

## **Etanol no Brasil: Uma abordagem preditiva de preços**

### **Fabício Bisset Silva de Brito**

Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial  
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC  
E-mail: fabissetc@gmail.com  
Orcid: 0009-0004-0411-6331

### **Leandro Brito Santos**

Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial  
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC  
E-mail: lsbrito@gmail.com  
Orcid: 0000-0003-0132-4712

### **Roberto Luiz Souza Monteiro**

Doutorado em Difusão do Conhecimento  
Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
E-mail: robertolsmonteiro@gmail.com  
Orcid: 0000-0002-3931-5953

### **Everaldo Freitas Guedes**

Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial  
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC  
E-mail: efgestatistico@gmail.com  
Orcid: 000-0002-2986-7367

## **RESUMO**

A produção de biocombustíveis líquidos emergiu como alternativa ao uso de combustíveis fósseis para fins de transporte. O etanol é descrito como um combustível de energia renovável. O Brasil em 2021 produziu 27,46 % do etanol no mundo, ocupando a segunda posição entre os países produtores. A introdução no mercado brasileiro dos veículos comerciais leves e de passageiros com a tecnologia Flex Fuel na qual, utiliza simultaneamente Gasolina tipo C ou Etanol hidratado. A partir de março 2003, impactou significativamente na demanda pelo etanol no mercado consumidor brasileiro. O presente trabalho propõe realizar comparação da acurácia preditiva entre os modelos matemáticos ARFIMA, ARIMA e Exponencial Suavizado dos preços do etanol brasileiro no período de 4 anos.

**Palavras-chave:** Etanol. Commodities. Previsão. Séries Temporais.

## **1 INTRODUÇÃO**

A produção de biocombustíveis líquidos emergiu como alternativa de uso de combustíveis fósseis para fins de transporte [1]. A mitigação das emissões de carbono, a segurança energética e o desenvolvimento agrícola são os principais impulsionadores deste tipo de projetos de bioenergia [1]. O etanol é descrito como um combustível de energia renovável que ajuda a mitigar as mudanças climáticas,

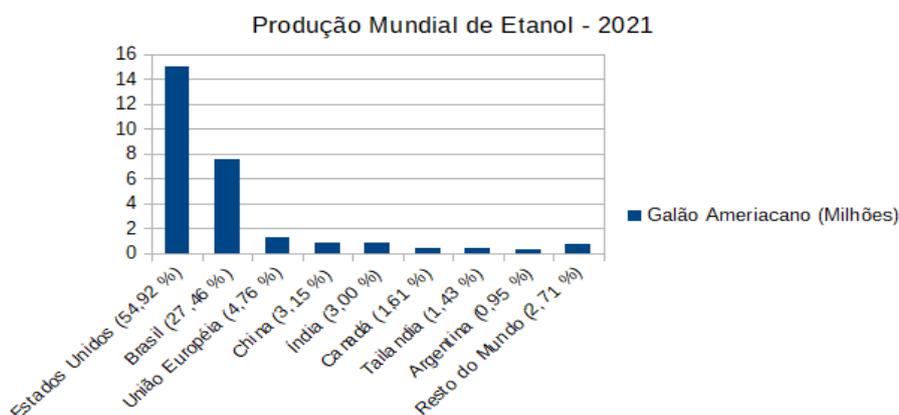
destacando os avanços tecnológicos que poderiam permitir a produção não só de etanol tradicional, mas também do etanol celulósico de segunda geração a partir do bagaço de cana [2].

Conforme dados da Renewable Fuel Association (RFA) o Brasil em 2021 produziu 27,46 % do etanol no mundo, ocupando, portanto, a segunda posição entre os países produtores (Figura 1) [3]. No Brasil o etanol combustível é derivado da cana-de-açúcar e é usado puro ou misturado a gasolina em uma mistura chamada gasohol (25% de etanol, 75% de gasolina) [4].

