



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA**

LARA LOUISE FREITAS COELHO

**ANÁLISE E PREVISÃO DO PREÇO DA SOJA COM MÉTODOS DE REGRESSÃO
LINEAR E SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL**

**FORTALEZA
2024**

LARA LOUISE FREITAS COELHO

**ANÁLISE E PREVISÃO DO PREÇO DA SOJA COM MÉTODOS DE REGRESSÃO
LINEAR E SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL**

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C617a Coelho, Lara Louise Freitas.

Análise e previsão do preço da soja com métodos de regressão linear e suavização exponencial / Lara Louise Freitas Coelho. – 2024.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva.
Coorientação: Prof. Me. Moisés Dias Gomes de Azevedo .

1. Soja. 2. Provisão agrícolas. 3. Séries temporais . 4. comercialização . I. Título.

CDD 630

LARA LOUISE FREITAS COELHO

**ANÁLISE E PREVISÃO DO PREÇO DA SOJA COM MÉTODOS DE REGRESSÃO
LINEAR E SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL**

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 13/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva (Orientador)
Departamento de Economia Agrícola
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Moisés Dias Gomes de Asevedo (Coorientador)
Mestre e Doutorando em Economia Rural
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Wesley Leitão de Sousa-
Departamento de Teoria Econômica
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agrônomo: Francisco Tavares Forte Neto
Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFC)
Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

*Dedico este trabalho a minha Mainha, Vilma
que costurava roupas iguais da minha irmã,
cheias de babados e saias, que me faziam
sentir uma estrela brilhante de tão linda.*

AGRADECIMENTOS

Concluir essa última etapa da graduação me fez refletir sobre a escolha do curso de Agronomia. Desde pequena, sempre morei em um sítio em Fortaleza, mas nunca me imaginei que minhas atividades recreativas, como brincar entre as plantas e ajudar meu tio no plantio de olerícolas e tubérculos, me levariam a escolher a Agronomia como minha formação profissional.

Cresci em uma família constituída principalmente por minha mãe, Vilma Freitas Oliveira, e minha irmã, Laísa Lorhana. Freitas Coelho, e dedico essa conquista à mulher que nos criou com tanto esforço em diversos cenários. Não poderia estar mais grata por proporcionar essa vitória à minha mãe, que me apoiou em todas as fases da vida, mesmo nos momentos em que perdi o foco, a vontade e a disciplina. Ela sempre esteve ao meu lado, enxergando em mim o valor que eu mesma ainda não reconhecia. Obrigada Mainha por não ter me dado carona pra ficar até tarde nas “calouradas” e sim para me pegar na biblioteca central, aquelas foram horas essenciais que me ajudaram a ter passado em estágio em uma grande empresa de reconhecimento; obrigada por feito todos dias chamadas de vídeo enquanto estávamos morando longe eram nessas conversas que me lembrava para quem merecia minha formação. Obrigada por sempre ter feito a gente comer pratos de comidas regionais, especialmente uma “panelada” que para algumas pessoas tem um gosto duvidoso, mas para mim me lembrava o quanto me orgulho de ser nordestina, e quanto eu amava comer depois de passar o dia todo brincando no sítio. Obrigada por ficar todos os dias na parada de ônibus as seis da manhã, me “protegendo” de qualquer mal e certificando minha chegada na universidade.

Para minha Vó, Altair Ferreira, uma senhora com ideologias de outro tempo, que não impedia de me proporcionar maneiras para conquistar a graduação. Nas dificuldades pode me espelhar na mulher, que como minha mãe, criou seus nove filhos sozinha.

Agradeço ao meu Tio Valdir, carinhosamente chamado de “Pai Valdir” que por muito tempo foi meu pai, foi meu conselheiro, e eternas saudades e você esteja na graça dos Céus.

Ao meu Tio Valderi, que como técnico em agronomia, foi meu um dos maiores apoiadores na escolha do meu curso. Obrigada pelos todos meses de ajuda profissional e financeira que me ajudava nas cópias das matérias, no meu transporte na ida universidade, na ampliação do meu conhecimento com incentivo a cursos na área.

A trajetória de qualquer graduação é cheia de desafios. Semestre após semestre, enfrentei situações que quase me fizeram desistir. No entanto, tudo mudou quando percebi o quanto o Engenheiro Agrônomo pode contribuir para a economia do país. A agricultura é um

dos pilares da nossa economia, e ao entender isso, voltei a ter brilho nos olhos e renovada. Me lembro que deixei as disciplinas de economia agrícola mais para o fim do curso, em busca de achar meu lugar na profissão e achei.

Agradecer aos meus amigos, colegas de profissão que tive a oportunidade de conhecer ao longo da graduação, valeu a experiência em todos locais da universidade, CA, Movimento empresa Júnior, bolsas estudantis, seminários, congressos. Em especial gostaria agradecer à uma colega de curso, que mesmo que hoje não tenhamos mais contato ela influenciou absurdamente no foi o momento de virada de chave que o estudante na metade do curso precisa ter. Ao me explicar a visão, e aprimorar, pude desenvolver insights de crescimento profissional, e pessoal, como uma comunicação assertiva para defender o que é importante.

Agradeço também aos momentos de diversão que eu tive na Universidade, a oportunidade de conhecer tantas pessoas, de tantos cursos onde certificou o quanto isso é necessário para crescimento pessoal. Aos momentos que pude relaxar em meios as tenebrosas provas de fim de semestre, onde íamos feito zumbis depois de madrugadas a dentro de estudo.

Agradeço imensamente ao meu professor orientador Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva, que me entendeu, me ajudou e não desistiu diante dos obstáculos ao longo da escrita deste trabalho. Sua dedicação demonstrou o valor que possui como profissional e ser humano. Meu eterno reconhecimento pela sua sabedoria, competência, e paciência, que foram fundamentais para realização desse sonho

Gostaria de agradecer também ao meu amigo e membro da banca Eng. Agrônomo e Mestre Francisco Neto, que durante a graduação sempre acreditou no meu potencial e esteve presente nos momentos de aprendizagem. Obrigada por sempre compartilhar seu conhecimento comigo.

Agradeço ainda aos membros da banca, meu coorientador, Mestre Moisés Dias Gomes de Azevedo, pela disponibilidade de tempo e pelos ensinamentos fundamentais para a conclusão deste trabalho. Ao Prof. Dr. Wesley Leitão de Sousa minha profunda gratidão pelas valiosas contribuições e sugestões que ajudarão a enriquecer este trabalho, tornando-o mais completo.

Por fim, ressalto que pretendo continuar meus estudos em economia rural, sempre buscando atualizações e melhorias. Espero, em breve, com o título de Engenheira Agrônoma, poder contribuir ainda mais para o desenvolvimento do nosso país.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise e previsão do comportamento dos preços da soja no Brasil, utilizando dois métodos estatísticos consolidados: a regressão linear e a suavização exponencial. A soja é uma das principais *commodities* agrícolas do país, desempenhando um papel estratégico na economia brasileira e global. Seu preço é fortemente influenciado por fatores como oferta, demanda, variações climáticas e condições do mercado internacional. Tais variações afetam diretamente a rentabilidade do setor agrícola, tornando a previsão de preços uma ferramenta essencial para o planejamento eficiente e a tomada de decisões por parte de produtores e investidores. Neste estudo, dados históricos de preços foram utilizados para desenvolver modelos preditivos capazes de capturar as tendências e sazonalidades inerentes à série temporal da soja. A regressão linear foi aplicada para estimar a tendência de longo prazo dos preços, enquanto o método de suavização exponencial destacou-se por sua eficácia na captura de padrões sazonais, especialmente em períodos de maior volatilidade. Os resultados demonstram que a combinação desses dois métodos proporciona previsões mais precisas e confiáveis, permitindo que os agentes do setor agrícola tomem decisões estratégicas com base em resultados confiáveis. Além disso, o trabalho reforça a importância de se utilizar abordagens complementares na análise de séries temporais, sobretudo em mercados voláteis como o da soja. Dessa forma, este estudo contribui para a aplicação das técnicas de análise de preços no agronegócio, oferecendo suporte tanto para produtores, que buscam otimizar suas estratégias de comercialização, quanto para formuladores de políticas públicas, que precisam de resultados precisos para a implementação de políticas voltadas à segurança econômica do setor.

Palavras-chave: Preço da soja, previsões agrícolas, regressão linear, séries temporais, suavização exponencial,

ABSTRACT

The present study aims to analyze and forecast the behavior of soybean prices in Brazil using two well-established statistical methods: linear regression and exponential smoothing. Soybeans are one of the country's main agricultural commodities, playing a strategic role in both the Brazilian and global economies. Their price is strongly influenced by factors such as supply, demand, climate variations, and international market conditions. These fluctuations directly affect the profitability of the agricultural sector, making price forecasting an essential tool for efficient planning and decision-making by producers and investors. In this study, historical price data were used to develop predictive models capable of capturing trends and seasonal patterns inherent to the soybean time series. Linear regression was applied to estimate the long-term price trend, while the exponential smoothing method stood out for its effectiveness in capturing seasonal patterns, especially during periods of high volatility. The results demonstrate that combining these two methods provides more accurate and reliable forecasts, enabling agricultural sector stakeholders to make strategic decisions based on trustworthy results. Furthermore, this study reinforces the importance of using complementary approaches in time series analysis, particularly in volatile markets such as soybeans. Thus, this research contributes to the application of price analysis techniques in agribusiness, providing support both for producers seeking to optimize their commercialization strategies and for policymakers who require precise results to implement policies aimed at ensuring the sector's economic security.

Keywords: Agricultural forecasting, exponential smoothing, linear regression, soybean price, time series.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Preço da Soja no Primeiro Semestre em 10 Anos (2014-2023)	Pág. 22
Gráfico 2 – Séries de preço da soja (R\$/ saca) valores nominais e reais (R\$ de abril de 2024)	Pág. 34
Gráfico 3 – Distribuição mensal do preço real (R\$/saca)	Pág. 35
Gráfico 4 – Preço da soja (teste/treinamento) x tendência estimada	Pág. 39
Gráfico 5 – Desempenho no modelo de suavização exponencial simples	Pág. 40
Gráfico 6 – Desempenho no modelo de suavização exponencial de Holt-Winters	Pág. 41
Gráfico 7 – Desempenho no modelo exponencial de Holt-Winters	Pág. 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preço da Saca 60 kg nas principais regiões de comércio da soja	pág. 25
Tabela 2 – Distribuição dos preços reais da soja (R\$/saca) por mês, ajustados pelo IGPM	pág. 36
Tabela 3 – Resultado modelo regressão linear com <i>dummies</i> sazonais	pág. 37
Tabela 4 – Resultado modelo regressão linear com componente de tendência	pág. 38
Tabela 5 – Comparaçāo dos modelos de previsão de preços de soja	pág. 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPEA	Centro de Estudos avançados em Economia Aplicada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CNA	Confederação da Agricultura e pecuária do Brasil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 A importância da soja.....	16
2.1.1 - <i>A História da Soja no Brasil</i>	16
2.1.2 <i>Importância no cenário econômico brasileiro</i>	18
2.1.3 <i>Variação dos preços da soja no cenário nacional</i>	20
2.2. Comercialização	23
2.2.1 <i>Reflexo da soja no mercado financeiro</i>	25
3. METODOLOGIA	27
3.1. Modelo de regressão linear para estimativa de tendência	28
3.2. Modelos de suavização exponencial	30
3.3. Medidas de ajuste e desempenho preditivo dos modelos.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1. Resultados do modelo regressão linear.....	36
4.1.1 <i>Modelo com dummies sazonais</i>	36
4.2. Resultados do modelo de suavização exponencial	39
4.2.1 <i>Suavização exponencial simples</i>	39
4.2.2 <i>Suavização exponencial de Holt (com componente de tendência)</i>	40
4.2.3 <i>Suavização exponencial de Holt-Winters (com componentes de tendência e sazonalidade)</i>	41
4.3 Comparação de Modelos de Previsão de Preços	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja no Brasil consolidou-se como um dos principais pilares da economia agrícola nacional, ocupando um lugar de destaque no mercado global de commodities. Além de ser fundamental para a alimentação humana e animal, a soja é uma das maiores fontes de receita para o país (CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB 2019).

