

PREVISÃO TEMPORAL FUZZY PARA O DÉFICIT DA CAPACIDADE ESTÁTICA DE ARMAZENAGEM DE SOJA NO BRASIL

Palavras-Chave: Soja, Armazenagem, Séries Temporais

Autor: Felipe Dantas Apolinário - LOGICOM - FEAGRI

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Leda Ramos de Oliveira - LOGICOM - FEAGRI

Coorientador: Richardson Costa de Carvalho - LOGICOM - FEAGRI

INTRODUÇÃO:

A soja consolidou-se como um dos pilares do agronegócio e da economia brasileira, posicionando o país como o maior produtor mundial, com uma safra estimada em 166,3 milhões de toneladas no ciclo 2024/2025 (CONAB, 2025). Além disso, o grão respondeu por aproximadamente 20% das exportações totais brasileiras, gerando receitas superiores a 67 bilhões de dólares em 2023 (ABIOVE, 2024). Apesar desse protagonismo, o setor enfrenta um obstáculo estrutural persistente: o déficit de capacidade estática de armazenagem. Tal limitação compromete não apenas a qualidade do produto, mas também a eficiência da cadeia logística e a competitividade internacional da commodity (Frederico, 2011).

Diante desse cenário, este projeto propõe uma abordagem metodológica fundamentada na integração entre análise de séries temporais e lógica fuzzy, visando modelar e prever padrões sazonais e tendências de demanda por armazenagem de soja. A adoção da lógica fuzzy justifica-se pela sua aptidão em lidar com incertezas, imprecisões e não linearidades inerentes ao agronegócio, especialmente aquelas relacionadas a fatores climáticos e oscilações de mercado (Song & Chissom, 1993a,b; Thomasz et al., 2024). A análise é feita nos cinco principais estados produtores de soja no país: Paraná (PR), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO) e Rio Grande do Sul (RS) (CONAB 2024). Dessa forma, busca-se favorecer a alocação mais eficiente de investimentos e a formulação de estratégias mais adequadas para enfrentar o problema da armazenagem, fortalecendo a eficiência operacional e a competitividade do agronegócio brasileiro.

METODOLOGIA:

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados históricos da produção de soja e da capacidade estática de armazenagem, expressos em mil toneladas, no período de 1980 a 2024. Essas informações foram obtidas junto à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE/SIDRA), sendo essas as principais fontes para as variáveis produtivas e de infraestrutura de armazenagem.

Complementarmente, a plataforma “Map Biomas” foi empregada como recurso visual, permitindo a análise do avanço da área plantada com soja nos cinco estados selecionados, entre os anos de 1985 e 2024. Inicialmente, aplicou-se a análise exploratória de dados, conforme Bussab e Morettin (2017), com o objetivo de compreender o comportamento das variáveis, identificar padrões e verificar a adequação a modelos estatísticos.

Em seguida, foi empregada a modelagem por séries temporais, fundamentada em Morettin e Tolo (2006), visando à descrição, explicação e predição da evolução das variáveis ao longo do tempo. Para aprimorar a precisão das previsões, foi incorporada a lógica fuzzy à série temporal, conforme metodologia proposta por Song e Chissom (1993a, 1993b, 1994) e adaptada por Carvalho Jr. & Costa Jr. (2017; 2019). As observações da variável Z_i foram representadas em um universo de discurso $U = \{u_1, u_2, \dots, u_j\}$ e transformadas em conjuntos fuzzy triangulares A_j ($j = 1; 2; \dots; m$) conforme a Equação (1):

$$A_j = \begin{cases} 0, & \text{se } Z_i \leq a_j \\ \frac{Z_i - a_j}{b_j - a_j}, & \text{se } a_j < Z_i < b_j; \\ \frac{c_j - Z_i}{c_j - b_j}, & \text{se } b_j < Z_i < c_j; \\ 0, & \text{se } Z_i > c_j, \end{cases}$$

(1)

As observações foram distribuídas nos conjuntos fuzzy com base em sua pertinência, e uma série temporal fuzzy foi gerada a partir de 1.000 pontos aleatórios uniformemente distribuídos em cada intervalo ativado, sendo obtida a média de cada conjunto. Com isso, foi possível realizar previsões da produção de soja e da capacidade de armazenagem, identificando áreas com potencial déficit logístico.

