

CORRELAÇÃO ENTRE PREÇOS DE ETANOL HIDRATADO COMBUSTÍVEL NOS TRÊS PRINCIPAIS ESTADOS PRODUTORES DO BRASIL *CORRELATION BETWEEN FUEL ETHANOL PRICES IN BRAZIL'S THREE MAIN PRODUCING STATES*

Autor(es): Júlia Franco Minussi^a, Marta Cristina Marjotta-Maistro^a, Gilberto Liska^a
Filiação: Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias - Araras – Brasil
E-mail: juliaminussi@estudante.ufscar.br, marjotta@ufscar.br, gilbertoliska@ufscar.br.

Grupo de Trabalho (GT): GT1. Mercados agrícolas e comércio exterior

Resumo

A cana-de-açúcar vem há séculos se estabelecendo no país, visando a produção de açúcar em pequenos engenhos, com a crescente demanda as terras cultivadas se expandiram cada vez mais e ainda hoje a sua produção é um dos principais cultivos agrícolas brasileiros. Atualmente, com um enfoque na produção de etanol, o mercado sucroalcooleiro solidifica a presença do Brasil no mercado energético, tendo três principais estados produtores de etanol, sendo eles Alagoas, São Paulo e Pernambuco. O objetivo dessa pesquisa é analisar as relações entre os preços mensais de etanol hidratado praticados pelos produtores nos estados indicados e suas relações no período de 2013 até 2022. Como objetivos específicos tem-se: Trazer oscilações de preços e análise exploratória das três séries em um intervalo de tempo em comum entre elas; Analisar e estabelecer relações entre as séries que serão estudadas; Propor um modelo de previsão dos preços das séries. Os dados são secundários da Agência Nacional de Petróleo, Combustíveis e Gás Natural (ANP) e do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). Com o intuito de estabelecer relações entre as séries de preços, será considerado o coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman; os modelos da classe SARIMA (ARIMA sazonal) descritos por Box, Jenkins & Reinsel (2008) serão ajustados comparados por meio do critério de informação de Akaike (AIC) e será indicado aquele que fornecer o menor valor. As relações indicam que São Paulo dita uma tendência de preços sobre outros estados, com uma projeção positiva alta entre Alagoas, Pernambuco e São Paulo. A análise dos preços utilizou o modelo SARIMA para variação, sendo (2, 1, 1) (1, 1, 1) o mais eficaz para São Paulo, (1, 1, 1) (1, 0, 1) para Alagoas e (2, 1, 3) (0, 2, 3) para Pernambuco. A correlação dos preços do etanol é influenciada por fatores econômicos, logísticos e ambientais, e a infraestrutura facilita o equilíbrio dos custos.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, etanol hidratado, Brasil, mercado interno.

Abstract

Sugarcane has been established in the country for centuries for the production of sugar in small sugar mills. As demand grew, the land under cultivation expanded more and more, and even today its production is one of Brazil's main agricultural crops. Currently, with a focus on ethanol production, the sugar-alcohol market has solidified Brazil's presence in the energy market, with three main ethanol-producing states: Alagoas, São Paulo and Pernambuco. The aim of this research is to analyze the relationship between the monthly prices of hydrous ethanol charged by producers in the states indicated and their relationship between 2013 and 2022. The specific objectives are: To bring price fluctuations and exploratory analysis of the three series in a common time interval between them; To analyze and establish relationships between the series that will be studied; To propose a model for forecasting the prices of the series. The data is secondary from the National Petroleum, Fuel and Natural Gas Agency (ANP) and the Center for Advanced Studies in Applied Economics (CEPEA). In order to establish relationships between the price series, Spearman's non-parametric correlation coefficient will be used; the SARIMA (seasonal ARIMA) models described by Box, Jenkins & Reinsel (2008) will be adjusted and compared using the Akaike information criterion (AIC) and the one with the lowest value will be chosen. The relationships indicate that São Paulo dictates a price trend over other states, with a high positive projection between Alagoas, Pernambuco and São Paulo. The price analysis used the SARIMA model for variation, with (2, 1, 1) (1, 1, 1) being the most effective for São Paulo, (1, 1, 1) (1, 0, 1) for Alagoas and (2, 1, 3) (0, 2, 3) for Pernambuco. Ethanol price correlation is influenced by economic, logistical and environmental factors, and infrastructure makes it easier to balance costs.

Keywords: Sugarcane, hydrous ethanol, Brazil, domestic market.

1. 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 Proálcool, 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 (2010), 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 CO₂, visando um aumento em usinas de etanol.

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.

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.

Este artigo tem como objetivo geral analisar as relações entre os preços mensais de etanol hidratado praticados pelos produtores nos estados indicados e suas relações no período de 2003 a 2023.

Como objetivos específicos tem-se: Trazer oscilações de preços e análise exploratória das três séries em um intervalo de tempo em comum entre elas; Analisar e estabelecer relações entre as séries que serão estudadas; Propor um modelo de previsão dos preços das séries.

2. Referencial teórico e Revisão de literatura

A cana-de-açúcar foi introduzida no território brasileiro em 1532, emergindo como o principal item de exportação do país. A sua disseminação foi impulsionada por sua notável adaptabilidade às condições edafoclimáticas locais, bem como pela ampla utilização de mão de obra escrava e a adoção de extensas propriedades rurais. A indústria canavieira continua a desempenhar um papel fundamental na economia brasileira, tanto devido ao aumento da demanda internacional por açúcar quanto à demanda interna por etanol, impulsionada pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool), iniciado em 1975, e pela introdução do carro flex-fuel em 2003. Durante esse período, houve um aumento médio da produtividade, que se tornou essencial para garantir a manutenção da produção. Além disso, a partir da década de 1990, o setor passou por um processo de desregulamentação promovido pelo Estado, conforme discutido por Szmrecsányi (1976) e Ferreira e Vieira Filho (2019). Esse contexto de desregulamentação setorial trouxe novos desafios e oportunidades para a indústria sucroenergética brasileira, marcando um período de transformações significativas no cenário econômico do país.

Na implantação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), podemos definir o aumento do desenvolvimento das regiões em que a indústria canavieira esteve presente, a história de Alagoas tem sua origem na atividade canavieiras, seus primeiros engenhos (Escurial, Maranhão e Buenos Aires) foram fundados por Cristovão Lins, em meados do século XVI. A partir daí surge então o setor que mais tarde ampliaria a produção canavieira: a indústria sucroalcooleira.