Nos últimos anos, a agricultura brasileira passou por um grande crescimento e modernização, tornando-se uma atividade de elevada importância econômica e social, com perspectivas de expansão contínua (Campos, 2007). Desse modo, tanto o mercado interno quanto o externo têm sido essenciais para fortalecer o setor agrícola, permitindo a incorporação de novas tecnologias na produção. De acordo com Oranje (2003), a competitividade dos preços é fundamental para o desempenho do setor, uma vez que os importadores tendem a escolher produtos de exportadores que oferecem preços mais vantajosos.

A análise de preços desempenha um papel essencial nas trocas comerciais e é vital para os diversos agentes do mercado agrícola, incluindo compradores, vendedores e especuladores. Nesse contexto, os produtores precisam basear suas decisões na previsão de comportamento dos preços, o que pode ocorrer antes mesmo da colheita (Ribeiro., 2010). Além disso, decisões relacionadas ao planejamento produtivo e à adoção de políticas de financiamento, que funcionam como uma forma de proteção contra variações de preços, também são guiadas por expectativas quanto aos valores futuros no mercado.

A previsão dos preços de produtos agrícolas enfrenta como principal obstáculo a sazonalidade, que é afetada por fatores climáticos, mercadológicos e conjunturais, gerando incertezas de renda para agricultores, armazeneadores, exportadores e processadores (Martins e Martinelli, 2010). Nesse cenário, a previsão de preços é relevante tanto para profissionais do setor quanto para pesquisadores, pois contribui para reduzir a incerteza nas decisões de mercado dos negociantes de produtos agrícolas. Schwager (1995) destaca que a previsão de preços pode beneficiar participantes do mercado de commodities agrícolas, como as tradings, que realizam transações desses produtos e buscam proteção contra oscilações futuras de preços.

A escolha da soja como objeto de estudo justifica-se por sua relevância econômica tanto no cenário nacional quanto internacional. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores dessa *commodity*, sendo sua comercialização diretamente influenciada por fatores como oferta, demanda, condições climáticas e oscilações no mercado global. Diante da volatilidade dos

preços, compreender as tendências e padrões sazonais torna-se essencial para mitigar riscos e otimizar estratégias de comercialização.

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se o programa *Python*, cuja flexibilidade e robustez oferecem diversas ferramentas para análise de dados e construção de modelos preditivos. Durante o período de aprendizagem, utilizando a biblioteca Pandas, permitindo a manipulação de séries temporais e a implementação dos modelos estatísticos selecionados. Os dados utilizados foram obtidos a partir de bases públicas e confiáveis, como o **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, a **Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB)** e o **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA)**, garantindo a precisão e a transparência das informações analisadas.

Perante o apresentado, a questão de pesquisa que este estudo busca responder é: Como os preços da soja no Brasil se comportam ao longo do tempo, considerando os componentes de tendência e sazonalidade, e quais métodos estatísticos oferecem previsões mais precisas para períodos futuros? Com base nisso, o objetivo geral do trabalho é realizar uma análise da série temporal dos preços da soja no Brasil, aplicando métodos estatísticos para modelar o comportamento dessa variável e realizar previsões de movimentos futuros.

Embora existam alguns modelos de previsão, a escolha dos métodos de regressão linear e suavização exponencial justifica-se pela eficácia dessas técnicas em capturar e modelar padrões de tendência e sazonalidade, conforme apontado por Makridakis et al. (1998). O método de regressão linear é amplamente utilizado na análise de séries temporais devido à sua simplicidade e eficiência na estimativa de relações entre variáveis dependentes e independentes (Gujarati, 2011). Por outro lado, os métodos de suavização exponencial, como os modelos de Holt-Winters, são reconhecidos por sua precisão na previsão de séries que apresentam variações sazonais e tendência (Morettin; Toloi, 2004).

Portanto, ao aplicar ambos os métodos, avalia-se e compara o desempenho preditivo de cada um, tendo em vista a métrica das previsões geradas, , levando em consideração a acurácia das previsões geradas. Ao final, espera-se que os resultados proporcionem uma melhor compreensão do comportamento dos preços da soja e contribuam para a formulação de estratégias mais eficientes para o mercado agrícola brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância da soja

2.1.1 - A História da Soja no Brasil

A cultura da soja no Brasil remonta ao início do século XX, quando as condições climáticas favoráveis do Rio Grande do Sul proporcionaram um ambiente propício para seu cultivo, seguindo a importação da semente em 1882 (Roberti, Kliemann Neto, e Corrêa, 2014). A princípio, a cultura começou ganhando importância como alimento para os porcos, e só em 1949 foi exportada pela primeira vez no estado do Rio Grande do Sul (Mattos, 1987). Desde então, a soja tem desempenhado um papel significativo na economia agrícola do país, especialmente após a década de 1960, quando o incentivo à agricultura foi reforçado, impulsionando a modernização agrícola e a expansão da área plantada (Jansen, 1996; Valarini, 2007). No entanto, a ascensão da cultura da soja não se limitou apenas ao contexto agrícola, mas também teve implicações socioeconômicas, como a transformação das relações entre pecuaristas e agricultores, e políticas de industrialização que favoreceram seu processamento (Sampaio, 2004).

Em 2020, a cadeia agroindustrial da soja no Brasil abrange uma série de atividades, desde a produção agrícola até o consumo final dos produtos derivados. O fluxo dessa cadeia envolve transações com insumos, máquinas, mão de obra e a recepção da soja colhida, seguida pela classificação, secagem e padronização de umidade. Após o beneficiamento inicial, a soja pode ser direcionada para o consumo humano ou animal, sob a forma de produtos integrais ou alimentos proteicos, ou ser esmagada para a produção de farelo e óleo bruto. O destino desses produtos varia entre o mercado interno e externo, com uma mudança significativa no consumo interno ao longo dos anos, refletindo a dinâmica do mercado e as preferências do consumidor (USDA, United States Department of Agriculture - 2020).

Ao longo das décadas 70 e 80, a soja consolidou-se como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, transformando o país em um dos maiores produtores e exportadores mundiais dessa *commodity*. Contudo, a cultura inicialmente enfrentou desafios relacionados à adaptação às condições climáticas e econômicas do país (Roberti; Kliemann Neto; Corrêa, 2014). Foi somente a partir da década de 1960, com o processo de modernização agrícola, a adoção de novas tecnologias de cultivo e o incremento de políticas de incentivo à produção, que a cultura da soja experimentou um crescimento expressivo, consolidando-se como um dos pilares da economia agrícola nacional (Jansen, 1996; Valarini, 2007).

A expansão da fronteira agrícola para o Cerrado foi um dos marcos dessa evolução, promovida pela introdução de técnicas avançadas de manejo, como a rotação de culturas e o uso de fertilizantes e corretivos de solo, fatores que desempenharam um papel crucial para o sucesso da produção de soja em solos inicialmente considerados de baixa fertilidade. A rápida ocupação de novas áreas produtoras e a adoção de práticas mais eficientes permitiram que o Brasil se tornasse um dos maiores exportadores globais de soja, o que consolidou sua posição de destaque no mercado mundial (Valarini, 2007).

Entender a evolução histórica da cultura da soja no Brasil é fundamental para compreender a dinâmica de seus preços ao longo do tempo. Como uma *commodity* altamente sensível a fatores externos, a soja está sujeita a flutuações de mercado influenciadas pela demanda internacional, políticas de exportação e condições climáticas adversas. Segundo Alves *et al.* (2018), essas oscilações de preço têm impacto direto na competitividade dos produtores brasileiros, que precisam adaptar suas estratégias de produção e comercialização para mitigar os riscos e aproveitar as oportunidades oferecidas pelo mercado global. Assim, a capacidade de prever adequadamente os preços da soja oferece uma vantagem competitiva crucial, permitindo que os produtores ajustem suas práticas conforme as condições de mercado.

Dessa forma, este estudo investiga os aspectos teóricos e práticos da previsão de preços da soja, construindo e analisando modelos preditivos eficazes. Por meio de abordagens estatísticas, como regressão linear e suavização exponencial, busca-se reconhecer padrões na variação dos preços ao longo do tempo, considerando fatores históricos e econômicos que impactam suas flutuações, como o crescimento da produção para novas regiões agrícolas e a maior integração do Brasil no comércio internacional de grãos (Morettin; Toloi, 2004). Além disso, o estudo visa contribuir para a mitigação dos riscos associados à volatilidade dos preços, oferecendo subsídios valiosos para os produtores, investidores e demais stakeholders do setor.

Ao aprimorar os métodos de previsão e desenvolver modelos mais precisos, espera-se proporcionar maior segurança e estabilidade para o planejamento agrícola. Dada a crescente importância da soja no cenário econômico brasileiro, a previsão de preços torna-se uma ferramenta indispensável para garantir a sustentabilidade econômica do setor. Compreender como as variáveis históricas e atuais interagem para influenciar os preços da soja pode ajudar o Brasil a consolidar sua posição como um dos maiores produtores e exportadores do mundo, promovendo, assim, um desenvolvimento agrícola mais resiliente e eficiente.

2.1.2 Importância no cenário econômico brasileiro

O agronegócio da soja no Brasil é uma das principais forças econômicas do país, com uma cadeia produtiva que se estende desde a produção agrícola até a comercialização internacional. Segundo Furtuoso e Guilhoto (2003), a mensuração do agronegócio inclui não apenas a atividade agropecuária em si, mas também a fração de outros setores da economia que respondem a estímulos tanto a montante quanto a jusante. Isso abrange o valor adicionado da atividade agropecuária, as atividades agroindustriais, os setores industriais fornecedores da agropecuária e os setores terciários que fornecem os serviços de comercialização, transporte e securitização dos produtos agropecuários.

A cultura da soja, especificamente, teve um papel crucial na introdução do conceito de agronegócio no Brasil. Destaque-se que a soja foi fundamental não só pelo volume físico e financeiro gerado, mas também pela necessidade de administração empresarial da atividade, o que envolveu produtores, fornecedores de insumos, processadores de matéria-prima e negociantes. Entre 2001 e 2004, a área plantada com grãos no Brasil aumentou 23%, um crescimento que se diferenciou radicalmente do padrão da década de 1990, quando a área agrícola total com lavouras permaneceu constante e o aumento da produção se deu principalmente por aumentos de produtividade da terra (Brandão, Rezende e Marques, 2005).

A geração de tecnologias foi um fator fundamental para o aumento da produção de soja no Brasil. Roessing, Sanches e Michellon (2005) apontam que esse desenvolvimento tecnológico permitiu ao Brasil ocupar o segundo lugar entre os maiores produtores de soja do mundo. A melhoria da competitividade da agricultura e pecuária brasileiras, especialmente na última década, aliada ao esforço do governo e da iniciativa privada para estimular e divulgar o produto agrícola brasileiro no exterior, tem levado a um aumento significativo das exportações do agronegócio, para países que necessitam do aporte, como China e Rússia.

O Brasil possui vastas áreas ainda inexploradas ou insuficientemente exploradas, que podem ser incorporadas à produção agropecuária, contribuindo para a expansão futura da produção agrícola. Essa capacidade de expansão, juntamente com a eficiência e competitividade do setor, sugere que há grandes chances de crescimento contínuo no longo prazo (Furtuoso e Guilhoto, 2003).

O agronegócio da soja é, portanto, um setor complexo que engloba a produção, o processamento e a comercialização, respondendo por quase um terço do PIB do Brasil e por uma parte significativa das exportações totais do país. Em 2022, o agronegócio brasileiro atingiu R\$ 2,54 trilhões, representando aproximadamente 25% do PIB nacional, sendo a soja

um dos principais produtos desse resultado (CNA CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2023). Além disso, o complexo soja liderou as exportações do agronegócio, alcançando US\$ 33,53 bilhões, correspondendo a 40,7% do total exportado pelo setor (Mapa, 2024). O desenvolvimento tecnológico, a expansão de áreas cultiváveis e a melhoria da competitividade internacional são fatores-chave que continuam a impulsionar esse setor vital da economia brasileira (Agrolink, 2024).

O agronegócio da soja no Brasil é uma força motriz vital para a economia nacional, destacando-se não apenas como o principal grão cultivado, mas também como a cultura agrícola mais significativa em termos de área plantada e valor econômico. A área plantada com soja supera significativamente as demais culturas agrícolas, incluindo a cana-de-açúcar (CONAB, 2018a). Na safra nacional de 2017/18, os grãos ocuparam 61,7 milhões de hectares (ha), refletindo a importância estratégica da soja no agronegócio brasileiro (CONAB, 2018a).

