ISSN: 2317-0840

Uma análise da correlação dos preços do etanol hidratado nos principais estados produtores brasileiros

Júlia Franco de Aguiar Minussi[1], Marta Cristina Marjotta-Maistro[1], Gilberto Rodrigues Liska[1†]

[1] *Universidade Federal de São Carlos; Centro de Ciências Agrárias; Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Socioeconômica Rural; Araras – São Paulo, Brasil.*

Resumo: *A cana-de-açúcar consolidou o Brasil como um importante participante no mercado energético global. Os principais estados produtores são Alagoas, São Paulo e Pernambuco, com isso foram analisadas as relações entre os preços mensais do etanol hidratado nos períodos de 2003 a 2023. Os dados são secundários e foram obtidos no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada(CEPEA). As análises incluem uma análise exploratória das séries de preços e o estabelecimento de relações entre elas por meio do coeficiente de correlação de Spearman. Para tal, os preços foram deflacionados utilizando os índices do IPCA, permitindo a sua comparação. Para os períodos em que não houveram registros de preços foi realizada uma interpolação linear, na organização das series, deflação e cálculo do coeficiente de correlação foram utilizados planilhas eletrônicas e o programa R. Ao comparar as variáveis, temos entre Alagoas e Pernambuco um coeficiente de 0,995, entre Alagoas e São Paulo um coeficiente de 0,964 e entre Pernambuco e São Paulo um coeficiente de 0,964, desta maneira ocorre uma correlação positiva muito alta entre as séries.*

Palavras-chave: *Cana-de-açúcar, etanol hidratado, Estatística aplicada, Mercado interno.*

An analysis of correlation prices of hydrated ethanol fuel in Brazil's main producing states

Abstract: *Sugarcane has established Brazil as an important player in the global energy market. The main producing states are Alagoas, São Paulo, and Pernambuco. This study analyzed the relationships between the monthly prices of hydrated ethanol from 2003 to 2023. The secondary data and were obtained from the Center for Advanced Studies in Applied Economics (CEPEA). The analyses include an exploratory analysis of the price series and the establishment of relationships between them using the Spearman correlation coefficient. To this end, prices were deflated using IPCA indices to allow for comparison. Linear interpolation was performed for periods without recorded prices. For the organization of the series, deflation, and calculation of the correlation coefficient, spreadsheets and the R program were used. When comparing the variables, we found a coefficient of 0.995 between Alagoas and Pernambuco, 0.964 between Alagoas and São Paulo, and 0.964 between Pernambuco and São Paulo, indicating a very high positive correlation between the series.*

Keywords: *Sugarcane, hydrated ethanol, Applied statistics, intern market.*

[†] Autor correspondente: gilbertoliska@ufscar.br

Manuscrito recebido em: 07/06/2024
Manuscrito revisado em: 06/01/2025
Manuscrito aceito em: 08/01/2025

Introdução

Visando o cenário econômico do Brasil, faz-se nítido o papel de suma importância da cana-de-açúcar, que desde as Capitanias Hereditárias, compreendida entre metade do século XVI até a metade do século XVIII, onde a cultura e seus produtos foram consideradas a primeira riqueza agrícola e industrial que por muitos anos determinou a base da economia colonial, em que o país se tornou no maior produtor em escala mundial de açúcar, com o estabelecimento do Pacto Colonial foram aplicadas leis e normas que o Brasil Colônia só poderia fazer comércio exclusivamente com a Metrópole (Portugal), com produtos que não abriram concorrência, vendendo matérias-primas por um preço estabelecido pela metrópole, geralmente com preços baixos e comprando produtos manufaturados supervalorizados, garantindo total lucro para Portugal, com o alto valor do açúcar na alta sociedade europeia, outras nações se dedicaram na produção da especiaria, chegou ao fim o ciclo colonial da cana-de-açúcar no Brasil.