A introdução e a evolução no mercado brasileiro dos veículos comerciais ligeiros e de passageiros com a tecnologia Flex Fuel, que utiliza simultaneamente Gasolina tipo C ou Etanol hidratado, a partir de março 2003, impactaram significativamente na demanda pelo etanol no mercado consumidor brasileiro e quantitativamente na variação (a maior) de seu preço frente a Gasolina tipo C [5]. Por consequência, a introdução no Brasil da tecnologia Flex Fuel, juntamente com o aumento da demanda pelo açúcar no mercado internacional, impulsionou um crescimento significativo na indústria de cana-de-açúcar nas últimas décadas [6].

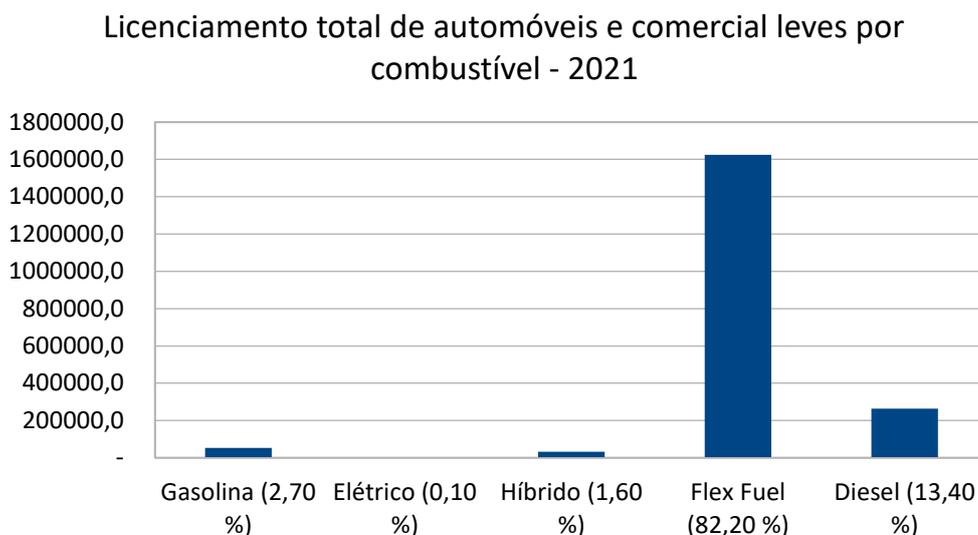
Ainda, conforme dados da Associação Nacional dos Veículos Automotores (ANFAVEA), em 2021 a quantidade de emplacamentos de veículos automóveis e comerciais leves, com motor de tecnologia de combustível Flex Fuel, correspondeu a 82,20 % do total de veículos emplacados no mercado brasileiro (Figura 2) [7].

Figura 1. Produção de etanol no mundo no ano 2021.



Fonte: RFA.

Figura 2. Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível em 2021.



Fonte: ANFAVEA / RENAVAM

De acordo com os estudos de [8] a volatilidade dos preços do etanol no Brasil em anos consecutivos está associada principalmente aos seguintes fatores: (i) quantidade de produção de cana-de-açúcar; (ii) percentual de cana para a produção de etanol, ou seja, para o mix de produção; (iii) renda do consumidor; (iv) número de veículos da frota comercial leve; e (v) preço da gasolina tendo em vista a mistura compulsória de tal tipo de etanol na venda de gasolina. Para compreender melhor a problemática da volatilidade nos preços do etanol brasileiro, [8] aplicaram várias ferramentas matemáticas em seu trabalho, a saber: análise de Flutuação Destendenciada (DFA), os expoentes de Hurst (H) e Lyapunov ( $\lambda$ ); bem como comparam a acurácia entre os modelos Média Móvel Integrada Fracionada (ARFIMA) e Média Móvel Auto-Regressiva (ARIMA) em uma previsão de 365 dias dos preços do etanol numa série temporal apresentando, como resultado, uma vantagem do modelo ARFIMA sobre o ARIMA.