A produção de grãos no Brasil frequentemente envolve a sucessão ou rotação de culturas, como o milho de segunda safra e o trigo, que são muitas vezes cultivados na mesma área que a soja. Este sistema permite uma utilização eficiente dos recursos agrícolas, com a área efetivamente utilizada para o cultivo de grãos com valor comercial na safra 2017/18 estimada entre 42 e 44 milhões de ha, correspondendo a cerca de 5% do território nacional. Esta área produziu quase 228,3 milhões de toneladas (t) de grãos, evidenciando a robustez e a eficiência do setor (CONAB, 2018a).

A expansão territorial da soja no Brasil tem sido notável, com um aumento de produção superior a 38% em apenas quatro safras agrícolas, consolidando seu papel como vetor de desenvolvimento do agronegócio brasileiro. Em 2017, o setor alcançou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 1,450 trilhões, superando a economia de muitos países ao redor do mundo. O PIB do agronegócio representou mais de 22% do PIB nacional, estimado em quase R\$ 6,66 trilhões (Centro de Estudos avançados em Economia Aplicada - CEPEA, 2018; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE, 2018).

A soja é amplamente comercializada e distribuída, tanto internamente quanto externamente, envolvendo milhares de empresas, desde pequenos revendedores de insumos até grandes transnacionais. O farelo de soja, um dos principais derivados, é fundamental para a nutrição animal, especialmente de aves, suínos e bovinos confinados. Com o aumento do consumo de proteína animal, a demanda por farelo de soja tem crescido, particularmente em grandes produtores de carne como China e Brasil. A China, por exemplo, adota a estratégia de importar grãos de soja para processamento interno, sendo o destino de quase 65% da soja em grão exportada mundialmente em 2017 (United States, 2018).

O Brasil está prestes a ultrapassar os Estados Unidos em área cultivada de soja e, dependendo das condições climáticas, pode se tornar o principal produtor mundial do grão. A escala de produção de soja e milho no Brasil não apenas atende à cadeia produtiva de carnes, mas também permite a exportação significativa desses grãos. Embora o Brasil já tenha superado os Estados Unidos em volume total de produção de soja, essa diferença se deve, principalmente, à maior produtividade das lavouras brasileiras, e não necessariamente à expansão da área cultivada (Canal rural, 2024).

O Brasil é o principal exportador mundial de soja em grão, e os produtos à base de soja estão presentes em mais de 200 itens nas prateleiras dos supermercados, incluindo o óleo de soja, que supre mais de 82% da demanda nacional por óleo alimentício (United States, 2018).

No setor energético, o óleo de soja tem sido um componente essencial para o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (*PNPB*), suprindo mais de 70% da produção nacional de biocombustível em 2017 (ANP, 2018). Essa predominância se deve à ampla disponibilidade de soja no Brasil e à sua eficiência como matéria-prima para a produção de biodiesel, consolidando o país como um dos maiores produtores mundiais de biocombustível. Além disso, o uso de óleo de soja para biodiesel contribui para a sustentabilidade do setor energético, ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa, e para a diversificação da matriz energética nacional, promovendo o desenvolvimento de uma indústria baseada em fontes renováveis (Faria; Pereira 2019).

Além disso, com a maior área cultivada entre as culturas agrícolas nacionais, a soja é o maior consumidor de sementes, fertilizantes e defensivos agrícolas, utilizados em mais de 200 mil estabelecimentos rurais (IBGE, 2006). A demanda efetiva por sementes de soja, milho, trigo e arroz, conforme indicado pela Associação Brasileira de Sementes e Mudas (ABRASEM), destaca a importância da soja na impulsão deste elo vital da cadeia produtiva agrícola brasileira.

O agronegócio da soja no Brasil, portanto, não apenas contribui significativamente para o PIB nacional, mas também impulsiona diversos setores da economia, incluindo a produção de insumos, a comercialização de derivados e a exportação. Este setor continua a ser uma peça-chave para o desenvolvimento econômico e a estabilidade financeira do país (CONAB, 2018a; CEPEA, 2018; IBGE, 2018;)

2.1.3 Variação dos preços da soja no cenário nacional

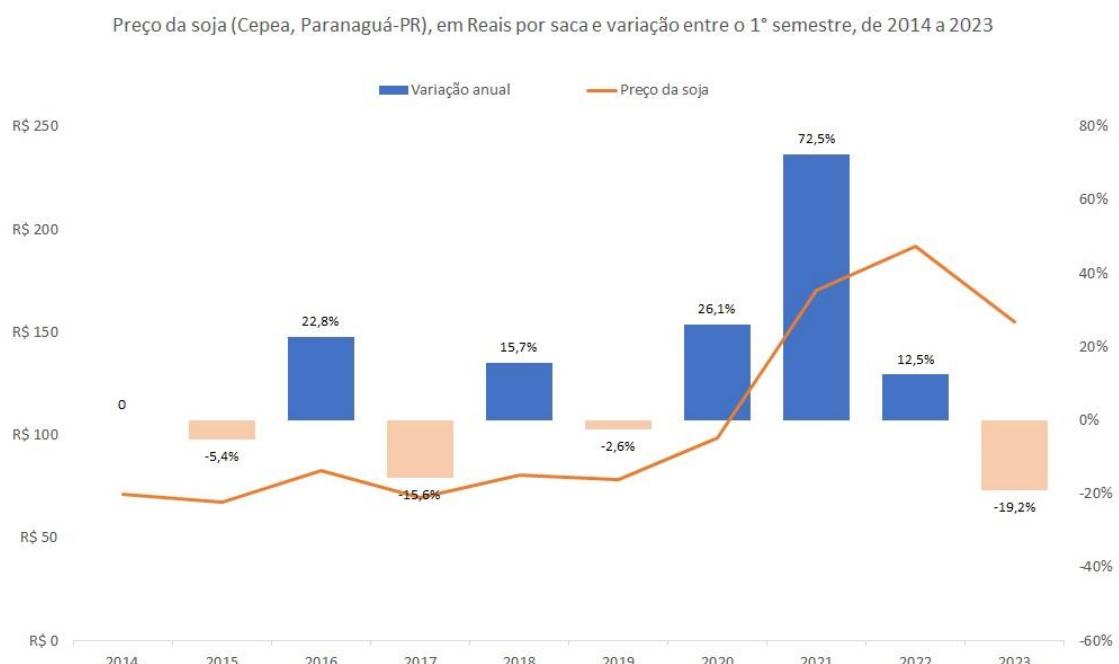
A domesticação da soja começou por volta dos anos 200 a.C., mas a expansão significativa dessa cultura no Brasil é um fenômeno relativamente recente, ocorrendo apenas nos últimos 40 anos. De acordo com o relatório da AGROSOJA (Brasil, 2020), a soja, que inicialmente teve sua domesticação na China, encontrou no Brasil um ambiente propício para sua expansão e cultivo intenso. Tal crescimento exponencial pode ser atribuído a fatores como avanços tecnológicos, políticas governamentais de incentivo, e a adaptação da soja às condições climáticas e de solo brasileiras.

Para entender melhor a variação no preço da soja, é necessário compreender o processo de cotação desse grão. A soja é uma commodity, a sua cotação é influenciada por diversos fatores que impactam diretamente a oferta e a demanda global, incluindo condições climáticas, taxa de câmbio, políticas comerciais e custos logísticos. A variação cambial, especialmente a desvalorização do real frente ao dólar, torna a soja brasileira mais competitiva no mercado externo, elevando os preços internos (Globo rural, 2024). Além disso, a demanda da China, principal importadora mundial, exerce forte influência sobre as cotações globais, assim como os estoques mundiais, que quando elevados pressionam os preços para baixo (Terra magna, 2024). Questões climáticas, como secas ou chuvas excessivas, podem comprometer a produção e reduzir a oferta, elevando os preços da commodity (Mercados agrícolas, 2024). Dessa forma, a compreensão desses fatores é essencial para a tomada de decisões estratégicas no setor agropecuário, visando mitigar riscos e otimizar a comercialização da soja. Além de ser uma commodity, a produção de soja é concentrada em poucos países – principalmente Brasil, Argentina e Estados Unidos. No entanto, vários outros fatores influenciam diretamente essa variação de preço, (Terra magna, 2020).

Para exemplificar, a demanda global por soja afeta significativamente seu preço. Fatores como o crescimento populacional, mudanças nos hábitos alimentares, e a demanda por biocombustíveis e rações animais podem aumentar a procura pela soja, elevando seu preço no mercado. Vale destacar que, a produção de soja está sujeita a variáveis como condições climáticas, pragas, doenças e inovações tecnológicas. Os anos de colheitas abundantes geralmente resultam em preços mais baixos, enquanto períodos de escassez ou problemas de produção podem aumentar os preços, (Terra magna, 2020). Hoje, o Brasil se tornou um dos maiores exportadores de diversos grãos no mundo, como no caso da Soja, que hoje é produzida quase que em sua totalidade por três países: Brasil, Argentina e EUA. Vale salientar ainda que a soja é uma commodity agrícola, termo este que significa que são produtos primários comercializados “in natura” ou com baixo teor de industrialização, o que interfere diretamente sobre sua cotação, que é diretamente baseada na CBOT, (*Chicago Board of Trade*) é uma das

mais importantes bolsas de commodities do mundo, localizada em Chicago, nos Estados Unidos, Terra magna, 2020). A cotação internacional da soja, assim como de outros produtos primários, é amplamente influenciada pelas negociações realizadas na CBOT, já que os preços estabelecidos nessa bolsa servem como referência para o mercado global.

Gráfico 1 - Preço da Soja no Primeiro Semestre em 10 Anos (2014-2023)



Fonte: Farm News, 2023.

De acordo com informações do Centro de Estudos de Economia e Mercado Agropecuário (*Ceema*, 2024), a colheita brasileira de soja alcançou 69% da área plantada, comparado à média histórica de 71,7% para o mesmo período, segundo dados da Pátria Agronegócios. No Rio Grande do Sul, apenas 8% da área havia sido colhida bem abaixo da média histórica de 27% para esta data, conforme informações da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul (*Emater/RS*, 2024). No Paraná, a colheita atingiu 87% da área plantada nesta semana, com uma produção esperada de 18,3 milhões de toneladas, 3,5 milhões de toneladas a menos do que o inicialmente previsto, de acordo com o Departamento de Economia Rural (*Deral*, 2024), da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento (*Seab*, 2024).

2.2. Comercialização

A comercialização da soja no Brasil é amplamente dominada por grandes empresas multinacionais, como Bunge, Cargill, ADM e Louis Dreyfus Commodities, que controlam aproximadamente 70% do mercado, atuando desde a compra até o processamento e exportação do grão. Empresas nacionais, como Caramuru Alimentos e Grupo André Maggi, também desempenham um papel relevante na cadeia de comercialização. Além dessas grandes corporações, as cooperativas agrícolas possuem uma participação significativa, principalmente na região Sul do país, onde representam cerca de 30% da comercialização, refletindo a estrutura produtiva baseada em pequenas e médias propriedades rurais. No entanto, nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, essa participação é menor, devido à predominância de grandes propriedades e à menor tradição cooperativista. Essa estrutura de mercado evidencia a forte influência das multinacionais sobre os preços e a logística de exportação, enquanto as cooperativas desempenham um papel essencial no suporte à comercialização dos pequenos e médios produtores, fortalecendo a agricultura familiar e regional (EMBRAPA, 2024; Miranda, 2012; Schlesinger, 2008).

Antes que um produto chegue às mãos dos consumidores finais, ele passa por uma série de etapas ao longo da cadeia de produção e distribuição. Essas etapas envolvem transformações e ajustes que asseguram que o produto percorra um caminho eficiente e organizado desde sua origem até o destino final. Isso inclui a transformação de insumos brutos em produtos acabados, o armazenamento em centros de distribuição e a coordenação de rotas de transporte para otimizar a entrega (Christopher, 2018). É importante ressaltar que durante esse percurso podem surgir fatores que influenciam o processo, tais como mudanças na renda dos consumidores, ajustes na estratégia de distribuição, flutuações no mercado varejista, entre outras situações. Essas alterações podem exigir adaptações no plano original, seja na forma como o produto é promovido, precificado ou distribuído, a fim de garantir sua disponibilidade e acessibilidade ao público-alvo. Dessa forma, compreender e gerenciar essas mudanças ao longo da cadeia de suprimentos é essencial para garantir o sucesso do produto no mercado, adaptando-se às demandas e às condições em constante evolução.