Voltando a reaparecer com as iniciativas governamentais, o Proálccol, que em meados de 1970 quando a crise mundial do petróleo se acentuou veio como alternativa para a libertação da dependência de combustíveis fósseis, passando por duas fases a primeira como aditivo à gasolina e a segunda como etanol hidratado, que seria utilizado puro como combustível, com a alta nos preços da gasolina o etanol combustível teve um incentivo para sua produção, no ano de 1985, cerca de 95,8% dos carros fabricados no Brasil eram movidos a álcool (De Andrade, 2009).

Neste novo cenário o governo decidiu investir e aumentar os números de carros à álcool na rua, criando facilidades para o comprador, sendo elas um aumento nos prazos de financiamento, redução de taxas, os estados que mais se beneficiaram neste período de acordo com Rodrigues & Ross (2020), foram os mais capitalizados e que tinham destilarias anexas, sendo eles: São Paulo e Alagoas, seguidos por Pernambuco e Rio de Janeiro, justificando a escolha dos estados para realização da pesquisa.

Atualmente, com o uso de novas tecnologias no setor permitiu a diminuição de impactos ambientais e otimização da cultura, se tornando uma alternativa mais sustentável, pela sua produção ser altamente dependente de condições climáticas favoráveis no ano agrícola pode sofrer alterações, submetendo os preços do etanol a flutuações de mercado, influenciados por fatores como oferta e demanda, custos de produção, política de preços, entre outros.

Com a iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME), que foi lançada em dezembro de 2016, visou expandir a produção de biocombustíveis, contribuindo para superação de desafios técnicos no setor, implantando a RenovaBio com propósito de mitigar o CO_2, visando um aumento em usinas de etanol (Rosillo-Calle *et al.* 2018).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), nos períodos de 2000 a 2020, a área destinada ao setor sucroenergético teve um crescimento pelas altas demandas de etanol nos primeiros 10 anos, depois exibiu uma estabilidade destas áreas, hoje representando 3,6 milhões de hectares, a uma taxa de 3,0% a.a. nesses 20 anos.

O estudo da correlação de preços do etanol e suas variáveis é crucial para compreender a dinâmica do mercado de biocombustíveis no Brasil, um dos maiores produtores e consumidores de etanol no mundo, essa análise permite identificar como fatores como custos de produção, tributação, sazonalidade agrícola, logística influenciam as flutuações regionais e nacionais no preço do etanol. Além disso, como citado por Nogueira & Capaz (2016), é necessário entender essas correlações ajuda a prever comportamentos de mercado, aprimorar políticas públicas e auxiliar na tomada de decisões estratégicas por produtores, distribuidores e gestores governamentais.

Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o estudo da correlação de preços no mercado de etanol no Brasil enfrenta desafios significativos devido à complexidade do setor e às limitações de dados disponíveis. Esses desafios são exacerbados por fatores externos, como variações cambiais, mudanças nos preços internacionais do petróleo e alterações na política fiscal, além da falta de uniformidade nos impostos estaduais, os diferentes custos logísticos e a heterogeneidade na eficiência produtiva entre os estados contribuem para a fragmentação do mercado (UNICA, 2024).

Em resumo, o etanol hidratado desempenha um papel relevante no cenário nacional brasileiro como um combustível renovável e mais limpo em relação à gasolina e também como fator econômico, sendo necessário estudos sobre suas tendências e flutuações de preços.

Dado o exposto, o trabalho tem como objetivo geral analisar as relações entre os preços mensais de etanol hidratado praticados pelos produtores nos estados indicados e suas no período de 2003 a 2023, trazer oscilações de preços e análise exploratória das três séries em um intervalo de tempo em comum entre elas e analisar e estabelecer relações entre as séries estudadas.

Materiais e métodos

Para a realização do estudo os dados são secundários e foram buscados no site do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), para o período de 2003 a 2023, após a seleção dos mesmos ocorreu um deflacionamento, que de acordo com Fam *et al.* (2023), significa expurgar o efeito inflacionário dos preços nominais, obtendo estes valores em termos reais, permitindo a comparação das séries de preços em diferentes momentos. Para tal, utilizou se o IPCA, índice oficial brasileiro calculado pelo IBGE, que é obtido por meio da coleta de preços ao longo do mês, proporcionando uma representação razoável da inflação durante o período de referência mensal.