Após a construção dos conjuntos fuzzy triangulares, os dados de produção de soja e capacidade de armazenagem foram transformados em variáveis linguísticas, conforme ilustrações a seguir. Cada variável foi dividida em sete conjuntos fuzzy triangulares (mf1 a mf7), distribuídos uniformemente ao longo dos valores observados.

A Figura 1 apresenta a função de pertinência triangular aplicada à Quantidade da Produção de Soja, enquanto a Figura 2 mostra a função correspondente à Capacidade Estática de Armazenagem de Soja. Cada ponto da série temporal é classificado com base no grau de pertinência a cada conjunto

fuzzy, possibilitando a posterior geração da série fuzzy.

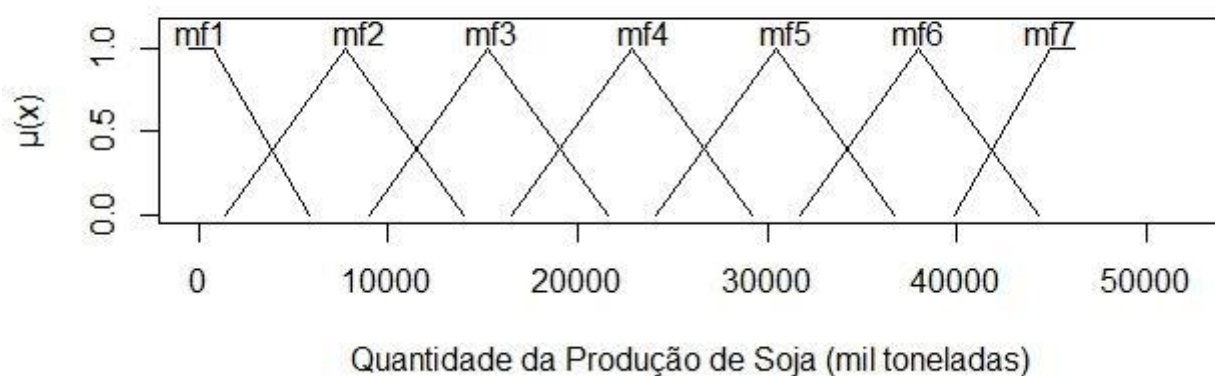


Figura 1 – Funções de pertinência triangulares para a Quantidade de Produção de Soja.

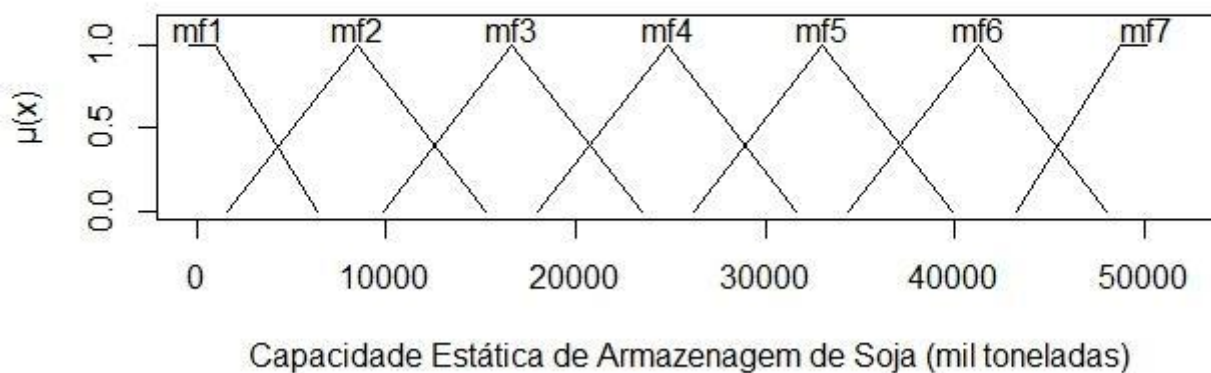


Figura 2 – Funções de pertinência triangulares para a Capacidade Estática de Armazenagem de Soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir da construção da série temporal fuzzy e da análise dos dados simulados, foi possível avaliar os cinco principais estados produtores de soja no Brasil: Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul.

