. [s.l: s.n.]. v. 56

APARECIDO, L. E. DE O. et al. Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. **Bragantia**, v. 77, p. 193–200, 2017.

BARBIERI, V.; DA SILVA, F. C.; DIAS-AMBRONA, C. G. H. **Modelagem de cana de açúcar para previsão de produtividade de canaviais no Brasil e na Austrália**. Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE). **Anais...In: CONGRESSO DE AGROINFORMÁTICA, 2.**, 2010, Buenos Aires. Anales... Buenos ..., 2010.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 200, p. 28–37, 1 jan. 2017.

BONATO, E. R. et al. Desempenho de cultivares de soja em três épocas de semeadura, no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 879–884, 1998.

CÂMARA, G. M. S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja (Glycine max (L.) Merrill**. Viçosa: [s.n.].

CONAB, C. N. D. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2020/21: décimo primeiro levantamento**. Brasília: Conab, 2021.

DA SILVA, F. C. et al. Modelagem computacional do crescimento de cana-de-açúcar para predição de produtividade potencial. **Embrapa Informática Agropecuária-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2012.

**Dados econômicos - Portal Embrapa**. Disponível em:  
<<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 19 maio. 2022.

FONTANA, D. C. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, p. 399–403, 2001.

FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1675–1683, 2000.



JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 24, n. 1, p. 37–50, 1 jan. 2018.

KUSS, R. C. R. POPULAÇÕES DE PLANTAS E ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA SOJA. 2006.

NETO, D. D. et al. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Santa Maria: Revista Brasileira Agrometeorologia**, v. 12, n. 2, p. 359–367, 2004.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Agricultural Production. **Our World in Data**, 2020.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Forests and Deforestation. **Our World in Data**, 9 fev. 2021.

ROLIM, G. DE S. et al. Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 48–53, 2008.

SMIDERLE, O. et al. **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima**. [s.l: s.n.].

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M. Efeito do binômio temperatura-duração do molhamento foliar sobre a infecção por *Phakopsora pachyrhizi* em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 200–202, 1990.