Para as referidas séries, foram identificados períodos em que não houve registro de preços. Para preencher essas lacunas, foi utilizada a interpolação linear, cujo cálculo é dado pela equação (1) (Wang, 2013).

$$y = y_a + (y_b - y_a)\frac{t - t_a}{t_b - t_a} \tag{1}$$

Em que t é o tempo no qual se deseja estimar o valor do preço do etanol hidratado (y), t_a e t_b são os tempos correspondentes aos valores conhecidos do preço do etanol hidratado nos instantes a e b, e y_a e y_b são os preços do etanol hidratado correspondentes aos tempos t_a e t_b, respectivamente.

Com o intuito de estabelecer relações entre as séries de preços, foi considerado o coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman, denotado por ρ. É apropriado quando uma ou ambas as variáveis são assimétricas ou ordinais e é robusto quando valores extremos estão presentes ou os dados não são provenientes de uma distribuição normal (Dodge, 2008). Para uma correlação entre duas variáveis y_k e y_l, o coeficiente de correlação de Spearman da amostra é calculado por

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n-1)} \tag{2}$$

em que d_i é a diferença em postos para y_k e y_l, e n a quantidade de preços de etanol hidratado (BOX; JENKINS; REINSEL, 2008; METCALFE; COWPERTWAIT, 2009). A interpretação do coeficiente de correlação é apresentada na Tabela 1.

Table 1: Practical rule for interpreting the magnitude of a correlation coefficient.

Grau de correlação	Interpretação
0,90 a 1,00 (−0,90 a −1,00)	Correlação positiva (negativa) muito alta
0,70 a 0,90 (−0,70 a −0,90)	Correlação positiva (negativa) alta
0,50 a 0,70 (−0,50 a −0,70)	Correlação positiva (negativa) moderada
0,30 a 0,50 (−0,30 a −0,50)	Correlação positiva (negativa)
0,00 a 0,30 (−0,00 a −0,30)	Correlação nula

Source: adapted from Mukaka (2012).

Para realização das análises foram utilizados os pacotes estatísticos *TSA* (CHAN; RIPLEY, 2020) e *imputeTS* (MORITZ; BARTZ-BEIELSTEIN, 2017) do Sistema Computacional Estatístico R (R CORE TEAM, 2023).