O setor sucroalcooleiro se transformou no mais importante da economia de Alagoas, sendo a principal fonte de empregos e de desenvolvimento do Estado. Devido a tamanha grandeza, senhores de engenho, coronéis, usineiros e empresários uniram-se, ocasionando, em 1944, a fundação do Sindicato da Indústria do Açúcar e do Álcool no Estado de Alagoas (Sindaçúcar-AL), entidade de defesa e representação dos produtores da cana, açúcar, açúcar e energia, se tornando um dos principais e mais tradicionais polos no desenvolvimento da lavoura canavieira no Brasil.

Na região Norte-Nordeste, a produção predominante é representada pelos estados de Alagoas e Pernambuco, que foi descrito pelo FIBGE, 1980 que ambos estados eram responsáveis por 70% da área colhida da região, e detinham cerca de 41% do total de área colhida de cana-de-açúcar no Brasil, no ano de 1979.

Onde RIENZIK, 1982 estimou que requerimentos de mão-de-obra dos principais cultivos sobre os quais avançou a lavoura canavieira nos estados de Pernambuco e Alagoas, foi de 105,9 homens-dias/ha-ano para Pernambuco e 72,3 homens-dias/ha-ano para Alagoas, aquecendo a macroeconomia local, tendo resquícios de sua importância até nos dias atuais.

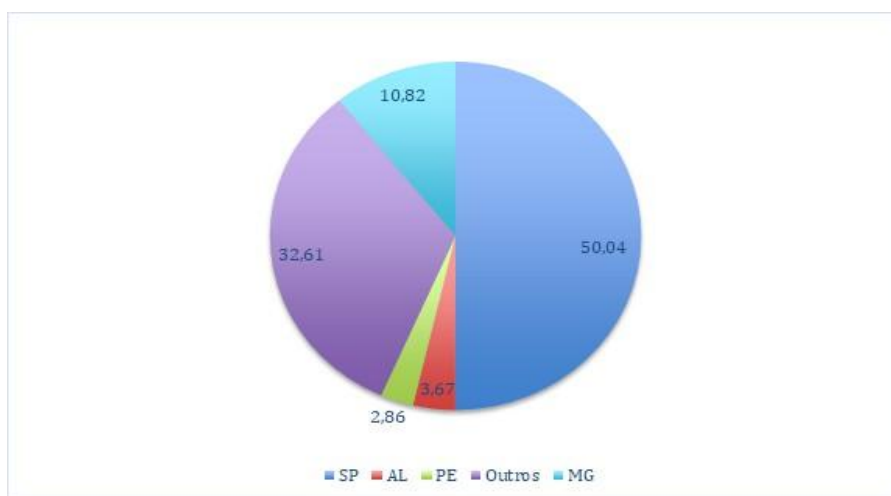
Visando o estado de São Paulo, de acordo com dados e análises fornecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o estado de São Paulo destaca-se como o principal produtor de etanol no Brasil. No ano de 2020, a produção atingiu a marca de 14,7 milhões de metros cúbicos por dia, representando 45,0% do total nacional. Dessas peças, aproximadamente dois terços são cobrados ao etanol hidratado, enquanto o terço restante refere-se ao etanol anidro, que é adicionado à gasolina para compensar o combustível utilizado nos veículos automotivos. Além disso, é importante ressaltar que o estado de São Paulo também

lidera a produção nacional de cana-de-açúcar, que é a principal matéria-prima para a fabricação do etanol. São Paulo concentra mais da metade da área plantada, totalizando 5,5 milhões de hectares, e a quantidade colhida, que alcançou 425,6 milhões de toneladas no ano em questão. Esses dados reforçam a posição de destaque do estado no cenário brasileiro de produção de etanol, evidenciando sua contribuição significativa para o setor de biocombustíveis no país.

Em quesito de proporção nacional os 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.

Com os dados do site da CONAB, foi possível fazer um levantamento em porcentagem da participação dos estados na área colhida de cana-de-açúcar, que foram apresentados abaixo.

Gráfico 1: Participação dos estados na área colhida de cana-de-açúcar.



Fonte: CONAB (2023)

Com os dados do gráfico foram evidenciados os estados participantes do estudo, onde São Paulo ocupou como líder na produção nacional e Pernambuco e Alagoas, representando a maior produção na região Norte-Nordeste, indicou-se como outros 16 estados participantes.

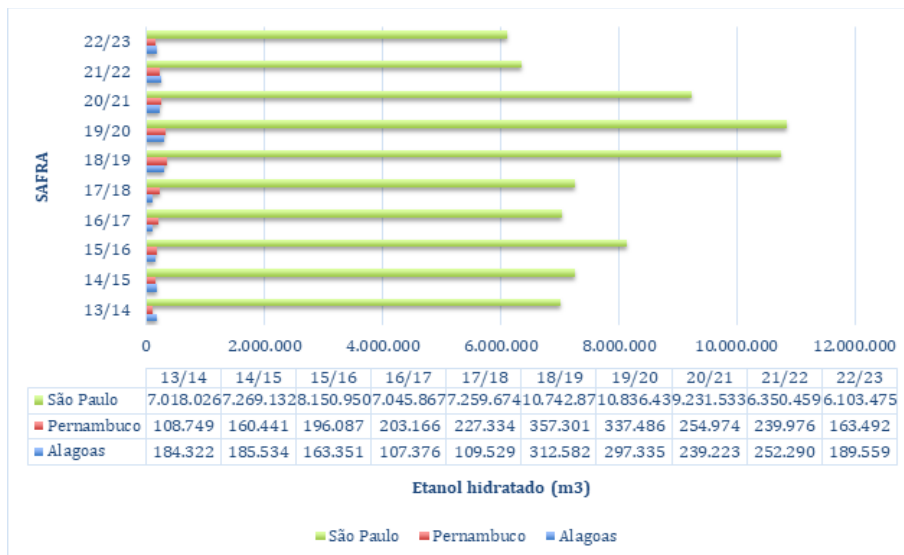
Seguindo para indicadores econômicos, de acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), em 2019, o setor apresentou mais de 774 mil empregos formais gerados e considerando os indiretos, há uma totalidade de 2,4 milhões de empregados pela indústria canavieira. Sendo visível as margens de comercialização, onde pode-se definir como “a diferença no preço do produto nos diversos níveis de mercado expressa em unidades equivalentes”, de acordo com Marques e Aguiar (1993), visando os produtores (usinas), varejistas (postos de combustível) e consumidores.

Dando destaque ao produto que está sendo estudado, o etanol hidratado, com dados da UNICA foi possível ver seu histórico de produção em metro cúbico por safra em 10 anos, com isso obtivemos o gráfico 2.