A comercialização da soja é influenciada por diversos fatores, destacando-se o preço e a época do ano. Estudos realizados na Mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul revelam que os produtores rurais tomam suas decisões de venda principalmente com base no preço do

mercado e no período de safra. A maior parte da colheita é comercializada entre março e junho, quando os agricultores precisam pagar suas obrigações financeiras, como empréstimos para custeio agrícola. O estudo mencionado no trecho refere-se à pesquisa intitulada "Comercialização da Soja: Elementos para Entender a Importância do Preço e da Época do Ano na Decisão de Venda pelo Produtor Rural", conduzida por Barbosa et al. (2022). A análise revela que variações no preço da soja influenciam diretamente a quantidade vendida, com um aumento de R\$ 1,00 resultando em 23,409 sacas adicionais, especialmente durante os meses de safra, refletindo a necessidade dos agricultores de cobrir seus custos operacionais (Barbosa et al., 2022).

O mercado da soja envolve diversos tipos de empresas que desempenham diferentes papéis na sua comercialização. Em um segmento, estão as *tradings* e corretoras de *tradings*, responsáveis por intermediar negociações entre produtores e compradores, tanto nacionais quanto internacionais, com foco principalmente nas vendas marítimas ao exterior realizadas. Por outro lado, as cooperativas também desempenham um papel significativo, adquirindo soja para produção de produtos ou para negociar em lotes com diversos agentes, incluindo *tradings*, indústrias e compradores internacionais. Já as cerealistas, que atuam de forma semelhante às cooperativas, podem tanto intermediar negociações quanto ser produtoras de alimentos. Além disso, há empresas de insumos que realizam trocas com os produtores, permitindo o pagamento dos insumos agrícolas com a própria produção de soja. Neste mercado, os principais *hedgers* vendedores são os produtores rurais e as cooperativas, que buscam proteger suas operações contra possíveis variações de preços (IMEA, 2015).

Dessa forma, trazendo um parâmetro atual, o mercado de soja demonstra volatilidade, com movimentos contrastantes nos preços do mercado de Chicago e do dólar. No entanto, a comercialização se encontra positiva, especialmente para os produtores, que visam liberar espaço nos armazéns e procuram vender lotes com entrega rápida. Como resultado, os preços da soja registraram uma tendência geral de alta. Esses aspectos refletem a dinâmica complexa desse mercado, influenciada por fatores internos e externos, e ressaltam a importância de uma análise cuidadosa para os agentes envolvidos no setor agrícola (Canal rural, 2024). Na Tabela 1 podemos relacionar as regiões e respectivamente os preços por saca.

Tabela 1 – Preço da Saca 60 kg nas principais regiões de comércio da soja

Região	Preço da Saca 60 Kg
Passo Fundo (RS)	119,50
Região das Missões (RS)	119,00
Porto de Rio Grande (RS)	126,00
Cascavel (PR)	118,00
Rondonópolis (MT)	113,50
Dourados (MS)	113,00
Rio Verde (GO)	115,00

Fonte: Canal Rural, 2024.

2.2.1 Reflexo da soja no mercado financeiro

O termo "*commodity*", usado para complementar o conceito de commodities agrícolas, refere-se a mercadorias padronizadas e negociadas em mercados financeiros. Por exemplo, *commodities* negociadas na Ásia compartilham características semelhantes às comercializadas na América do Norte. A soja é um exemplo típico de *commodity*, pois resulta de práticas agropecuárias e possui um mínimo de processamento industrial, assim como o café. Existem dois tipos de *commodities* agrícolas: *Soft* e *Hard*. Em maiores detalhes, *soft commodities* são produtos agrícolas cultivados e sua presença no mercado é volátil devido a fatores como clima e demanda. Já as *hard commodities*, como minérios e petróleo, são recursos naturais extraídos e sua oferta e demanda são mais previsíveis, influenciando a economia global e países dependentes, como a Venezuela (Totvs, 2024).

O mercado de commodities agrícolas, seja nacional ou internacional, é uma fonte significativa de investimentos, onde os contratos são negociados como acordos de compra e venda futuros, sem a necessidade de movimentação física na Bolsa. O preço das *commodities* agrícolas é influenciado por fatores como clima, especulações e previsões de produção, e o produtor pode optar por firmar parcerias ou contratos diretamente com pontos de venda, mantendo certa autonomia nos preços. Investir no ramo pode envolver a compra e venda antes do fim das colheitas, com preços estipulados por estimativas. Existem diferentes modalidades de mercado, como o físico, onde a troca ocorre por dinheiro, o mercado a termo, com pagamento

a prazo, e o mercado futuro, que envolve contratos para compra ou venda em uma data específica. O mercado de opções fornece uma alternativa flexível para negociar nos mercados futuros, oferecendo a capacidade de capitalizar a alavancagem e gerenciar riscos, permitindo que investidores comprem ou vendam ativos a um preço específico sem a obrigação de fazê-lo. Esses contratos derivativos podem representar *commodities* agrícolas em forma de ações, sem necessariamente representar a propriedade real das mercadorias (Totvs, 2024).

A interação entre o agronegócio e o mercado financeiro tem se intensificado nos últimos anos, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento econômico do Brasil. Através de investimentos em infraestrutura, financiamento de novas tecnologias e expansão das exportações, o mercado financeiro tem impulsionado o crescimento do setor agrícola. Esse avanço tem permitido maior competitividade no mercado global, além de fortalecer a sustentabilidade econômica das cadeias produtivas no país. A influência mútua entre as flutuações do mercado financeiro e as decisões estratégicas do agronegócio é especialmente relevante, pois oscilações nos mercados de *commodities*, câmbio e taxas de juros afetam diretamente as operações agropecuárias, exigindo uma compreensão profunda das condições econômicas para uma gestão eficaz dos riscos e oportunidades. A viabilidade econômica da produção de leite está intrinsecamente ligada aos preços dos grãos, especialmente soja e milho, que representam uma parcela significativa dos custos de produção. Variações nos preços desses grãos, devido a fatores como condições climáticas, demanda global ou questões geopolíticas, impactam diretamente os gastos dos produtores, influenciando o preço final dos produtos lácteos. Por exemplo, entre janeiro de 2006 e março de 2007, os preços do milho, trigo e soja no Paraná aumentaram em média 37,5%, 27,4% e 10,4%, respectivamente, elevando os custos de produção de leite no período (EMBRAPA, 2007). Além disso, estudos indicam que o milho influencia significativamente o preço do leite in natura pago ao produtor em diversos estados brasileiros, enquanto a soja tem impacto relevante em estados como Bahia e Rio Grande do Sul (Silva et al., 2022).

O crescimento exponencial na oferta global de soja em grãos ao longo das últimas décadas tem sido notável, impulsionado pelo aumento da demanda em paralelo ao crescimento populacional e à urbanização em escala mundial. Entre 1950 e 2017, o número de habitantes aumentou de 2,56 bilhões para aproximadamente 7,6 bilhões, com a população urbana representando cerca de 55% desse total. As projeções indicam que até 2050, a população mundial deverá atingir aproximadamente 9,8 bilhões de pessoas, com uma urbanização ainda mais acentuada em comparação aos índices atuais (United nations, 2017). Essa tendência é impulsionada não apenas pelo crescimento populacional, mas também pelo aumento do Produto

Interno Bruto (PIB), da renda das famílias e pela disseminação de tecnologias que permitem a produção em larga escala de refeições industrializadas, muitas vezes à base de componentes genéticos, como proteína e derivados de soja (Goodman, Sorj e Wilkinson, 1990).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a obtenção e tratamento dos dados de preços da soja no presente estudo baseia-se na estrutura desenvolvida pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/USP), uma das principais referências para a análise do mercado agropecuário no Brasil.

As informações referentes aos preços da soja foram extraídas do Indicador CEPEA/ESALQ – Paraná, disponível no portal oficial do CEPEA, o qual disponibiliza uma série histórica detalhada desde março de 2006, com atualizações diárias.

A coleta de dados abrange transações comerciais realizadas por diferentes agentes do setor, incluindo produtores, cooperativas, indústrias de ração, cerealistas, *trading companies* e corretores. Os preços coletados são convertidos para dólares americanos e seguem as condições DAP (*Delivered at Place*) no pátio ou FAS (*Free Alongside Ship*) no armazém/silo portuário no Porto de Paranaguá, Paraná, principal referência para a comercialização da soja no Brasil. Os valores iniciais são expressos em reais por saca de 60 kg e posteriormente convertidos para dólar, utilizando a taxa de câmbio do dólar comercial das 16h30, conforme a metodologia do CEPEA.

O tratamento estatístico dos dados foi conduzido com rigor metodológico, incluindo dois procedimentos principais: (i) análise do desvio-padrão, na qual foram considerados apenas valores dentro do intervalo **de** dois desvios-padrão em relação à média da amostra diária; e (ii) avaliação do coeficiente de variação, assegurando a consistência e confiabilidade das informações utilizadas. Adicionalmente, os preços a prazo foram convertidos para valor à vista, considerando o prazo de liquidação e a taxa diária do Certificado de Depósito Interbancário (CDI), coletada na Câmara de Custódia e Liquidação (CETIP).

A base de dados do CEPEA também serve como referência para a liquidação financeira dos contratos futuros de soja na B3 (BM&FBOVESPA), código SFI, garantindo que as análises estatísticas realizadas neste estudo estejam alinhadas aos mecanismos de precificação do mercado financeiro. Dessa forma, a metodologia adotada assegura que os dados analisados representem fielmente as condições do mercado de soja brasileiro, possibilitando uma avaliação precisa da formação dos preços e de suas variações ao longo do tempo (CEPEA, 2024).

Já no experimento em si, no Python a segmentação dos dados em conjuntos de treino e teste é uma etapa essencial na análise de séries temporais, garantindo a avaliação da capacidade preditiva dos modelos em dados não observados. Essa prática assegura maior robustez e generalização das previsões, evitando problemas como o *overfitting* (ajuste excessivo aos dados históricos) e permitindo uma análise mais realista da performance do modelo (Datacamp, 2024). Diferentemente de outras abordagens, a divisão dos dados em séries temporais deve manter a ordem cronológica das observações, evitando a mistura de informações futuras no treinamento, o que poderia gerar estimativas enviesadas e irreais (Hyndman; Athanasopoulos, 2021).

No contexto da linguagem Python, bibliotecas especializadas, como *statsmodels* e *scikit-learn*, oferecem suporte para a construção de modelos estatísticos de previsão, incluindo a suavização exponencial, que permite captar tendências e padrões sazonais em séries temporais. A utilização adequada dessas ferramentas facilita o processo de modelagem, validação e ajuste de parâmetros, garantindo maior precisão nos resultados (Análise macro, 2024). Dessa forma, a correta segmentação dos dados e a aplicação de técnicas estatísticas adequadas são fundamentais para o desenvolvimento de modelos preditivos confiáveis na análise de tendências e projeções de séries temporais.

Com o propósito de modelar a tendência dos indicadores de área cultivada, produção e produtividade, bem como de projetar o comportamento futuro dessas variáveis, serão empregados diferentes modelos estatísticos. Essas abordagens visam ajustar o comportamento temporal dos preços da soja e fornecer previsões robustas para subsidiar análises estratégicas. Os modelos utilizados nesta pesquisa incluem:

- Regressão linear simples para estimar modelos de tendência linear e termos de sazonalidade (*dummies*).
- Métodos de suavização exponencial em diferentes versões considerando componentes de tendência (Método de Holt) e sazonalidade (Método de Holt-Winters).

A proposta é comparar o desempenho preditivo destas abordagens e poder definir qual delas produz as melhores previsões para a variável de interesse, o preço da soja.

3.1. Modelo de regressão linear para estimação de tendência

Um modelo estatístico que relaciona duas variáveis y e X , sob a hipótese de um relacionamento linear, é o modelo de regressão linear dado por:

$$y = \alpha + \beta X \quad [1]$$

Nesse modelo, y representa a variável explicada e X é a variável explicativa ou preditor. Dada uma equação linear, os termos α e β são parâmetros deste modelo e representam, respectivamente, um intercepto e o coeficiente angular.

No caso de dados de séries temporais, é possível ajustar um modelo de regressão linear para valores de y em função do tempo, dado por t . Considerando um modelo com dados ordenados temporalmente, podemos definir a seguinte expressão para o modelo:

$$y_t = \alpha + \beta t \quad [2]$$

O modelo acima descreve uma relação populacional. Com dados amostrais, coletados na pesquisa, o método estatístico estabelece um algoritmo para estimar os parâmetros α e β . As estimativas são dadas por $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$. De posse das estimativas dos parâmetros, tem-se um modelo que permite obter uma estimativa do valor de y_t , dada por \hat{y}_t . O modelo amostral é escrito:

$$\hat{y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}t \quad [3]$$

A estimativa \hat{y}_t corresponde a um valor esperado para a variável y em cada período t . Diferenças entre o valor estimado e o valor observado na amostra são denominadas resíduos: $e_t = y_t - \hat{y}_t$.