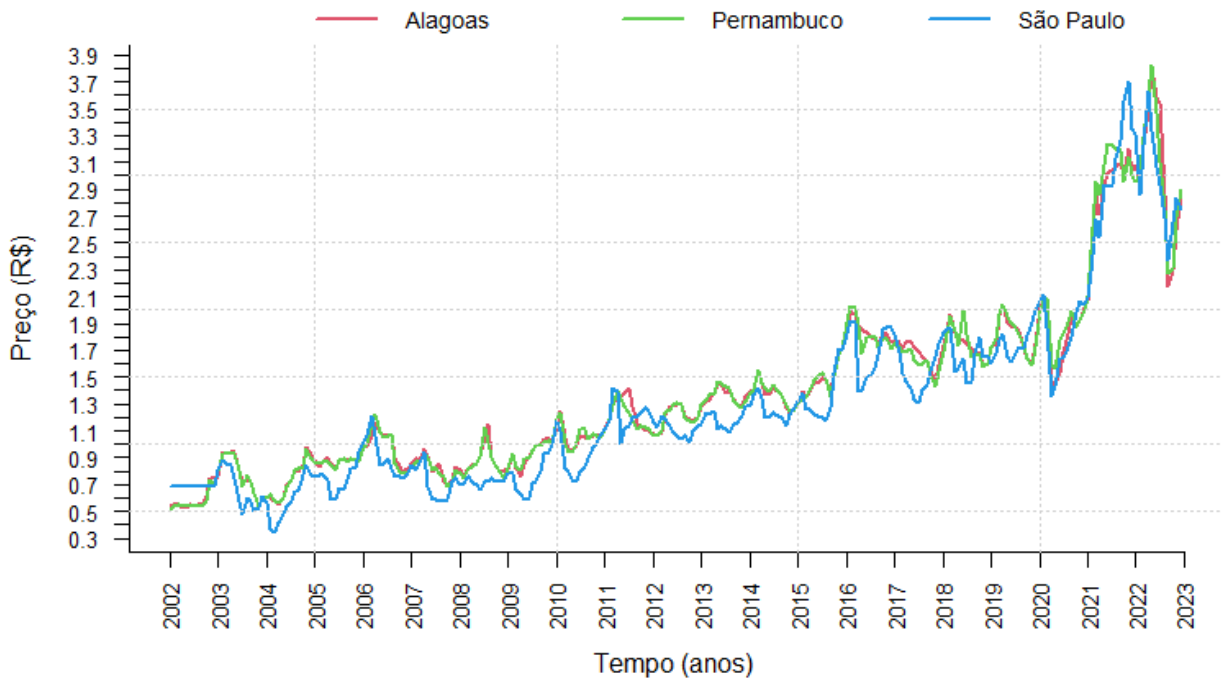
Resultados e discussão

Após o levantamento dos dados propostos, realizados por meio da consulta ao site do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), foram coletadas informações abrangendo o período de 2003 a 2023, garantindo que os valores fossem analisados em termos reais, os dados foram deflacionados utilizando o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), uma métrica amplamente reconhecida para medir a inflação no Brasil. Essa etapa permitiu eliminar os efeitos inflacionários e possibilitar comparações consistentes ao longo do tempo.

Dado que algumas lacunas foram identificadas nos conjuntos de dados, foi necessário estimar os pontos ausentes por meio do método de interpolação linear. Após o tratamento das informações e considerando as variáveis previamente avaliadas, tornou-se viável obter uma visão clara e detalhada da evolução histórica dos preços ao longo dos 20 anos analisados. Essa análise está representada na figura 1, que ilustra as séries de preços deflacionadas no período de 2003 a 2023, oferecendo um panorama conciso e visualmente acessível da trajetória dos preços durante o intervalo em questão, a seguir.

A figura 1 oferece uma visão abrangente das dinâmicas de preço do etanol hidratado nos estados de Alagoas, Pernambuco e São Paulo, revelando comportamentos simultâneos de alta e baixa, mesmo com diferenças marcantes nos ciclos de produção entre as regiões. São Paulo, como líder nacional na produção de etanol, apresenta um calendário de safra que começa com o plantio entre março e abril e uma colheita que se estende de abril a julho, caracterizando uma sazonalidade distinta. Em contraste, Alagoas e Pernambuco possuem um ciclo produtivo em que o plantio ocorre entre setembro e outubro, com colheitas que iniciam em abril, atingindo o pico nos meses de junho e julho. Essa divergência sazonal reflete as particularidades climáticas e estruturais de cada estado, que, embora distintas, parecem se interconectar por fatores externos e de mercado.

Figure 1: Deflated ethanol price series from 2003 to 2023.



Source: adapted from CEPEA (2023).

Ao analisarmos o estudo de conforme Silva (2016), os preços no estado de São Paulo permaneceram próximos aos valores dos preços futuros durante o período analisado, esse comportamento pode estar relacionado à proximidade com a praça formadora dos preços futuros, localizada em Santos (SP), já observando Alagoas e Pernambuco, observa-se a semelhança também entre os preços, porém em certos períodos diferem sutilmente, podendo ser explicada por fatores como descompasso nos períodos de safra e entressafra em relação à praça referência de preços futuros, além de custos específicos de produção, logística e comercialização nessas regiões.

Segundo Vidal (2020), Alagoas e Pernambuco desempenham papéis estratégicos na produção de etanol no Brasil, contribuindo significativamente para o mercado nacional, ainda que suas variações de preço sejam altamente dependentes de aspectos locais, como a sazonalidade e condições climáticas. Adicionalmente, a demanda interna e as exportações impactam diretamente os preços, demonstrando que o mercado é fortemente influenciado por fatores econômicos globais. Por outro lado, São Paulo, com sua infraestrutura avançada e elevada competitividade entre as usinas, é responsável por ditar tendências no setor sucroalcooleiro, o que reforça sua influência sobre os preços de outras regiões.