Interpretando o gráfico 2, podemos ver novamente que o estado de São Paulo se sobressai na produção de etanol hidratado, porém os valores de Alagoas e Pernambuco seguem as mesmas tendências mesmo produzindo menos, tendo diminuições e aumentos juntamente com o estado que lidera o mercado, representando uma paridade entre eles, é de suma importância evidenciar que as safras ocorrem em períodos diferentes nos estados, porém seguem as mesmas variações.

Na cadeia de comercialização do etanol hidratado combustível, é adicionado a cada elo um valor a ser pago, considerando os custos de frete, mão de obra, impostos, entre outros, sendo necessário a introdução de um rendimento, também conhecido como lucro, até que o produto final chegue ao seu destinatário.

Gráfico 2: Histórico de produção de etanol hidratado em m³, nas safras de 2013 até 2023.



Fonte: UNICA (2023)

Para uma melhor compreensão, foi estudado por Da Silva, 2022, o cenário da produção de etanol com uma análise preditiva no cenário antes e após a pandemia no Brasil, onde anteriormente o Brasil teria, até 2030, um crescimento na sua produção de etanol anidro e hidratado de 19.225 mil m³, de 2019 a 2030. Um aumento total de 46,3%, entretanto cerca de 73,2% deste aumento viria do aumento da produção da região Centro-Oeste. Segundo as estimativas feitas por esse trabalho, baseando-se em dados até 2019, o Brasil teria uma produção de etanol anidro e hidratado no ano de 2025 de 45.921 mil m³ (10.614 mil m³ a mais) e 54.532 mil m³ em 2030.

Já no cenário pós pandemia, o Brasil terá, até 2030, um crescimento na sua produção de etanol anidro e hidratado de 3.894 mil m³, de 2019 a 2030. Um aumento total de 11%. Segundo as estimativas feitas por esse trabalho, baseando-se em dados até 2021, o Brasil terá uma produção de etanol anidro e hidratado no ano de 2025 de 35.364 mil m³ e 40.869 mil m³ em 2030. Assim sendo, essas previsões de produção, baseadas na série histórica, não levam em consideração variáveis futuras importantes, sobre os fatores de clima e de terra, que proporcionam o fornecimento de biomassa, bem como do mercado de clientes da usina, que podem alternar entre a vantajosidade dos preços do açúcar e do etanol.

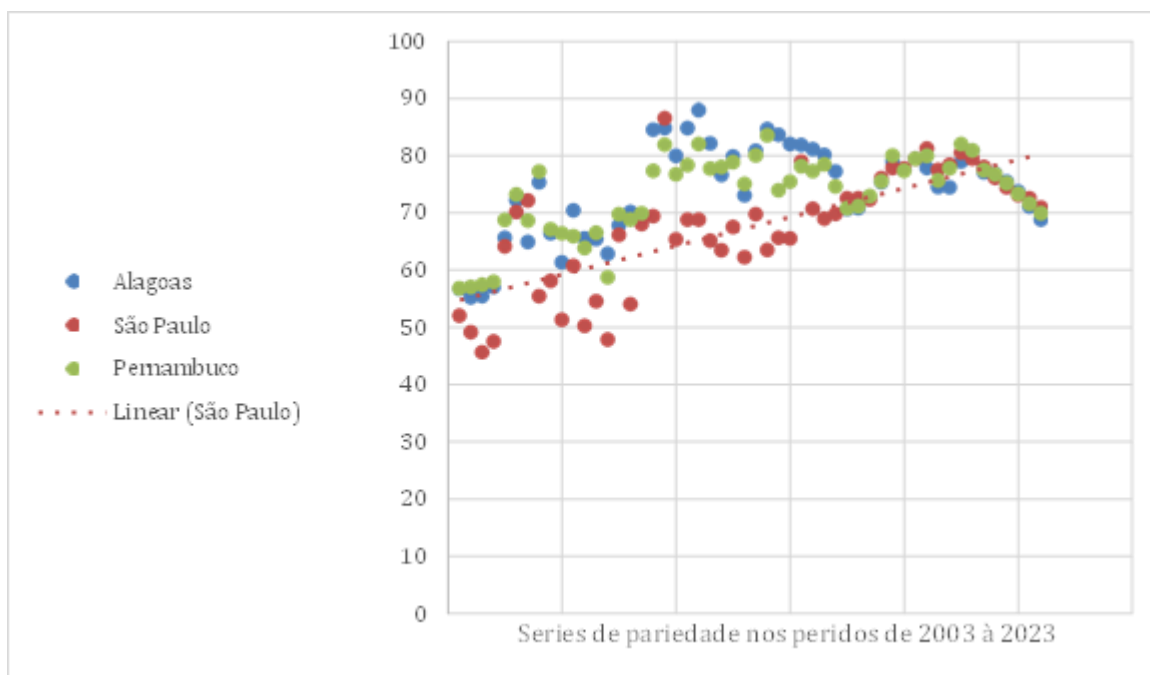
É necessário compreender a evolução dos preços e a sua paridade com outros combustíveis, para uma análise preditiva coerente, a paridade do etanol é calculada comparando o preço do etanol ao preço da gasolina, levando em consideração a eficiência energética de cada combustível. Quando o preço do etanol está abaixo de um determinado percentual em relação à gasolina, considera-se que o etanol está em vantagem econômica, tornando-se mais atrativo para os consumidores.

O gráfico 3 foi moldado com os dados presentes na ANP, por meio de médias semestrais dos anos de 2003 até 2022 das paridades dos estados estudados, já em 2023 foi realizada uma

análise mensal da paridade com isso foi possível observar uma tendência deste indicador, mesmo possuindo períodos distintos de safra.

É importante notar que a paridade do etanol pode variar ao longo do tempo devido a flutuações nos preços das matérias-primas, mudanças nas políticas governamentais e condições de mercado global. O setor de biocombustíveis está sempre sujeito a essas variáveis, o que destaca a importância de monitorar e analisar continuamente a paridade do etanol para entender as dinâmicas do mercado.

Gráfico 3: Paridade entre etanol e gasolina nos estados de AL, PE e SP.



Fonte: ANP (2024)

3. Metodologia e Fonte de dados

Para a realização do estudo os dados são secundários e foram buscados no site do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), para o período de 2003 a 2023, após a seleção dos mesmos ocorreu um deflacionamento, que de acordo com Bueno (2020), significa expurgar o efeito inflacionário dos preços nominais, obtendo estes valores em termos reais, permitindo a comparação das séries de preços em diferentes momentos, com isso 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.