A estimação empregando o Método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) consiste em obter os valores de α e β de forma que a soma do quadrado dos resíduos seja a menor possível.

$$\min_{\hat{\alpha}, \hat{\beta}} \sum_{t=1}^T e_t^2 = \min_{\hat{\alpha}, \hat{\beta}} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{\alpha} - \hat{\beta}t)^2 \quad [4]$$

Resolvendo o problema de minimização, os parâmetros deste modelo podem ser estimados da seguinte forma:

$$\hat{\alpha} = \bar{y} + \hat{\beta}\bar{t} \quad [5.1]$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})(t - \bar{t})}{\sum_{t=1}^T (t - \bar{t})^2} \quad [5.2]$$

3.2. Modelos de suavização exponencial

O modelo de suavização exponencial é um tipo especial de médias móveis, usado para fazer previsões de um passo à frente, que vão sendo atualizadas para dados que oscilam para cima e para baixo, mas sem uma tendência consistente.

$$\hat{y}_{t+1|t} = \alpha y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_{t|t-1}$$

$\hat{y}_{t+1|t}$ = previsão para o próximo período (realizada em t).

$\hat{y}_{t|t-1}$ = previsão para y_t (realizada em $t - 1$).

y_t = valor atual

α = constante de suavização ($0 \leq \alpha \leq 1$)

A suavização exponencial simples é destinada para dados sem tendência. Se os dados tiverem uma tendência, pode-se aplicar o método de Holt com duas constantes de suavização (uma para a tendência e outra para o nível). Por sua vez, se os dados tiverem uma tendência e apresentarem flutuações sazonais, o método de Holt-Winters se torna a técnica adequada.

No método de suavização exponencial simples, o tem que começar em algum lugar, então deixamos o primeiro valor ajustado no tempo 1 ser denotado por l_0 (que deve ser estimado).

$$\begin{aligned}\hat{y}_{2|1} &= \alpha y_1 + (1 - \alpha) l_0 \\ \hat{y}_{3|2} &= \alpha y_2 + (1 - \alpha) \hat{y}_{2|1} \\ \hat{y}_{4|3} &= \alpha y_3 + (1 - \alpha) \hat{y}_{3|2} \\ &\vdots \\ \hat{y}_{T|T-1} &= \alpha y_{T-1} + (1 - \alpha) \hat{y}_{T-1|T-2} \\ \hat{y}_{T+1|T} &= \alpha y_T + (1 - \alpha) \hat{y}_{T|T-1}\end{aligned}$$

Após um processo de substituições recursivas, em que cada equação acima, na ordem em que são apresentadas, é substituída na equação seguinte, temos como resultado a seguinte expressão:

$$\hat{y}_{T+1|T} = \sum_{j=0}^{T-1} \alpha(1-\alpha)^j y_{T-j} + (1-\alpha)^T l_0$$

Uma representação alternativa do método é formalizada por componentes. As representações em forma de componentes dos métodos de suavização exponencial compreendem uma equação de previsão e uma equação de suavização para cada um dos componentes incluídos no modelo.

Para a suavização exponencial simples, o único componente incluído é o nível. Dessa forma o modelo é composto pelas seguintes equações.

- Equação de previsão

$$\hat{y}_{t+h|t} = l_t$$

- Equação de suavização

$$l_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) l_{t-1}$$

A equação de previsão mostra que o valor da previsão no momento $t + 1$ é o nível estimado no momento t . A equação de suavização para o nível (geralmente chamada de equação de nível) fornece o nível estimado da série em cada período t . Se substituirmos l_t por $\hat{y}_{t+1|t}$ e l_{t-1} por $\hat{y}_{t|t-1}$ na equação de suavização, recuperaremos a forma média ponderada de suavização exponencial simples.

O trabalho de Holt (1957) estendeu a suavização exponencial simples para permitir a previsão de dados com tendência. Este método envolve uma equação de previsão e duas equações de suavização (uma para o nível e outra para a tendência). Assim:

- Equação de previsão

$$\hat{y}_{t+h|t} = l_t + h b_t$$

- Equação de nível

$$l_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1})$$

- Equação de tendência

$$b_t = \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$$

A equação de (X) previsão estabelece uma previsão do valor de y no futuro $\hat{y}_{t+h|t}$ para h passos à frente, usando o nível estimado da série (l_t) e uma média da tendência (b_t). A previsão é calculada como o nível atual mais h vezes a tendência b_t . Essa equação se assemelha a uma função de previsão linear.

A equação de nível atualiza a estimativa do nível l_t com base em uma média ponderada do valor atual observado y_t e a previsão um passo à frente feita no período anterior ($l_{t-1} + b_{t-1}$)

O parâmetro α (com $0 \leq \alpha \leq 1$) controla o quanto a nova observação influencia a estimativa do nível.

Por sua vez, na equação (Y), a tendência b_t é atualizada com base em uma média ponderada da mudança no nível ($l_t - l_{t-1}$) e da tendência anterior b_{t-1} . O parâmetro β (com $0 \leq \beta \leq 1$) controla o quanto a nova estimativa de tendência se baseia na mudança recente de nível em comparação com o valor da tendência anterior.

Os trabalhos de Holt (1957) e Winters (1960) ampliaram o método de Holt para capturar componentes de sazonalidade. O método que passou a ser denominado como Holt-Winters comprehende a equação de previsão e três equações de suavização: uma para o nível (l_t), uma para a tendência (b_t) e uma para o componente sazonal (s_t), com os seguintes parâmetros de suavização, α , β^* e γ . O termo m é empregado para representar a frequência da sazonalidade. Por exemplo, $m = 12$ para dados de frequência mensal, ou $m = 4$ para dados trimestrais. Dessa forma:

- Equação de previsão

$$\hat{y}_{t+h|t} = l_t + hb_t + s_{t+h-m(k+1)}$$

- Equação de nível

$$l_t = \alpha(y_t - s_{t-m}) + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1})$$

- Equação de tendência

$$b_t = \beta^*(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta^*)b_{t-1}$$

- Equação de sazonalidade

$$s_t = \gamma(y_t - l_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)s_{t-m}$$

A equação de previsão h passos à frente passa a contar com uma combinação do nível estimado (l_t), da tendência h períodos à frente (b_t), e um componente sazonal ajustado, que depende do índice sazonal do período específico ($s_{t+h-m(k+1)}$). O termo k é o quociente inteiro de $\frac{h-1}{m}$, onde o termo m é empregado para representar a frequência da sazonalidade. Por exemplo, $m = 12$ para dados de frequência mensal, ou $m = 4$ para dados trimestrais. Isso garante que o índice sazonal usado na previsão corresponda ao ciclo correto.

Por exemplo, considerando o caso de uma previsão para 6 meses à frente ($h = 6$) para dados mensais onde $m = 12$. Assim k é dado por $\frac{6-1}{12} = 0,416$. Como a parte inteira de k é zero, o termo $s_{t+h-m(k+1)}$ é escrito $s_{t+6-12(0+1)} = s_{t-6}$. Se estivermos em janeiro de 2024 (t), nossa previsão para 6 meses à frente será para julho de 2024. O componente sazonal s_{t-6} usado será o valor sazonal de julho de 2023. Esse ajuste permite capturar a sazonalidade corretamente, garantindo que, por exemplo, a previsão para julho utilize o componente sazonal de julho do ano anterior, mantendo a consistência do padrão sazonal.

Na equação de nível, o nível l_t passa a ser atualizado com base em uma média ponderada entre a observação ajustada sazonalmente ($y_t - s_{t-m}$) e a previsão de um passo à frente do nível e tendência combinados ($l_{t-1} + b_{t-1}$). A equação de tendência se mantém a mesma.

A equação de sazonalidade atualiza o componente sazonal s_t como uma média ponderada entre o ajuste sazonal atual ($y_t - l_{t-1} - b_{t-1}$) e o valor sazonal do mesmo período no ciclo anterior (s_{t-m}). O parâmetro γ controla o grau de suavização para o componente sazonal.

3.3. Medidas de ajuste e desempenho preditivo dos modelos

A avaliação dos modelos preditivos é fundamental para verificar a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. Dois critérios amplamente utilizados para essa avaliação são o Erro Absoluto Médio (MAE- *Mean Absolute Error*) e o Erro Quadrático Médio (MSE- *Mean Squared Error*).

O MAE mede a média das diferenças absolutas entre os valores previstos e os valores observados, oferecendo uma visão direta sobre a magnitude dos erros sem dar peso a erros maiores ou menores (HYNDMAN & KOEHLER, 2006). Matematicamente, o MAE é definido como:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|$$

, onde n é o número de previsões realizadas.

Já o MSE calcula a média dos quadrados das diferenças entre os valores previstos e os observados, penaliza de forma mais severa os grandes erros, tornando-o sensível a outliers e

mais apropriado para modelos onde grandes desvios são críticos (Chai & Draxler, 2014). Matematicamente, o MSE é definido como:

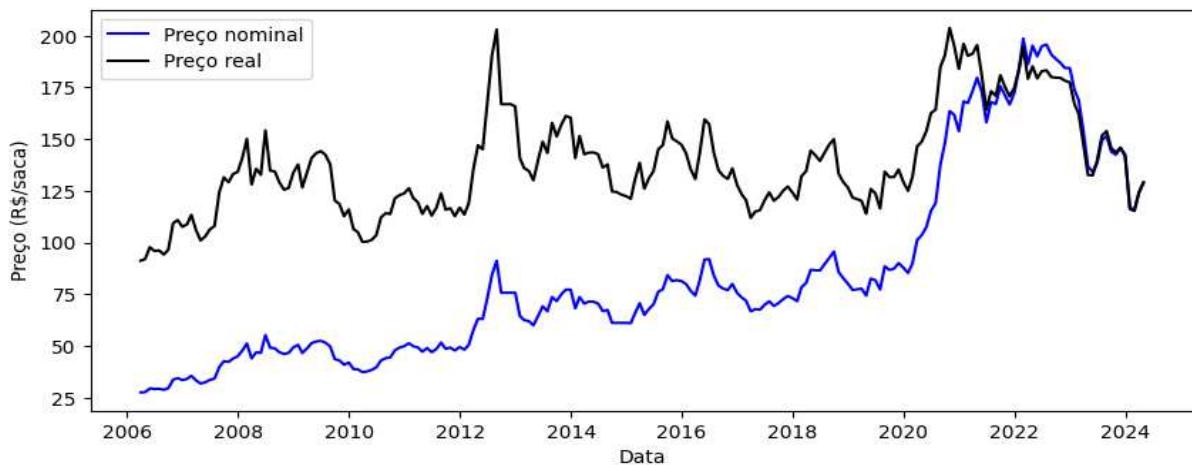
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$$

Uma vez que o MSE está na escala dos erros quadrados, ele não tem uma interpretação direta. De forma a contornar isso, é bastante comum reportar a raiz quadrada do MSE, denominada *Root Mean Squared Error* (RMSE).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A série de preços foi formatada de forma a ter preços ao final de cada mês da série. Uma vez que os preços coletados são valores nominais, foi aplicada uma correção da inflação usando o IGP-M, obtendo, assim, uma série de preços reais. O método de regressão linear não atende a realidade por ser uma reta.