Assim, o presente trabalho se propõe, especificamente, em realizar comparação similar da acurácia entre os modelos ARFIMA e o ARIMA, em uma previsão para o dia seguinte (próximo ponto), em uma série temporal dos preços do etanol no Brasil; entretanto, introduzindo um novo elemento ao experimento realizado por [8]: um modelo matemático Exponencial Suavizado.

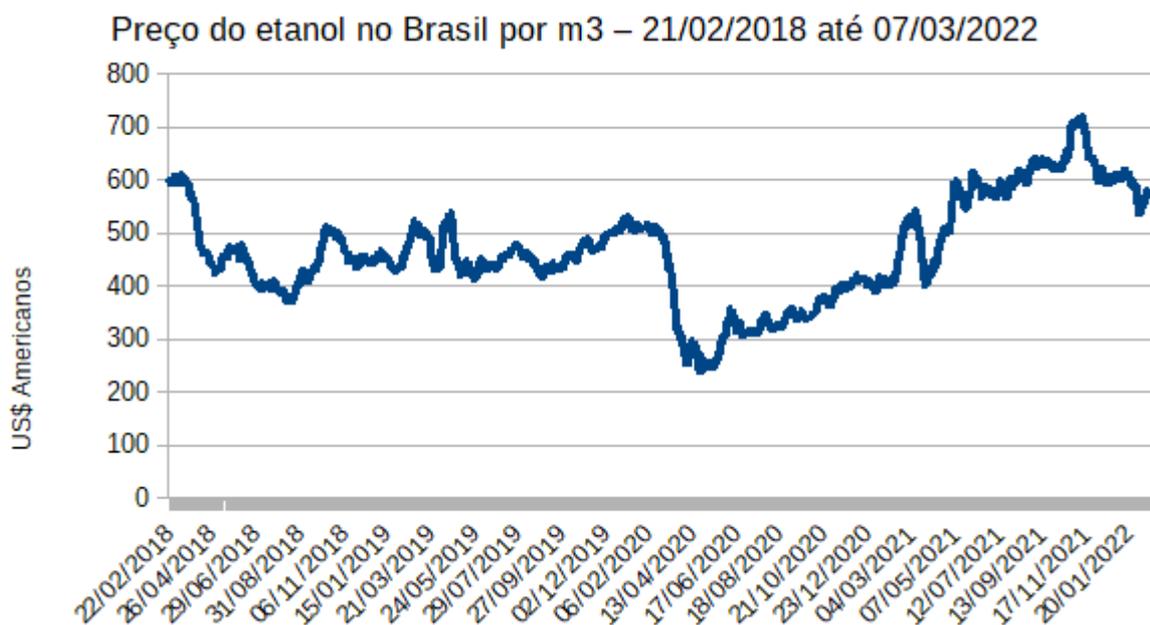
## 2 METODOLOGIA

A metodologia se refere a aplicação dos modelos matemáticos elencados nos subitens seguintes na base de dados através da linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento integrado R [9].

## 2.1 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada no experimento é a série temporal dos preços diários do etanol em Dólar Americano (US\$), referente ao período de 21/02/2018 até 07/03/2022 (mil pontos), fornecida pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA-Esalq / USP e disponível em [10]

Figura 3. Preço do etanol no Brasil por m<sup>3</sup> – 21/02/2018 até 07/03/2022.



Fonte: CEPEA / ESALQ / USP

## 2.2 MODELO ARIMA

Proposto por [11], o modelo matemático ARIMA é utilizado na análise e previsão de séries temporais e possui como forma de notação ARIMA ( $p, d, q$ ); onde  $p$  representa as ordens de auto-regressão,  $d$  representa a integração e  $q$  representa a ordem da média móvel.

Para aplicar o modelo matemático ARIMA na série temporal objeto de estudo foi utilizada a função *auto.arima()* disponível na biblioteca *forecast* do linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, a função *auto.arima()* retorna o melhor modelo ARIMA de acordo com o valor AIC, AICc ou BIC. A função conduz uma pesquisa sobre o modelo possível dentro das restrições de ordem fornecidas [9].