Ao selecionar as séries temporais, foram visualizadas ausências de alguns dados, com isso foi feita uma estimativa entre dois pontos conhecidos no conjunto de dados, utilizando o método de interpolação linear, de acordo com Wang (2013), podemos entender como um método mais rápido e fácil, mas não muito precisa, onde o erro é proporcional ao quadrado da distância entre os pontos de dados. Para a realização da interpolação linear foi calculado por

$$y = y_a + (y_b - y_a) \frac{x - x_a}{x_b - x_a}$$

Onde:

- x é o valor para o qual você deseja interpolar y ,
- x_a e x_b são os pontos conhecidos mais próximos de x ,
- y_a e y_b são os valores correspondentes de y nos pontos conhecidos

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 as variáveis x e y , o coeficiente de correlação de Spearman da amostra é calculado por

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

em que d_i é a diferença em postos para x e y . A interpretação do coeficiente de correlação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Regra prática para interpretar o tamanho de um coeficiente de correlação

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

Fonte: Mukaka (2012)

No que tange a modelagem temporal, deve-se considerar que a variável aleatória preço do álcool hidratado em cada um dos estados analisados, ou série temporal, denotada por Z_t , com $t = 1, \dots, n$, pode ser decomposta na soma $Z_t = T_t + S_t + a_t$, em que: a componente T_t explica a tendência da série, isto é, o aumento ou diminuição dos valores observados segundo um comportamento que pode ser polinomial ou exponencial; a componente S_t explica a sazonalidade da série, isto é, fenômenos que ocorrem regularmente (diariamente, semanalmente, mensalmente etc); e a componente aleatória ou erro a_t . A suposição usual é que a_t seja uma série puramente aleatória ou ruído branco independente, com média zero e variância constante (METCALFE; COWPERTWAIT, 2009).

O modelo SARIMA, que significa "Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average" (Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonal), é uma evolução do modelo ARIMA, acrescentando componentes sazonais. Este modelo é muito útil para analisar e prever séries temporais que mostram padrões sazonais.

O SARIMA melhora o ARIMA ao incluir a capacidade de capturar padrões sazonais.

Ele adiciona a parte autorregressiva sazonal (SAR), onde o valor atual é influenciado por valores passados em períodos sazonais específicos; a diferenciação sazonal (SI), que torna a série estacionária em relação a padrões sazonais; e a média móvel sazonal (SMA), que mostra que o valor atual é influenciado por erros passados em intervalos sazonais.

A notação do SARIMA é $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)m$, onde "p" é a ordem da parte autorregressiva, "d" é a ordem da diferenciação, "q" é a ordem da média móvel, "P" é a ordem da parte autorregressiva sazonal, "D" é a ordem da diferenciação sazonal, "Q" é a ordem da média móvel sazonal, e "m" é a periodicidade sazonal (como 12 para dados mensais com sazonalidade anual).

Neste trabalho, os modelos da classe *SARIMA* (*ARIMA* sazonal) descritos por Box, Jenkins & Reinsel (2008) foram ajustados comparados por meio do critério de informação de Akaike (AIC) e será indicado aquele que fornecer o menor valor (LISKA et al., 2013), sendo especialmente útil quando há sazonalidade na série temporal, tornando-se uma ferramenta poderosa para muitas aplicações práticas em negócios, economia, meteorologia, entre outras áreas.

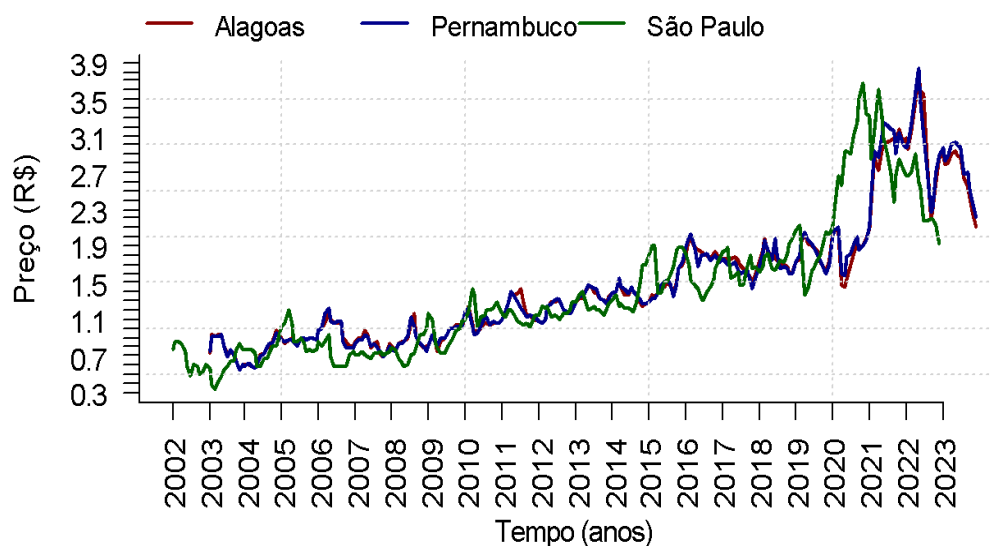
A realização das análises é utilizando o pacote estatístico TSA (CHAN; RIPLEY, 2020) do Sistema Computacional Estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

4. Resultados e Discussão

Após o levantamento dos dados propostos, buscados no site do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), no período de 2003 a 2023, eles foram deflacionados utilizando os índices do IPCA, obtendo estes valores em termos reais, suprimindo a ausência de dados foi feita uma interpolação linear, estimando estes pontos ausentes.

Com os parâmetros avaliados acima, foi possível observar uma visão concisa da evolução dos preços ao longo dos anos, conforme refletido no gráfico abaixo.

Gráfico 4: Séries de preços deflacionadas nos anos de 2003 a 2023.



FONTE: CEPEA (2023)

O gráfico 4 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.

De acordo com Vidal (2020), Alagoas e Pernambuco com sua relevante produção de cana-de-açúcar, destaca-se como uma peça-chave no panorama nacional de etanol e as suas variações são influenciadas por fatores locais, como a sazonalidade da produção e condições climáticas, a demanda, tanto interna quanto externa, também exerce impacto significativo nos preços. Já como líder nacional na produção de etanol, São Paulo desempenha papel fundamental na economia sucroalcooleira, os preços do etanol hidratado em São Paulo são sensíveis à dinâmica competitiva entre as usinas, custos de produção e a demanda global.

Ao estabelecer relações entre as séries de preços, foi considerado o coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman, denotado por ρ , 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 as séries.

As projeções indicam que possivelmente o estado de São Paulo, dita uma tendência de preços sobre os outros estados, sendo de suma importância acompanhar de perto os indicadores econômicos e eventos setoriais é essencial para reações rápidas a possíveis mudanças no mercado.