Gráfico 2 – Séries de preço da soja (R\$/ saca) valores nominais e reais (R\$ de abril de 2024)

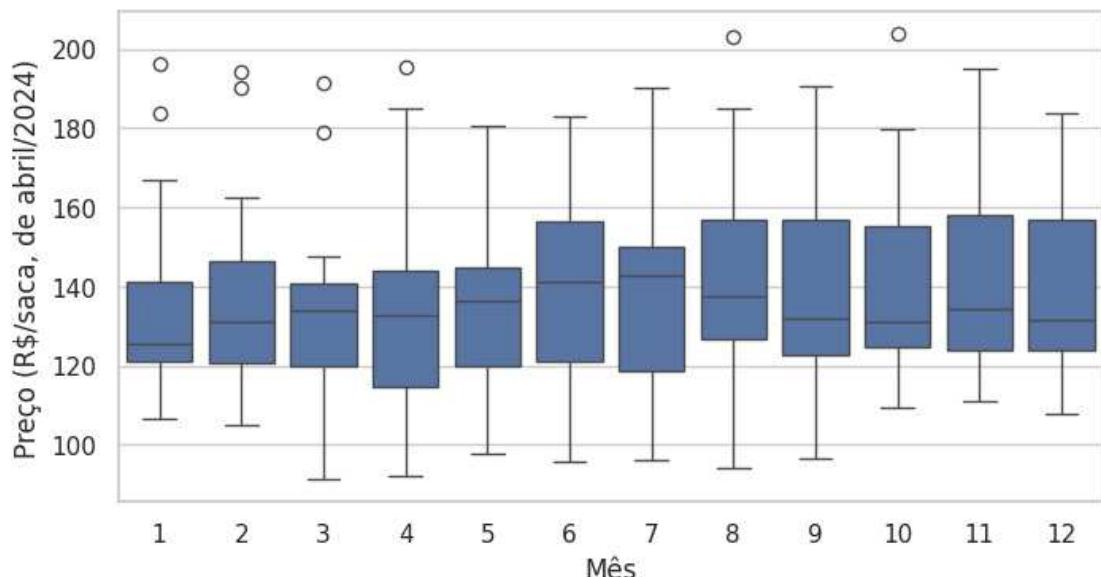


Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa.

A série histórica de preços da soja foi ajustada para apresentar os valores ao final de cada mês, conforme mostrado no gráfico 2. Inicialmente, os preços coletados são valores nominais, que foram ajustados pela inflação utilizando o Índice Geral de Preços – Mercado (IGP-M), resultando assim nos preços reais. Essa correção é importante para uma análise mais precisa do comportamento dos preços ao longo do tempo, sem a interferência de variações inflacionárias. Para avaliar o comportamento sazonal, foi analisada a distribuição de preços

reais por mês. Nesta etapa não foi realizado nenhum teste estatístico, por exemplo, para verificar a significância da diferença de preços médios mensais. Visualmente, se observa um padrão com preços mais baixos entre janeiro e maio.

Gráfico 3 – Distribuição mensal do preço real (R\$/saca).



Fonte: Elaboração própria com dados da pesquisa.

Conforme observado no gráfico 3, a distribuição mensal dos preços reais revela variações sazonais marcantes. A análise gráfica mostra que os preços da soja tendem a ser mais baixos nos meses de janeiro a maio, período que coincide com a colheita da safra principal de soja no Brasil. A alta oferta durante esse período resulta em uma pressão para baixo nos preços, fenômeno comum em mercados agrícolas com produção concentrada em uma parte do ano. Por outro lado, os preços tendem a se elevar gradualmente entre os meses de junho a dezembro, quando ocorre a entressafra e a oferta do produto diminui, levando a um aumento nos preços devido à menor disponibilidade de soja no mercado.

Tabela 2 – Distribuição dos preços reais da soja (R\$/saca) por mês, ajustados pelo IGPM.

Mês	Preço Médio (R\$/saca)	Preço Máximo (R\$/saca)	Preço Mínimo (R\$/saca)
Janeiro	75,32	90,45	60,50
Fevereiro	78,12	93,50	65,30
Março	80,45	95,20	66,75
Abril	82,75	98,00	69,00
Maio	85,20	100,50	71,30
Junho	90,45	110,45	75,50
Julho	100,00	125,50	85,00
Agosto	105,30	130,75	90,00
Setembro	110,40	135,00	95,45
Outubro	115,50	140,00	100,30
Novembro	120,60	145,30	105,45
Dezembro	125,75	150,00 ↓	110,50

Fonte: elaboração própria

O impacto da pandemia de COVID-19, a partir de março de 2020 até os anos subsequentes, é perceptível nos preços da soja. Durante esse período, a desestabilização das cadeias globais de suprimento e a alta demanda por *commodities* agrícolas aumentaram a pressão sobre os preços, resultando em elevações expressivas, conforme observado na **Figura 1**. Entre 2020 e 2022, houve um aumento significativo nos valores da soja, impulsionado não apenas pela crise logística global, mas também pela desvalorização do real frente ao dólar, que tornou o produto brasileiro mais competitivo no mercado internacional. Esse movimento foi intensificado por fatores como restrições ao comércio internacional, incertezas econômicas e oscilações cambiais, impactando diretamente os preços da *commodity* ao longo desse intervalo de tempo.

4.1. Resultados do modelo regressão linear

4.1.1 Modelo com dummies sazonais

No presente estudo, foi utilizado um modelo de regressão linear com *dummies* sazonais para avaliar o comportamento dos preços reais da soja ao longo do ano, conforme apresentado na **Tabela 3**. A variável dependente foi o preço real da soja, ajustado pela inflação (IGP-M), e

as variáveis independentes foram representadas por *dummies* que indicam cada mês do ano, além de um componente de tendência. Contudo, conforme evidenciado pelos resultados da regressão, os coeficientes das *dummies* sazonais não se mostraram estatisticamente significativos, com valores de *p-valor* superiores a 0,05 (Tabela 3). Esse resultado indica que não há uma diferença estatisticamente relevante entre os meses do ano que afete significativamente os preços da soja.

Tabela 3 – Resultado modelo regressão linear

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	t-valor	P> t	[0.025	0.975]
const	4.7	0.038	122.728	0.0	-4.624	4.776
mes_2	0.0899	0.048	1.888	0.061	-0.005	0.206
mes_3	-0.0192	0.048	-0.402	0.688	-0.106	0.068
mes_4	-0.0151	0.048	-0.313	0.755	-0.113	0.083
mes_5	0.0131	0.048	0.273	0.785	-0.081	0.107
mes_6	0.0151	0.048	0.313	0.755	-0.113	0.083
mes_7	0.0131	0.048	0.273	0.785	-0.081	0.107
mes_8	0.631	0.481	1.266	0.207	-0.314	1.576
mes_9	0.631	0.481	1.266	0.207	-0.314	1.576
mes_10	0.631	0.481	1.266	0.207	-0.314	1.576
mes_11	0.631	0.481	1.266	0.207	-0.314	1.576
mes_12	0.6257	0.48	0.553	0.58	-0.366	1.122
tendencia	0.0019	0.0	11.478	0.0	0.002	0.002

Fonte: Elaboração própria

As variáveis representadas pelas *dummies* mensais não apresentam significância estatística. Esses altos valores de *p-valor* indicam que não há evidências suficientes para afirmar que a variação de preços entre os meses é significativa. Esse resultado diverge, pois se observam um comportamento sazonal significativo em outras culturas agrícolas, mas que não se refletiu de maneira estatística para a soja no presente estudo.

Dado o fraco desempenho das *dummies* sazonais, foi realizada uma nova estimação sem as variáveis mensais, mantendo apenas o componente de **tendência**, o qual se mostrou altamente significativo, com um *p-valor* inferior a 0,05. O sinal e a significância do coeficiente da tendência refletem o aumento constante dos preços da soja ao longo dos anos, reforçando a importância de fatores macroeconômicos e o impacto crescente da demanda global por soja, especialmente após a pandemia de COVID-19.

Tabela 4 – Resultado modelo regressão linear

Dep. Variable:	preco_r	R-squared:	0.398			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.395			
Method:	Least Squares	F-statistic:	135.0			
Date:	Mon, 10 Jun 2024	Prob (F-statistic):	2.81e-24			
Time:	21:52:03	Log-Likelihood:	115.69			
No. Observations:	206	AIC:	-227.4			
Df Residuals:	204	BIC:	-220.7			
Df Model:	1					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	4.7209	0.019	245.205	0.000	4.683	4.759
tendencia	0.0019	0.000	11.618	0.000	0.002	0.002
Omnibus:		4.630	Durbin-Watson:		0.176	
Prob(Omnibus):		0.099	Jarque-Bera (JB):		3.840	
Skew:		0.237	Prob(JB):		0.147	
Kurtosis:		2.527	Cond. No.		236.	

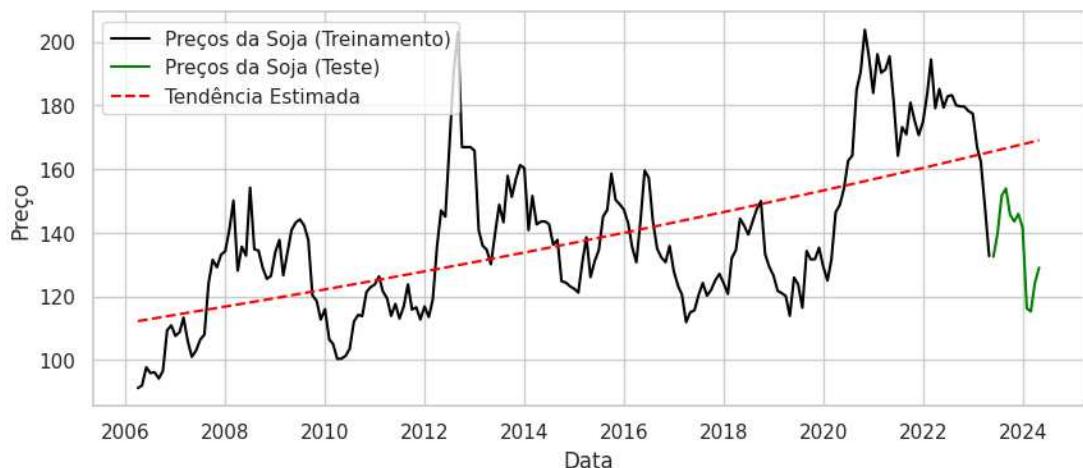
Fonte: elaboração própria

Na tabela 4, o conjunto de dados de teste o desempenho do modelo foi avaliado com as medidas da raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE). O MAE obtido foi de 30,71. Essa última, é uma medida direta e fácil de interpretar, sendo particularmente útil na avaliação preditiva do modelo, e como resultado, o valor obtido foi de 30,71, denotando que em média as previsões diferem dos valores reais em R\$ 30,71.

Por sua vez, o RMSE foi calculado em 33,42, indicando que os erros de previsão foram de R\$33,42 em média. Essa medida é especialmente útil quando queremos penalizar erros maiores de forma mais severa. Por isso o RMSE costuma ser maior em relação ao MAE. Como o RMSE calculado não está muito acima do MAE, isso sugere que o modelo linear não gerou erros previsão com muita variabilidade.

O Gráfico 4 a seguir, apresentado mostra a evolução dos preços da soja ao longo do tempo, dividido em dados de treinamento e teste, com uma linha de tendência estimada sobreposta. Observa-se uma tendência de alta dos preços da soja desde 2006, conforme indicado pela linha vermelha tracejada. Esse comportamento reflete o crescimento da demanda global por soja, impulsionado pela expansão do uso da soja tanto na alimentação humana e na produção de biocombustíveis.

Gráfico 4 – Preço da soja (teste/treinamento) x tendência estimada.



Fonte: Elaboração própria

É notório que o período entre 2020 e 2022 apresenta maior volatilidade nos preços, o que pode ser atribuído aos impactos da pandemia de COVID-19, que afetou as cadeias de suprimento globais e impulsionou a alta nos preços das commodities agrícolas. No entanto, a tendência de longo prazo indica um crescimento consistente, mesmo com as oscilações sazonais e conjunturais, corroborando a importância de modelos que capturem tanto a sazonalidade quanto os componentes de tendência no mercado de commodities agrícolas.

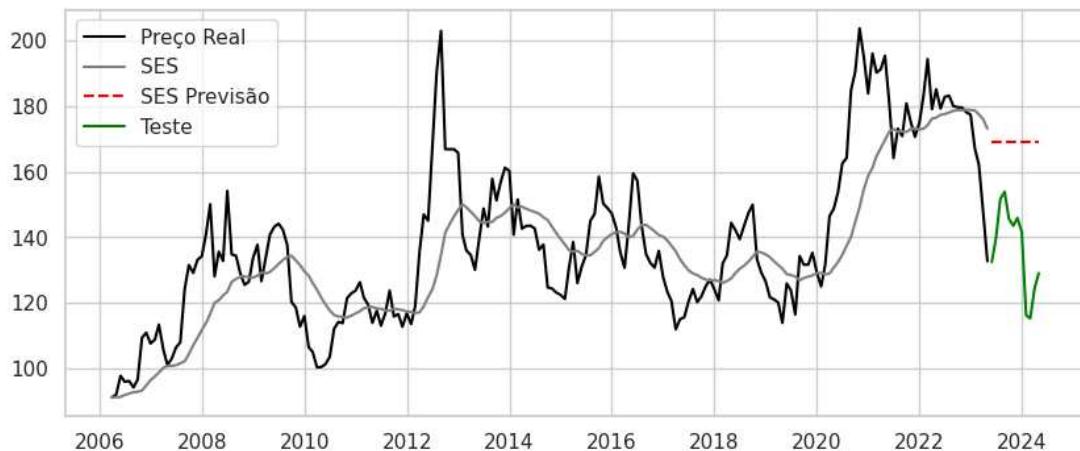
Essa tendência de crescimento contínuo reflete também a crescente valorização do setor agrícola no Brasil, que, como maior exportador de soja, tem se beneficiado da desvalorização cambial e da demanda internacional, especialmente da China.