A análise das correlações de preços entre esses estados utilizou o coeficiente de Spearman (ρ), evidenciando uma correlação positiva muito alta: $\rho = 0{,}995$ entre Alagoas e Pernambuco, e $\rho = 0{,}964$ tanto entre Alagoas e São Paulo quanto entre Pernambuco e São Paulo. Esses resultados indicam uma forte interconexão nos preços do etanol, sugerindo que, embora existam particularidades regionais, o mercado de São Paulo exerce influência significativa sobre as dinâmicas de preço nos demais estados (Goldenberg, 2004).

Segundo Da Silva *et al.* (2019), foram identificadas correlações cruzadas de longo prazo entre as commodities analisadas, sendo uma delas o etanol, oferecendo uma contribuição adicional ao esclarecer uma maior influência nessas correlações cruzadas. Esse avanço foi possível por meio da avaliação precisa da direção da transferência de informação, permitindo uma compreensão mais detalhada das relações dinâmicas entre açúcar, etanol e petróleo bruto ao longo do tempo.

Ao analisarmos a correlação para avaliar o setor sucroenergético nacional, destacando variáveis que influenciam a oferta de etanol hidratado, observando uma correlação forte e positiva entre a produção de cana-de-açúcar e a produção total de etanol, assim como entre a frota total de veículos e a frota de veículos bicombustíveis. As variáveis mais significativas, com p-valores menores que 0,05, foram produção de cana, frota de veículos a gasolina, frota bicombustível e oferta (produção de cana/PIB). A regressão linear mostrou que a produção de cana explica 86,32% e a frota de veículos a gasolina 69,52% da produção total de etanol. Esses resultados reforçam a importância de investimentos no setor para ampliar a produção e consolidar a tecnologia *flex* como vetor de crescimento econômico e sustentável (Santos & Pinto, 2018).

De acordo com Oliveira *et al.* (2018), a compreensão dessas correlações oferece ferramentas valiosas para gestores públicos e privados no setor sucroenergético. Monitorar as flutuações dos preços em São Paulo, por exemplo, pode fornecer uma base confiável para antecipar tendências e elaborar estratégias mais eficazes em outros estados. Além disso, a análise dessas relações possibilita a formulação de políticas públicas mais alinhadas às dinâmicas regionais, contribuindo para a estabilidade e competitividade do mercado brasileiro de etanol (Sorda *et al.* 2019). O gráfico 1 revela uma tendência de variação nos preços do etanol hidratado entre os estados de Alagoas, Pernambuco e São Paulo, onde foi identificado momentos de alta e baixa simultâneos, mesmo que em São Paulo, o ciclo inicia-se com o plantio entre março e abril, enquanto a colheita se estende de abril a julho, já em Alagoas e Pernambuco, o plantio ocorre entre setembro e outubro, seguido por uma colheita que se inicia em abril e se estende ao longo dos meses subsequentes, alcançando seu ápice em junho e julho, demonstrando períodos diferentes de safra.

Considerações finais

A pesquisa indica que, possivelmente, o estado de São Paulo dita uma tendência de preços sobre os outros estados, estabelecendo relações entre as séries de preços, foi considerado o coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman, comparando as variáveis, temos entre Alagoas e Pernambuco um coeficiente de 0,995, entre Alagoas e São Paulo um coeficiente de 0,964 e entre Pernambuco e São Paulo um coeficiente de 0,964, desta maneira ocorre uma correlação positiva muito alta entre elas. Vale salientar que este estudo pode servir como precursor de análise mais complexas, como a modelagem por modelos de Box & Jenkins, como consta em Chan & Ripley (2020), entre outras.

Além disso a correlação entre os preços de etanol hidratado combustível no Brasil é influenciada por fatores econômicos, logísticos e ambientais. A produção concentrada em estados como São Paulo, Pernambuco e Alagoas, favorecidos por condições climáticas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar, cria padrões de custo semelhantes. A infraestrutura eficiente de transporte e distribuição permite a movimentação rápida do etanol entre regiões, equilibrando os preços.