Ao analisarmos a modelagem temporal, com uma série de treinamento de 20 anos (2003-2023), foi possível fazer a previsão de 36 pontos nos gráficos dos estados que foram estudados. Para o ajuste dos modelos da classe SARIMA (ARIMA sazonal) descritos por Box, Jenkins & Reinsel (2008), foram comparados por meio do critério de informação de Akaike (AIC) e foi indicado aquele que forneceu o menor valor, com isso escolhendo os melhores modelos individualmente em cada estado.

✓ Estado de São Paulo:

No estado de São Paulo ao analisarmos a modelagem temporal, foi realizado distintos testes de modelos de classe SARIMA (ARIMA sazonal) descritos por Box, Jenkins & Reinsel (2008), com isso foram comparados por meio do critério de informação de Akaike (AIC) e abaixo indicou-se o que forneceu o menor valor, o modelo que está realçado o texto, como visto na tabela 2.

Após a escolha do modelo SARIMA (2, 1, 1) (1, 1, 1), foi possível por meio do Sistema Computacional Estatístico R, fazer uma série de treinamento com gráfico da série ajustada e observada e chegar aos gráficos 5 e 6, que representam as previsões da série de teste no período de 36 meses. Onde as linhas vermelhas representam a previsão e as pretas o que realmente foi observado no período entre 2003 a 2023, o **Gráfico 5** apresenta o treinamento já o **Gráfico 6** é o teste.

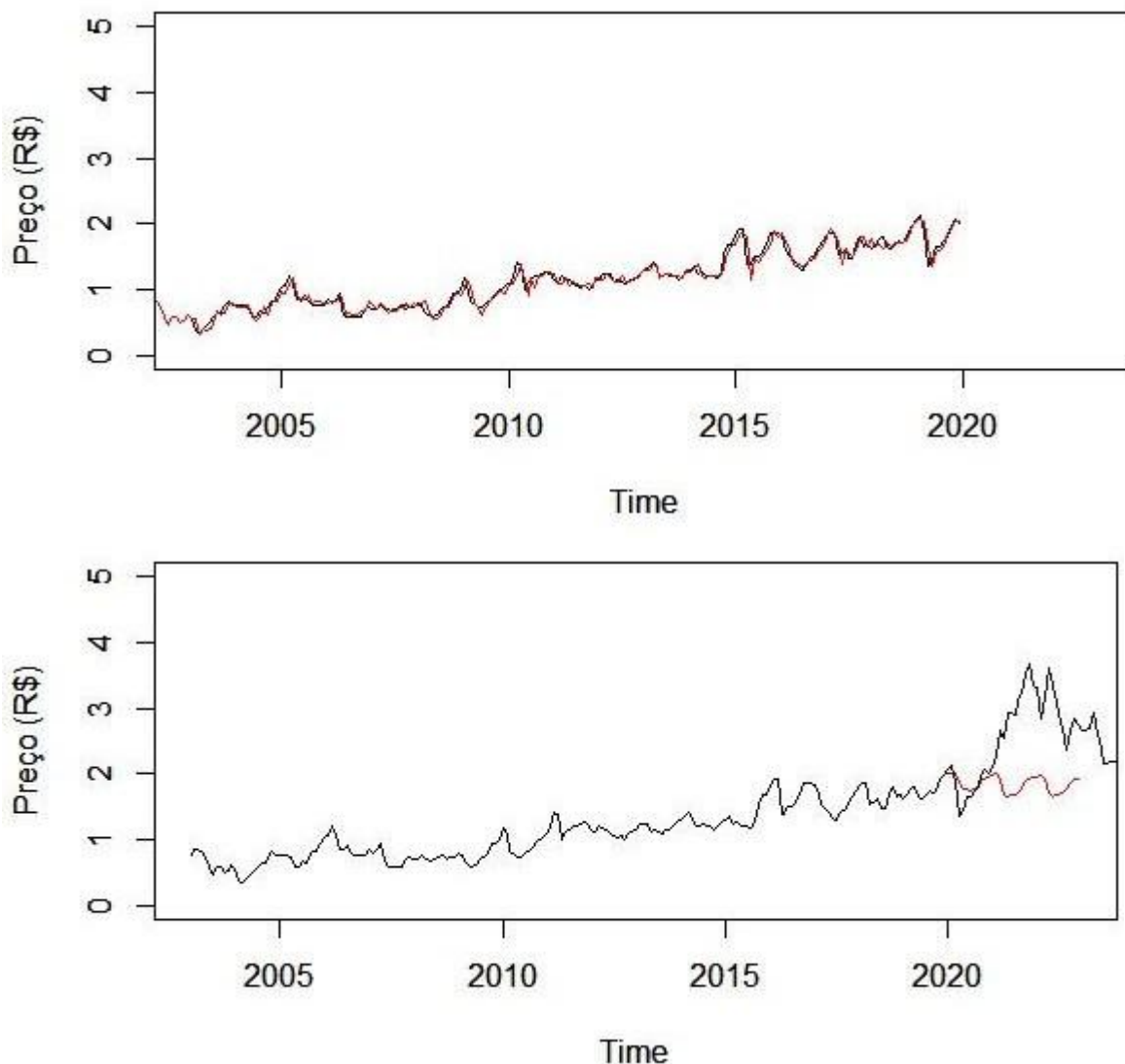
Tabela 2: Diferentes modelos da classe SARIMA viáveis para a série histórica de preços de etanol no estado de São Paulo (em R\$), seguidos dos seus respectivos resultados para o teste de Ljung–Box, Critério de informação de Akaike (AIC), erro quadrático médio de previsão (EQMP) e erro percentual absoluto médio (EPAM).

Modelo	Ljung–Box	AIC	EQMP	EPAM
<i>SARIMA</i> (1,0,1)(1,0,1)	0,0143	-389,67	1,4945	39,6698
<i>SARIMA</i> (1,1,1)(1,0,1)	0,0655	-397,87	0,7724	25,1246
<i>SARIMA</i> (2,1,1)(1,1,1)	0,6814	-368,46	0,7629	24,8037
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,1)	0,3628	-255,17	0,8152	25,6251
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,2)	0,9455	-378,32	0,8559	26,8072
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,3)	0,9468	-376,43	0,8513	26,7274
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(2,1,1)	0,9181	-374,28	0,8473	26,4878
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(1,1,2)	0,9606	-376,98	0,8552	26,8133
<i>SARIMA</i> (2,1,4)(0,1,2)	0,9502	-373,48	0,8462	26,4968
<i>SARIMA</i> (2,1,4)(0,1,3)	0,9497	-371,36	0,8419	26,4105
<i>SARIMA</i> (3,1,2)(0,1,1)	0,4419	-368,16	0,8658	26,9294
<i>SARIMA</i> (3,1,5)(0,1,3)	0,9837	-375,49	0,8513	26,6845
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(0,2,3)	0,9480	-275,64	0,8169	26,0820
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(1,1,2)	0,9606	-376,98	0,8552	26,8133

FONTE: Dados da pesquisa (2024)

Pode-se indicar que, no Estado de São Paulo, o preço do etanol hidratado combustível atual, ao produtor, está realcionado com o preço de 2 meses atrás e aponta uma dependência sazonal com o mesmo mês do ano anterior.