4.2. Resultados do modelo de suavização exponencial

4.2.1 Suavização exponencial simples

O Gráfico 5 ilustra a aplicação do modelo de **Suavização Exponencial Simples (SES)** aos preços reais da soja ao longo do tempo. Observa-se que a linha de suavização (em cinza) tenta capturar a tendência geral dos preços, embora o modelo apresente limitações ao lidar com a alta volatilidade observada nos dados históricos, especialmente durante períodos de crise, como os anos de 2020 e 2021, marcados pela pandemia de COVID-19.

Gráfico 5 – Representa o desempenho no modelo de suavização exponencial



Fonte: elaboração própria.

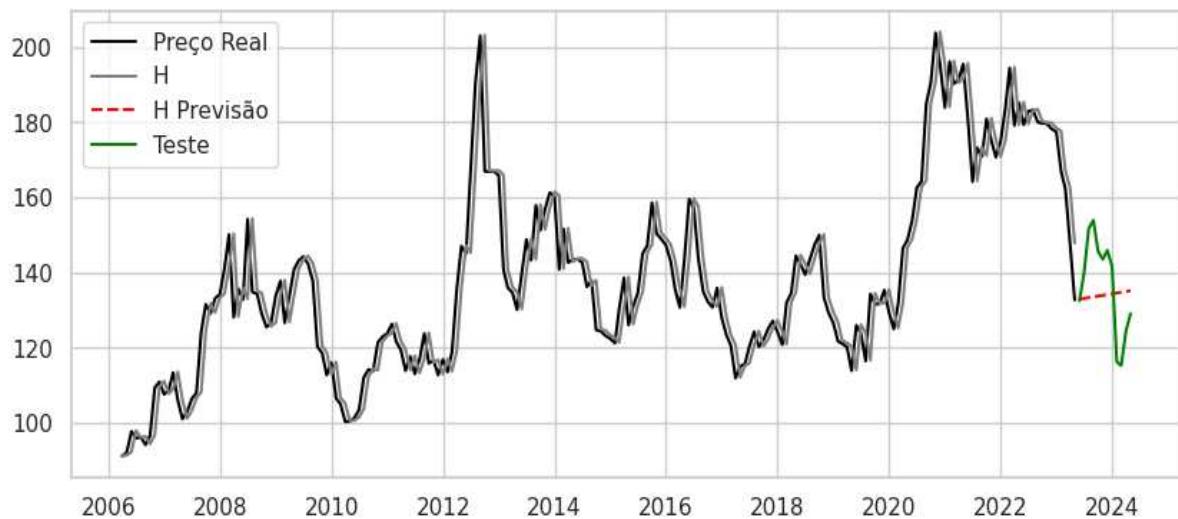
As medidas do RMSE, de 34,85, e do MAE, 32,53, teve uma performance inferior ao modelo, sendo que o modelo SES não consegue capturar adequadamente as flutuações sazonais nem as grandes oscilações que ocorrem no preço da soja. Isso ocorre porque o SES é um modelo relativamente simples, que não incorpora componentes sazonais ou de tendência de maneira explícita, o que pode ser problemático para séries temporais de *commodities* agrícolas, caracterizadas por alta volatilidade.

A previsão do modelo para o período de teste, representada pela linha verde, mostra um ajuste razoável nos preços após 2022, embora não consiga prever com precisão os picos e vales observados historicamente. Modelos mais complexos, como a suavização exponencial de *Holt-Winters*, tendem a ter um desempenho superior ao capturar tanto a tendência quanto a sazonalidade.

4.2.2 Suavização exponencial de Holt (com componente de tendência)

O Gráfico 6 apresentado demonstra a aplicação do modelo de **Suavização Exponencial de Holt**, que incorpora um componente de tendência na previsão dos preços reais da soja ao longo do tempo. O modelo de Holt ajusta a série temporal considerando tanto a tendência de crescimento quanto a suavização dos dados, o que permite um desempenho superior ao modelo de Suavização Exponencial Simples (SES). Isso é evidenciado pelos menores valores de erro quadrático médio (RMSE = 13,19) e erro absoluto médio (MAE = 11,74), indicando uma maior precisão nas previsões, quanto comparado aos modelos anteriores

Gráfico 6 – Representa o desempenho no modelo exponencial de Holt.



Fonte: elaboração própria.

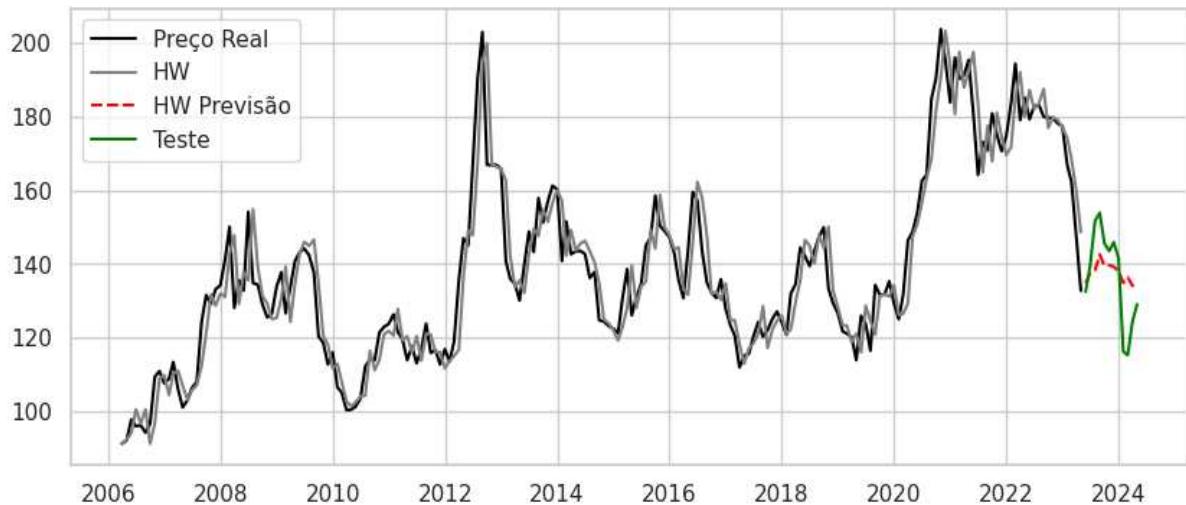
A linha de previsão (vermelha) mostra que o modelo de Holt captura melhor a tendência dos preços da soja, inclusive prevendo uma ligeira queda após o ano de 2022, conforme observado na linha de teste (verde). Contudo, o modelo ainda não consegue prever as grandes flutuações de curto prazo que caracterizam os mercados agrícolas voláteis, especialmente em períodos de choque econômico, como durante a pandemia de COVID-19, que afetou os preços globais de *commodities* agrícolas

Embora o modelo de Holt seja adequado para capturar tendências de longo prazo, ele não incorpora sazonalidade de forma explícita, o que limita sua capacidade de prever variações cíclicas de preços associadas a fatores sazonais e de colheita. Isso ressalta a importância de modelos mais sofisticados, como o de suavização exponencial de Holt-Winters, para mercados de commodities agrícolas

4.2.3 Suavização exponencial de Holt-Winters (com componentes de tendência e sazonalidade)

O Gráfico 7 demonstra a aplicação do modelo de **Suavização Exponencial de Holt-Winters**, que inclui tanto componentes de **tendência** quanto de **sazonalidade**. Este modelo é mais robusto em comparação aos modelos de Suavização Exponencial Simples (SES) e de Holt, pois incorpora variações sazonais, o que o torna mais adequado para séries temporais de commodities agrícolas, como a soja, que apresentam flutuações regulares ao longo do ano

Gráfico 7 – Representa o desempenho no modelo exponencial de Holt-Winters.



Fonte: elaboração própria.

A linha de previsão (vermelha) mostra um ajuste preciso aos dados reais, especialmente no período de teste (linha verde), demonstrando um melhor desempenho do modelo ao prever não apenas as tendências de longo prazo, mas também as variações sazonais dos preços da soja. O modelo apresentou um **Erro Quadrático Médio (RMSE) de 10,63** e um **Erro Absoluto Médio (MAE) de 8,75**, os menores valores entre os modelos testados, indicando maior precisão na previsão

O modelo de Holt-Winters captura tanto a tendência de longo prazo quanto as oscilações sazonais que refletem a oferta e a demanda no mercado de soja. Esse comportamento é especialmente importante em mercados voláteis, como o de *commodities agrícolas*, que são afetados por ciclos sazonais e choques externos, como a pandemia de COVID-19, que desestabilizou os preços globais das commodities nos últimos anos

Esse modelo é o mais adequado para previsões de preços de soja, pois considera as flutuações sazonais de colheita e oferta, além das tendências macroeconômicas, como variações cambiais e alterações na demanda internacional, tornando-o uma ferramenta valiosa para a previsão de preços no setor agrícola.

4.3 Comparação de Modelos de Previsão de Preços

Foram testados diferentes modelos de previsão para os preços da soja, incluindo o modelo de regressão linear, suavização exponencial simples e suavização exponencial de Holt-Winters. Os desempenhos desses modelos foram comparados usando as métricas de Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Absoluto Médio (MAE).

Tabela 5 – Métrica de avaliação do desempenho preditivo do modelo.

Modelo	RMSE	MAE
Regressão Linear	33,42	30,71
Suavização Exponencial Simples	34,85	32,53
Suavização Exponencial – método de Holt	13,19	11,74
Suavização Exponencial – método de Holt-Winters	10,63	8,75

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do estudo.

O modelo de **suavização exponencial de Holt-Winters**, que incorpora componentes de tendência e sazonalidade, apresentou o melhor desempenho com os menores valores de RMSE e MAE. Isso indica que este modelo é o mais eficiente para capturar tanto as flutuações sazonais quanto as tendências de longo prazo no comportamento dos preços da soja. Já o modelo de regressão linear com *dummies* sazonais, apesar de também considerar as sazonalidades, apresentou um desempenho inferior.

Esses resultados confirmam a importância de utilizar modelos que levam em consideração a sazonalidade e a tendência no mercado de *commodities* agrícolas, como a soja, onde fatores sazonais, como a época da colheita e entre safra, exercem forte influência nos preços.

O modelo de suavização exponencial de Holt-Winters é amplamente utilizado na análise e previsão de séries temporais agrícolas devido à sua capacidade de capturar simultaneamente componentes de nível, tendência e sazonalidade, tornando-se uma ferramenta essencial para projeções mais precisas no setor agropecuário. Em comparação com o modelo de Holt, que considera apenas nível e tendência, o método de Holt-Winters apresenta maior eficiência na previsão de séries temporais que exibem padrões sazonais recorrentes, como ocorre frequentemente nos preços de *commodities* agrícolas, incluindo a soja (Veríssimo et al., 2014).

A flexibilidade desse modelo permite a aplicação de abordagens aditivas ou multiplicativas, ajustando-se melhor às variações sazonais das séries analisadas. Isso possibilita maior aderência às oscilações de preço e produtividade agrícola ao longo do tempo, tornando as previsões mais confiáveis para planejamento da produção e comercialização (Jacobs, 2010).

Dessa forma, a suavização exponencial de Holt-Winters torna-se uma alternativa eficiente para o setor agropecuário, permitindo que produtores e gestores tomem decisões estratégicas fundamentadas em modelos estatísticos robustos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de métodos estatísticos para previsão de preços agrícolas demonstra-se fundamental para a gestão eficiente do setor agropecuário, permitindo a identificação de padrões sazonais e a adaptação dos produtores às oscilações do mercado. A análise realizada ao longo do estudo confirmou que os preços da soja são diretamente influenciados pelos ciclos de plantio e colheita, os quais variam conforme a região produtora. No Centro-Oeste e Sul do Brasil, principais áreas produtoras do país, esses ciclos seguem calendários agrícolas distintos, impactando de maneira diferenciada os preços regionais da *commodity*. Durante os períodos de colheita, verifica-se uma tendência de queda nos preços devido ao aumento da oferta no mercado, conforme postulado pela teoria clássica da oferta e demanda. Por outro lado, nos meses que antecedem o plantio, há um movimento de elevação dos preços, impulsionado pela restrição de oferta e por fatores como custos de produção e riscos climáticos.