Agradecimentos

Agradecimentos à Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Centro de Ciências Agrárias e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica. Este trabalho foi financiado pelo Centro de Ciências Agrárias da UFSCar (CCA) - projeto FAI RTI-CCA.

Referências

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Série Histórica de Preços de Combustíveis, 2021. Disponível em: http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/serie-historica-de-precos-de-combustiveis.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. Time series analysis: forecasting and control. 4. ed. Wiley, 2008. p. 746.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Consultas ao banco de dados do site, 2023. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx.

CHAN, K.-S.; RIPLEY, B. TSA: Time Series Analysis, 2020. Disponível em: https://cran.r-project.org/package=TSA.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamentos de Safra: cana-de-açúcar. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: http://www.conab.gov.br.

DA SILVA, J. M. et al. Using Transfer entropy to measure the information flow in Sugar, Ethanol and Crude Oil price series. Sigmae, v. 8, n. 2, p. 405-410, 2019.

DE ANDRADE, E.T.; DE CARVALHO, S. R. G.; DE SOUZA, L. F. Programa do Proálcool e o etanol no Brasil. Engevista, 2009.

DODGE, Y. Spearman Rank Correlation Coefficient. In: The Concise Encyclopedia of Statistics. New York, NY: Springer New York. p. 502–505, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Biofuels: Market and Policy Developments, 2022. Disponível em: http://www.fao.org/3/cb5424en/CB5424EN.pdf.

FAM, H. V. M. et al. Como deflacionar a arrecadação federal? Uma proposta de um índice de preços para os tributos. Cadernos de Finanças Públicas, v. 23, n. 1, 2023. doi: 10.55532/1806-8944.2023.200.

GOLDENBERG, J., et al. Curva de Aprendizado do Etanol—A Experiência Brasileira. Biomassa e Bioenergia, 2004.

METCALFE, A. V.; COWPERTWAIT, P. S. P. Introductory Time Series with R. New York, NY: Springer New York, 2009.

MME - Ministério de Minas e Energia do Brasil. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, 2022.

MORITZ S, BARTZ-BEIELSTEIN T. imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R. The R Journal, v. 9, n. 1, p. 207-218, 2017. doi:10.32614/RJ-2017-009

MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. Malawi Medical Journal: The Journal of Medical Association of Malawi, v. 24, n. 3, p. 69, 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; CAPAZ, R. S. Biofuels in Brazil: Evolution, achievements and perspectives on food security. Environmental Sustainability, v. 23, p. 72–82, 2016.

OLIVEIRA, F. M. et al. Dynamics of ethanol prices in Brazil: an econometric analysis, 2018. Energy Economics, v. 74, p. 60-69.

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo. Disponível em: https://www.opec.org/.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: https://www.r-project.org/.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. Edufu, 2020.

ROSILLO -CALLE, F. et al. Handbook of Bioenergy Economics and Policy: Volume II, 2018. Springer.

SANTOS, A. C. S.; PINTO, R. L. M. Aplicação da análise de correlação e regressão linear simples no setor sucroenergético brasileiro. 2018.

SILVA, T. A.; DE OLIVEIRA NETO, O. J.; MACHADO, W. B.. Gestão do risco do preço do açúcar para os principais estados produtores brasileiros no mercado futuro da BM&FBOVESPA. Revista Gestão, Inovação e Negócios, v. 2, n. 2, p. 13-26, 2016.

SORDA, G. et al. Price volatility in the US ethanol market. Energy Economics, v. 81, p. 131-143, 2019.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. Relatórios técnicos e econômicos sobre o setor sucroenergético, 2024. Disponível em: http://www.unica.com.br.

VIDAL, A. C. et al. Dinâmica de preços e sazonalidade na produção de etanol no Brasil. Revista Brasileira de Economia Agrícola , v. 3, p. 200-215, 2020.

WANG, K. A study of cubic spline interpolation. InSight: Rivier Academic Journal, v. 9, n. 2, 2013