Gráfico 5 e 6: Série de preços para o estado de São Paulo, ajustado ao modelo SARIMA (2,1,1) (1,1,1), com previsão de 36 meses após a série de treinamento.



FONTE: Dados da pesquisa (2024)

✓ Estado de Alagoas

No estado de Alagoas usando a mesma metodologia foi possível indicar o modelo que forneceu o menor valor, o modelo está realçado o texto, como visto na tabela 3.

Após a escolha do modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1), foi possível por meio do Sistema Computacional Estatístico R, fazer uma série de treinamento com gráfico da série ajustada e observada (7 e 8), que representam as previsões da série de teste no período de 36 meses. Onde as linhas vermelhas representam a previsão e as pretas o que realmente foi observado no período entre 2003 a 2023, o **Gráfico 7** apresenta o treinamento já o **Gráfico 8** é o teste.

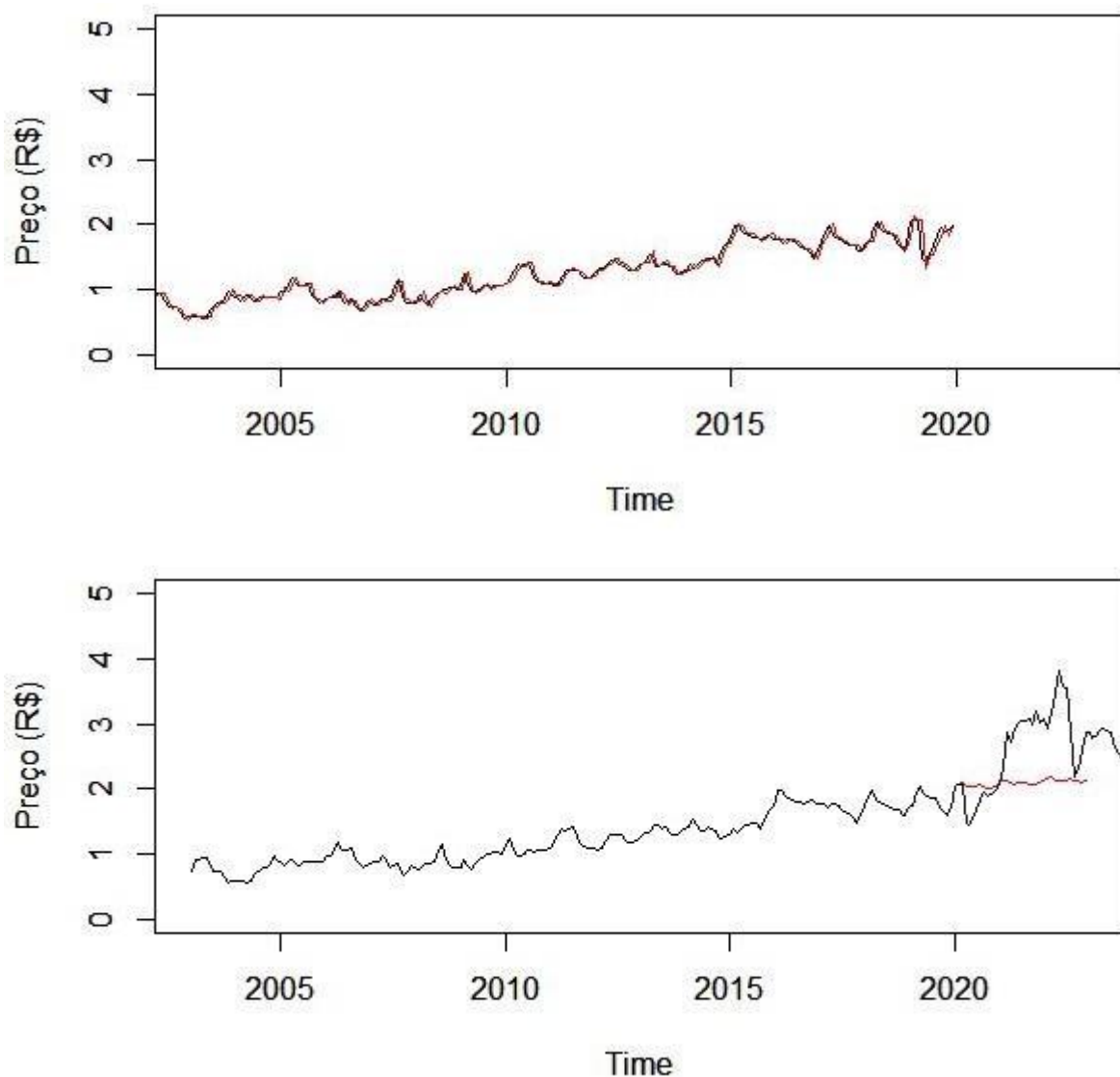
Pode-se indicar que, no Estado de Alagoas, o preço do etanol hidratado combustível atual, ao produtor, está relacionado com o preço de 1 mês atrás e aponta uma dependência sazonal com o mesmo mês do ano anterior.

Tabela 3: Diferentes modelos da classe SARIMA viáveis para a série histórica de preços de etanol no estado de Alagoas (em R\$), seguidos dos seus respectivos resultados para o teste de Ljung–Box, Critério de informação de Akaike (AIC), erro quadrático médio de previsão (EQMP) e erro percentual absoluto médio (EPAM).