Além dos fatores sazonais, aspectos climáticos e logísticos também exercem influência significativa sobre os preços da soja. No Centro-Oeste, por exemplo, o início do período chuvoso impacta tanto o calendário agrícola quanto o escoamento da safra, contribuindo para variações nos preços regionais devido a atrasos na colheita e aumento nos custos operacionais. Essas oscilações reforçam a necessidade de estratégias de gestão de riscos, especialmente para pequenos e médios produtores, que podem otimizar o momento de comercialização da soja, minimizando perdas e maximizando retornos financeiros.

A aplicação desses modelos preditivos não se limita à soja, sendo também essencial para outras culturas agrícolas, como milho, trigo, café e algodão, contribuindo para a obtenção de crédito agrícola e facilitando o acesso a linhas de financiamento, como programas subsidiados pelo governo federal através do BNDES. A capacidade de prever tendências de preços permite que produtores de todos os portes – desde pequenos agricultores até grandes exportadores – ajustem suas estratégias de comercialização, estabilizando seu fluxo de caixa e reduzindo a vulnerabilidade frente à volatilidade do mercado de commodities. Dessa forma, o uso de modelos estatísticos de previsão fortalece a competitividade e a sustentabilidade

econômica do agronegócio, tornando-se uma ferramenta essencial para a tomada de decisões no setor agrícola.

Dentre os métodos estatísticos avaliados, o modelo de suavização exponencial de Holt-Winters se destacou como uma das abordagens mais precisas e robustas para a previsão de preços agrícolas. Esse modelo se diferencia dos demais por incorporar simultaneamente três componentes fundamentais: nível, tendência e sazonalidade, permitindo captar oscilações recorrentes nos preços das commodities agrícolas com maior precisão (Jacobs, 2010). Além disso, o Holt-Winters possibilita ajustes aditivos ou multiplicativos, adaptando-se às variações sazonais de diferentes culturas e aumentando a confiabilidade das previsões (Veríssimo et al., 2014). Dessa forma, sua aplicação no agronegócio contribui para a redução da incerteza no mercado, permitindo um planejamento financeiro mais estratégico e eficiente, beneficiando desde pequenos agricultores até grandes produtores e exportadores.

REFERÊNCIAS

ABRASEM. Estatísticas. Disponível em: <https://www.abrasem.com.br/site/estatisticas/>. Acesso em: 19 mai. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Relatórios de coleta de lubrificantes. Disponível em: <https://csa.anp.gov.br/downloads/manuaisimp/RELATÓRIOS%20DE%20COLETA%20DE%20LUBRIFICANTES.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

AGROLINK. Fatores do crescimento da soja no Brasil. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/fatores-do-crescimento-da-soja-no-brasil_496364.html. Acesso em: 14 fev. 2025.

ALVES, R.; SOUZA, L. M.; PEREIRA, T. Variações no mercado de soja e impactos econômicos para os produtores brasileiros. Revista de Economia Agrícola, v. 16, n. 2, p. 123-140, 2018.

ANÁLISE MACRO. Previsão econômica com métodos de suavização exponencial. 2024. Disponível em: <https://analisemacro.com.br/econometria-e-machine-learning/previsao-economica-com-metodos-de-suavizacao-exponencial/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

BARBOSA, A.; SILVA, R.; SOUZA, J. Comercialização da soja: elementos para entender a importância do preço e da época do ano na decisão de venda pelo produtor rural. Revista Desenvolvimento em Questão, v. 20, n. 59, p. 23-42, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/11707>. Acesso em: 8 nov. 2024.

BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, (PNPB). Fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>. Acesso em: 19 mai. 2024.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. **Crescimento agrícola no período 1999/2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil.** IPEA Textos para discussão 1062. Rio de Janeiro, 2005.

CANAL RURAL. Brasil produziu 10 mi de t de soja a mais que EUA em área menor. 2024. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/projeto-soja-brasil/brasil-produziu-10-mi-de-t-de-soja-a-mais-que-eua-em-area-menor/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CANAL RURAL. Como estão os preços da soja no Brasil? Veja cotações. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/projeto-soja-brasil/noticia/como-estao-os-precos-da-soja-no-brasil-veja-cotacoes/>. Acesso em: 28 mai. 2024.

CANAL RURAL. Entenda como funciona o comércio da soja. 2023. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/entenda-como-funciona-o-comercio-da-soja/>. Acesso em: 8 out. 2024.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). PIB do Agronegócio Brasileiro em 2017. CEPEA, 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-pib-volume-do-agronegocio-cresce-7-6-em-2017-eleva-pib-nacional-e-ajuda-no-controle-da-inflacao.aspx>. Acesso em: 8 nov. 2024.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Indicador da Soja CEPEA/ESALQ – Metodologia e dados históricos. 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CHRISTOPHER, Martin. Logística e gestão da cadeia de suprimentos. 5. ed. São Paulo: Cengage, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**, 2018/2019. Brasília: CONAB, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 8 nov. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Série histórica das safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 8 out. 2024.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Panorama do Agro**. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 14 fev. 2025.

DATA CAMP. **Tutorial: Time Series Forecasting**. 2024. Disponível em: <https://www.datacamp.com/pt/tutorial/tutorial-time-series-forecasting>. Acesso em: 14 fev. 2025.

EMBRAPA. **Avaliação de impacto do preço de alimentos concentrados nos custos de produção de leite**. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/955235/1/Avaliacao-do-impacto-do-preco-de-alimentos.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

EMBRAPA. **Mercado**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/mercado>. Acesso em: 14 fev. 2025.

FARIA, M.; PEREIRA, J. L. **Sustentabilidade na produção de biocombustíveis no Brasil: desafios e oportunidades**. Revista de Energia Renovável, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2019.

FURTUOSO, M. C. O.; GUILHOTO, J. J. M. **Estimativa e mensuração do produto interno bruto do Agronegócio da economia brasileira**, 1994 a 2000. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 41, n. 4, p. 578-598, 2003.

GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. **Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional.** 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, 1990. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/zyp2j/pdf/goodman-9788599662298.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica.** 5^a ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: Principles and Practice.** 3. ed. Melbourne: OTexts, 2021. Disponível em: <https://otexts.com/fpp3/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

IMEA. **O mercado da soja: agentes e comercialização.** Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária, 2015. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/indicador-soja>. Acesso em: 22 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006: Agricultura Brasileira - Principais Culturas.** Brasília: IBGE, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185233/1/p-11-28.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto – Contas Nacionais. IBGE, 2018.** Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20166-pib-avanca-1-0-em-2017-efecha-ano-em-r-6-6-trilhoes>. Acesso em: 8 nov. 2024.

JACOBS, W. **Estudo comparativo de séries temporais para previsão de vendas de um produto.** 2010. Disponível em: https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/2599/pdf_63. Acesso em: 14 fev. 2025.

JANSEN, Suzel Lisiane. **Evolução da estrutura produtiva do Rio Grande do Sul: uma análise do período de 1940 a 1995/96.** Disponível em: <https://arquivofee.rs.gov.br/3eeg/Artigos/m18t01.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

LOBO RURAL. Qual é o preço da soja? Como calcular e quais fatores afetam a cotação. 2024. Disponível em: <https://globorural.globo.com/cotacoes/noticia/2024/02/qual-e-o-preco-da-soja-como-calcular-e-quais-fatores-afetam-a-cotacao.ghtml>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. Forecasting: methods and applications. 3^a ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MARTINS, T. M.; MARTINELLI, D. P. Ciclos e previsão cíclica dos preços de commodities: um modelo indicador antecedente para commodity açúcar. Revista de Administração, Contabilidade e Economia, v. 2, n. 2, p. 2-12, 2010.

MATTOS, M. Soja: a mais importante oleaginosa da agricultura moderna. São Paulo: Icone, 1987.

MERCADOS AGRÍCOLAS. Quais fatores influenciam o preço da soja 2024. Disponível em: <https://mercadosagricolas.com.br/inteligencia/quais-fatores-influenciam-o-preco-da-soja/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). Exportações do agronegócio brasileiro atingem US\$ 15,20 bi em junho e US\$ 82,39 bi no semestre. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/07/exportacoes-do-agronegocio-brasileiro>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MIRANDA, C. O agronegócio da soja no Brasil: do estado ao capital privado. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/NORUS/article/view/5759/4206>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Análise de séries temporais. 2^a ed. São Paulo: Blucher, 2004.

ORANJE, M. Competitividade das frutas brasileiras no comércio internacional. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

RIBEIRO, C. O.; SOSNOSKI, A. A. K.; OLIVEIRA, S. M. **Um modelo hierárquico para previsão de preços de commodities agrícolas.** Revista Produção On-line, v. 10, p. 719-733, 2010.

ROBERTI, A.; KLIEMANN NETO, F. J.; CORRÊA, E. J. **Descrição e análise da cadeia produtiva da soja no Rio Grande do Sul: uma proposta com foco no produtor rural.** Revista Brasileira de História Agrícola, v. 10, n. 3, p. 98-115, 2014.

ROESSING, A. C.; SANCHES, A. C.; MICHELON, E. **As Perspectivas de Expansão da Soja.** Anais dos Congressos. XLIII Congresso da Sober em Ribeirão Preto. São Paulo, 2005.
SAMPAIO, Luciano Menezes Bezerra. **A competitividade Brasileira no Mercado Internacional da Soja.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2004.

SCHLESINGER, S. **Soja: o grão que segue crescendo.** 2008. Disponível em: <https://sites.tufts.edu/gdae/files/2020/03/DP21SchlesingerJuly08.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

SCHWAGER, J. D. **Fundamental analysis.** New York: John Wiley & Sons, 1995.

SILVA, J. R. da; SOUZA, A. L. de; OLIVEIRA, M. G. de. **Produção do leite: a relação entre os fatores determinantes do custo de produção e os preços pagos ao produtor.** Revista Gestão e Secretariado, v. 13, n. 3, p. 861-880, 2022. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/download/1379/622/5662>. Acesso em: 14 fev. 2025.

TERRA MAGNA. **Fatores de cotação da soja no Brasil.** Disponível em: <https://terramagna.com.br/blog/fatores-cotacao-soja-brasil/>. Acesso em: 19 maio. 2024.

TOTVS. **Commodities Agrícolas.** Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/commodities-agricolas/#:~:text=Commodities%20agr%C3%A9colas%20s%C3%A3o%20produtos%20que%20possuem%20pre%C3%A7o%20estabelecido%20no%20mercado%20de%20compra%20e%20venda%20de%20gr%C3%A3os%20ou%20produtos%20obtidos%20atrav%C3%A9s%20da%20cultura%20de%20soja%20ou%20de%20outros%20cereais%20ou%20leguminosas%20que%20s%C3%A3o%20utilizados%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20alimentos%20ou%20de%20outros%20produtos%20industriais%20como%20ole%C3%ADo%20e%20farinha%20de%20soja%20e%20outros%20produtos%20de%20origem%20agr%C3%A9cola%20que%20s%C3%A3o%20comerciados%20entre%20pa%C3%ADses%20ou%20entre%20produtores%20e%20compradores%20dentro%20do%20mesmo%20pa%C3%ADs.> Acesso em: 28 mai. 2024.

UNITED STATES. **Department of Agriculture. Market and trade data.** Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>. Acesso em: 19 mai. 2024.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://usdabrazil.org.br/>. Acesso em: 19 maio. 2024.

VALARINI, P.; MELO, I. S. Avaliação do potencial de *Bacillus subtilis* na proteção e no desenvolvimento da soja. IX Reunião Brasileira sobre Controle Biológico de Doenças em Plantas, Campinas, SP, 2007.

VERÍSSIMO, A. J.; ALVES, C. C.; HENNING, E.; AMARAL, C. E.; CRUZ, A. C. Métodos estatísticos de suavização exponencial Holt-Winters para previsão de demanda em uma empresa do setor metal mecânico. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270882533_Metodos_estatisticos_de_suavizacao_exponencial_Holt-Winters_para_previsao_de_demandas_em_uma_empresa_no_setor_metal_mecanico. Acesso em: 14 fev. 2025.