A análise da evolução da produção de soja e da capacidade de armazenagem entre 1980 e 2023 revela um cenário heterogêneo entre os estados brasileiros. Enquanto Mato Grosso (MT) demonstrou um crescimento notável tanto na produção quanto na capacidade de armazenagem, mantendo um superávit em 2023, e estados como Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS) também expandiram significativamente suas capacidades, o estado de Goiás (GO) apresenta uma situação crítica. Em 1980, Goiás possuía um superávit de 1.545 mil toneladas em sua capacidade de armazenagem; contudo, em 2023, com um crescimento considerável na produção e na capacidade, o estado registrou um déficit de 1.140,748 mil toneladas. Este dado é particularmente relevante, pois indica que o crescimento da produção de soja em Goiás superou a expansão da infraestrutura de armazenagem, criando um gargalo logístico que pode impactar a comercialização e a qualidade dos grãos. Os demais estados, por outro lado, conseguiram acompanhar ou até superar o ritmo de crescimento da produção com a expansão de suas capacidades, garantindo um superávit que lhes confere maior flexibilidade e segurança no escoamento da safra. Mesmo os estados superavitários podem enfrentar déficits futuramente, caso se mantenham as tendências atuais, reforçando a necessidade de ampliar a infraestrutura de armazenagem.

A aplicação do modelo fuzzy revelou-se altamente eficaz na captação das nuances dos dados históricos e na projeção de cenários futuros, sobretudo por sua capacidade de representar incertezas e variações não lineares de maneira mais realista. A associação entre séries temporais e lógica fuzzy mostrou-se especialmente útil para antecipar gargalos logísticos, oferecendo subsídios concretos para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais.

CONCLUSÕES:

O estudo validou um modelo de séries temporais fuzzy para prever com precisão o déficit de armazenagem de soja no Brasil, destacando a vulnerabilidade de estados como Mato Grosso e Goiás. A abordagem fuzzy, ao lidar com incertezas, ofereceu previsões mais realistas e precisas. A metodologia se mostrou uma ferramenta estratégica robusta para o planejamento logístico e alocação de recursos, sendo replicável para outras culturas e fortalecendo a competitividade do agronegócio brasileiro no mercado global.

BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Relatório de Exportações**. 2024.
- BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time series analysis: forecasting and control**. Hoboken: Wiley, 2013.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.
- CARVALHO JR., J. G.; COSTA JR., C. T. **Non-iterative procedure incorporated into the fuzzy identification on a hybrid method of functional randomization for time series forecasting models**. *Applied Soft Computing*, v. 80, p. 226–242, 2019.
- CARVALHO JÚNIOR, J. G.; COSTA JÚNIOR, C. T. **Identification method for fuzzy forecasting models of time series**. *Applied Soft Computing*, v. 50, p. 166–182, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2022/2023: décimo segundo levantamento, setembro 2023**. Brasília, DF, 2023. Disponível em:
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2023/2024: sétimo levantamento, abril 2024**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: abr. 2024.
- FILASSI, M.; MARSOLA, K. B.; OLIVEIRA, A. L. R. de; SANTOS, A. dos. **Armazenagem de grãos no Brasil: um gargalo logístico a ser superado**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 58., 2020, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: SOBER, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/345740077>. Acesso em: dez. 2024.
- FREDERICO, S. **The modern agricultural frontier and logistics: the importance of the soybean and grain storage system in Brazil**. *Terrae*, v. 8, p. 24-32, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabela 283: Produção vegetal e área colhida dos estabelecimentos agropecuários por tipo de produção vegetal - série histórica (1920/2006)**. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.].
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- SILVA NETO, W. A. da; SANTOS, T. L. O. **O déficit na capacidade estática de armazenamento nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil**. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 17, n. 3, p. 507–530, 2019.