Modelo	Ljung–Box	AIC	EQMP	EPAM
<i>SARIMA</i> (1,0,1)(1,0,1)	0.9772	-459.48	1.3201	36.5599
<i>SARIMA</i> (1,1,1)(1,0,1)	0.8689	-459.25	0.7397	25.1755
<i>SARIMA</i> (2,1,1)(1,1,1)	0.9998	-424.64	0.8355	26.9561
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,1)	0.9999	-423.15	0.8250	26.7357
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,2)	0.9998	-422.42	0.8214	26.6092
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(1,1,3)	0.9999	-421	0.8304	26.7683
<i>SARIMA</i> (2,1,2)(2,1,1)	0.9999	-421.16	0.8257	26.7373
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(1,1,2)	0.9998	-422	0.8144	26.5031
<i>SARIMA</i> (2,1,4)(0,1,2)	0.9999	-419.68	0.8181	26.6030
<i>SARIMA</i> (2,1,4)(0,1,3)	0.9999	-417.7	0.8207	26.6332
<i>SARIMA</i> (3,1,2)(0,1,1)	0.9999	-423.13	0.8267	26.7700
<i>SARIMA</i> (3,1,5)(0,1,3)	1	-416.16	0.8363	27.0413
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(0,2,3)	0.9992	-322.94	0.7885	25.7941
<i>SARIMA</i> (2,1,3)(1,1,2)	0.9998	-422	0.8144	26.5031

FONTE: Dados da pesquisa (2024)

Gráfico 7 e 8: Série de preços para o estado de Alagoas, ajustado ao modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1), com previsão de 36 meses após a série de treinamento.



FONTE: Dados da pesquisa (2024)

✓ Estado de Pernambuco

No estado de Pernambuco usando a mesma metodologia foi possível indicar o modelo que forneceu o menor valor, o modelo está realçado o texto, como visto na tabela 4.

Tabela 4: Diferentes modelos da classe SARIMA viáveis para a série histórica de preços de etanol no estado de Pernambuco (em R\$), seguidos dos seus respectivos resultados para o teste de Ljung–Box, Critério de informação de Akaike (AIC), erro quadrático médio de previsão (EQMP) e erro percentual absoluto médio (EPAM).

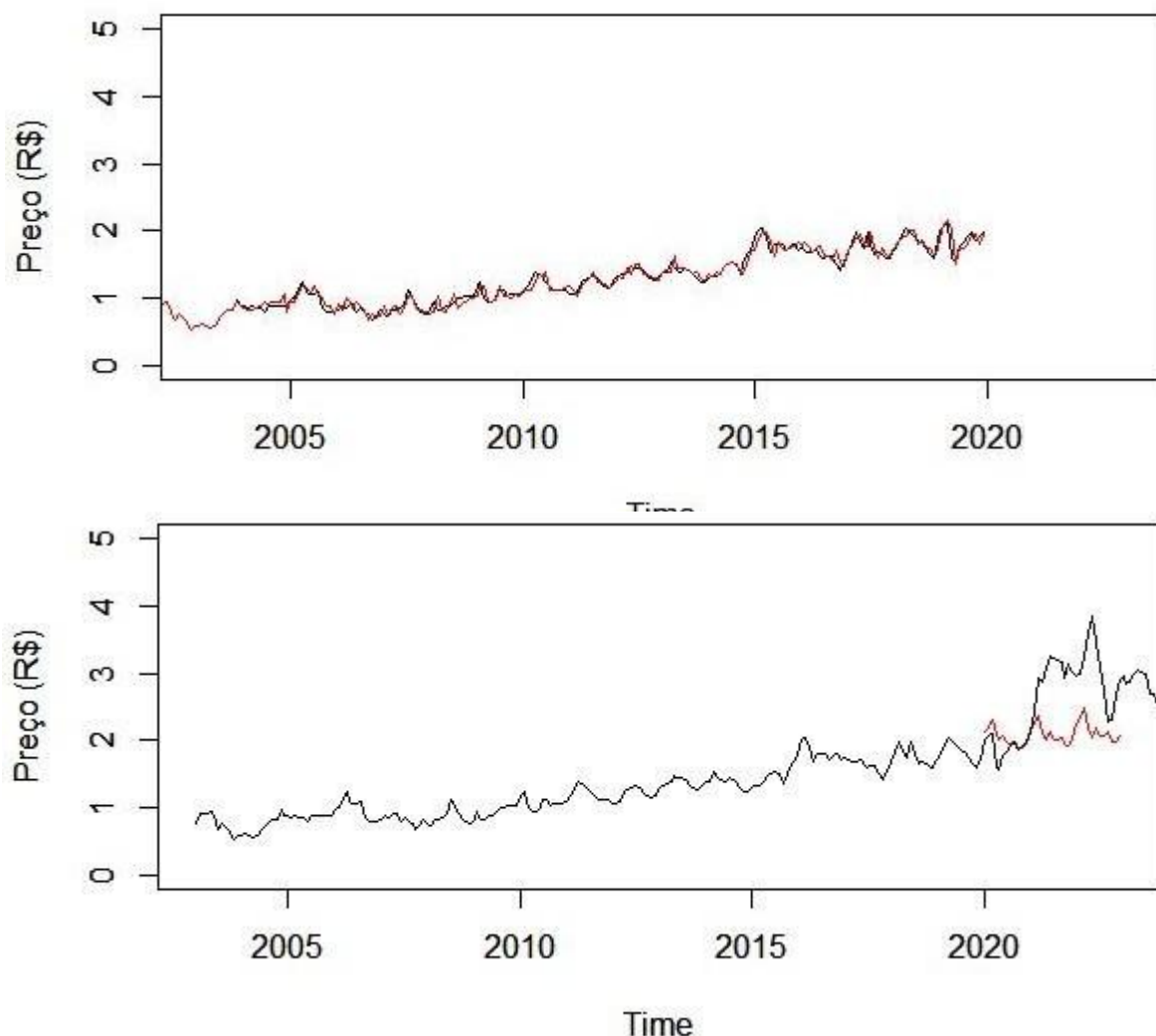
Modelo	Ljung–Box	AIC	EQMP	EPAM
SARIMA (1,0,1)(1,0,1)	0,3819	-439.88	1.417541	38.02054
SARIMA(1,1,1)(1,0,1)	0.386	-441.55	0.8138	27.0182
SARIMA(2,1,1)(1,1,1)	0.9195	-409.96	0.8386	27.36314
SARIMA(2,1,2)(1,1,1)	0.9334	-409.68	0.8354	27.3356
SARIMA(2,1,2)(1,1,3)	0.9483	-408.74	0.8379	27.3542
SARIMA(2,1,2)(2,1,1)	0.9342	-407.68	0.8357	27.3368
SARIMA(2,1,3)(1,1,2)	0.9539	-408.59	0.8432	27.4301
SARIMA(2,1,4)(0,1,2)	0.947	-406.56	0.8280	27.1935
SARIMA(2,1,4)(0,1,3)	0.9442	-404.55	0.8210	27.1076
SARIMA(3,1,2)(0,1,1)	0.844	-407.7	0.8439	27.5133
SARIMA(3,1,5)(0,1,3)	0.996	-407.52	0.8367	27.4881
SARIMA(2,1,3)(0,2,3)	0.9739	-312.43	0.8213	27.0107
SARIMA(2,1,3)(1,1,2)	0.9539	-408.59	0.8432	27.4301

FONTE: Dados da pesquisa (2024)

Após a escolha do modelo SARIMA (2, 1, 3) (0, 2, 3), foi possível por meio do Sistema Computacional Estatístico R, fazer uma série de treinamento com gráfico da série ajustada e observada e chegar aos gráficos 9 e 10, que representam as previsões da série de teste no período de 36 meses. Onde as linhas vermelhas representam a previsão e as pretas o que realmente foi observado no período entre 2003 a 2023, o **Gráfico 9** apresenta o treinamento já o **Gráfico 10** é o teste.

Pode-se indicar que, no Estado de Pernambuco, o preço do etanol hidratado combustível atual, ao produtor, está realcionado com o preço de 2 meses atrás e não aponta dependência sazonal.

Gráfico 9 e 10: Série de preços para o estado de Pernambuco, ajustado ao modelo SARIMA (2,1,3) (0,2,3), com previsão de 36 meses após a série de treinamento.



FONTE: Dados da pesquisa (2024)

5. Conclusão

As projeções indicam 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.

Ao analisarmos os estados individualmente, foi possível fazer previsões de preços pelo uso do modelo SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average), analisando São Paulo foi considerado o modelo (2, 1, 1) (1, 1, 1) o mais efetivo, em Alagoas foi considerado o modelo (1, 1, 1) (1, 0, 1) e em Pernambuco foi considerado modelo (2, 1, 3) (0, 2, 3), tendo em vista o EQMP e o EPAM com menores valores.

Com isso a correlação entre os preços de etanol hidratado combustível no Brasil pode estar sendo 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.

Além disso políticas governamentais de incentivo e regulamentação uniformes também contribuem para essa correlação, sendo assim a demanda por etanol, influenciada pelos preços da gasolina e fatores sazonais, provoca flutuações nos preços, que tendem a ser uniformes nas diferentes regiões devido à interdependência do mercado.

6. Referências Bibliográficas

- AIE- Agência Internacional de Energia, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 13 de julho de 2023.
- 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-concorrenca/precos/serie-historica-de-precos> -de-combustiveis. Acesso em: 15 de julho de 2023.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. Time series analysis : forecasting and control. p. 746, 2008.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>. Acesso em: 15 de julho de 2022.
- CHAN, K.-S.; RIPLEY, B. TSA: Time Series Analysis, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=TSA>. Acesso em: 18 de julho de 2022.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamentos de Safra: cana-de-açúcar. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília: CONAB, 2021a. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 16 de julho de 2023.
- DE ANDRADE, Ednilton Tavares; DE CARVALHO, Sergio Roberto Garcia; DE SOUZA, Lucas Fernandes. Programa do Proálcool e o etanol no Brasil. Engevista, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/8847-Texto%20do%20Artigo-38093-1-10-20180621.pdf>. Acesso em: 16 de julho de 2023.
- DODGE, Y. Spearman Rank Correlation Coefficient. In: The Concise Encyclopedia of Statistics. New York, NY: Springer New York, 2008. p. 502–505. Acesso em: 13 de julho de 2023.
- 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>. Acesso em: 15 de julho de 2023.
- LISKA, G. R. et al. Estimativas de velocidade máxima de vento em Piracicaba-SP via Séries Temporais e Teoria de Valores Extremos. Revista Brasileira de Biometria, v.31, n. 2, p. 295–309, 2013. Acesso em: 13 de julho de 2023.
- METCALFE, A. V.; COWPERTWAIT, P. S. P. Introductory Time Series with R. New York, NY: Springer New York, 2009. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- MME- Ministério de Minas e Energia do Brasil. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, 2022. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36219/486896/Boletim+Mensal+dos+Combust%C3%A9is+Renov%C3%A9is/f4ab3d7d-87b9-d5a7-2b5b-0af1bb6c586e>. Acesso em: 15 de julho de 2023.
- 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. Acesso em: 12 de julho de 2023.
- OLIVEIRA, F. M., et al. Dynamics of ethanol prices in Brazil: an econometric analysis, 2018.

Energy Economics, 74, 60-69. Acesso em: 18 de julho de 2023.

OPEP-OPEP- Organização dos Países Exportadores de Petróleo, 2022. Disponível em: <https://www.opec.org/>. Acesso em: 13 de julho de 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 15 de julho de 2023.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. Edufu, 2020. Disponível em:

https://acrobat.adobe.com/link/officefile/?x_api_client_id=adobe_com&x_api_client_location=verb_edit_office&mv=other&mv2=chrome_extension_viewer&trackingid=YKHWC5S5&theme=light&pdfnow%21verb=verb-edit-office&pdfnow%21execute-action=verb-edit-office&action=edit&token_type=bearer&expires_in=86399996&uri=urn%3Aaaid%3Asc%3AVA6C2%3Ab48ac882-ed5-4516-928e-3cb8eea68036. Acesso em: 17 de julho de 2023.

ROSILLO-CALLE, F., et al. Handbook of Bioenergy Economics and Policy: Volume II, 2018. Springer. Acesso em: 18 de julho de 2023.

SORDA, G., et al. Price volatility in the US ethanol market, 2019. Energy Economics, 81, 131-143. Acesso em: 17 de julho de 2023.

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>.

BARBOSA, W., Ciclos biogeoquímicos como subsídio para a sustentabilidade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, dissertação, Unesp, Jaboticabal, Maio, 2007.

MARQUES, Pedro Valentim; AGUIAR, Danilo Rolim Dias de. Comercialização de produtos agrícolas. São Paulo: Edusp, 1993. 195 p.

MONTEIRO, Thiago Peitl. Margens de comercialização do etanol hidratado no estado de São Paulo. 2023.

DA SILVA, Ubirajara Souza. Estimativas da produção de etanol no Brasil baseados nos dados antes e durante a Covid. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia.

SZMRECSÁNYI, T. Contribuição à análise do planejamento da agroindústria canavieira do Brasil. 1976. 508 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.

FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Política de preços dos combustíveis. In: VIEIRA FILHO, J. E. R. (Orgs.). Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira. Rio de Janeiro: Ipea, 2019. p. 207-226.

RIEZNIK, Pablo Hector. Proálcool: geração líquida de empregos. Estudos Econômicos (São Paulo), v. 12, n. 2, p. 95-110, 1982.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e mercado de etanol. 2020.