## 2.3 MODELO ARFIMA

O modelo ARFIMA é uma generalização do modelo matemático ARIMA e possui como característica a capacidade de modelagem de processos com longa dependência serial[12].

Para aplicar o modelo matemático ARFIMA na série temporal objeto de estudo foi utilizado a função *arfima()* disponível na biblioteca *forecast* da linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, um modelo ARFIMA ( $p, d, q$ ) ótimo é selecionado e estimado automaticamente [9].



## 2.4 MODELO EXPONENCIAL SUAVIZADO

A concepção dos modelos de Suavização Exponencial abrange a anexação de pesos maiores nas observações mais recentes e as previsões são calculadas utilizando médias ponderadas onde os pesos diminuem – de maneira exponencial – nas observações mais antigas numa série temporal [13].

Para aplicar um modelo matemático Exponencial Suavizado na série temporal objeto de estudo foi utilizado a função *ets()* disponível na biblioteca *forecast* da linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, a aplicação da metodologia é totalmente automática. O único argumento requerido para a função *ets()* é a série temporal. Um modelo Exponencial Suavizado ótimo é escolhido automaticamente se não for especificado [9].

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em (1) acurácia dos modelos utilizados no experimento e (2) Previsão do 1001º ponto por modelo.

### 3.1 ACURÁCIA DOS MODELOS UTILIZADOS

A partir da aplicação dos modelos matemáticos ARFIMA, ARIMA e Exponencial suavizado na base de dados objeto deste trabalho, obtivemos as mediadas de acurácia de cada modelo, a saber: Erro Médio (ME), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Erro Absoluto Médio (MAE), Erro Percentual Médio (MPE), Erro de Porcentual Médio Absoluto (MAPE), Erro Escalonado Médio Absoluto (MASE) e Auto Correlação de Erros no Atraso 1, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Medidas de acurácia dos modelos de previsão.

MODELO	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
ARFIMA	0.0195695 2	6.38693 6	4.84474 4	- 0.0148809 4	1.06862 6	0.94396 53	- 0.00130547 8
ARIMA (2,1,0)	0.0131833	6.39391 8	4.84245 3	0.0019780 34	1.06781 2	0.94351 9	1.43362e-05
EXP. SUAVIZADO	0.0074493 02	6.42531 7	4.86870 7	0.0052210 73	1.07333 3	0.94863 44	- 0.00473648 7

Fonte: experimento.

### 3.2 PREVISÃO DO 1001º PONTO POR MODELO

A tabela 02 apresenta a previsão do 1001º ponto por modelo matemático utilizado no experimento, com intervalos de confiança de 80% e 95 %.



Tabela 02. Previsão do 1001º ponto por modelo matemático.

<b>MODELO</b>	<b>PONT O</b>	<b>PREVIS ÃO</b>	<b>BAIXA 80</b>	<b>ALTA 80</b>	<b>BAIXA 95</b>	<b>ALTA 95</b>
<b>ARIMA (2,1,0)</b>	1001	610.8624	602.6559	619.068 8	598.311 7	623.413 1
<b>EXP. SUAVIZADA</b>	1001	611.8587	603.6036	620.113 7	599.233 7	624.483 7
<b>ARFIMA</b>	1001	610.3783	602.1931	618.563 5	597.860 1	622.896 5

Fonte: experimento.

## **4 CONCLUSÃO**

No presente experimento, o modelo estatístico que apresentou a uma melhor acurácia preditiva para a previsão de preços do etanol – no intervalo de tempo delimitado – foi o ARFIMA, levando em consideração o menor Root Mean Squared Error (RMSE) deste modelo em relação aos demais, numa previsão de US\$ 610,38 para o 1001º ponto; a inclusão de novos modelos matemáticos deve ser realizada ao experimento, objetivando uma maior acurácia na previsão diária do preço do etanol.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do SENAI CIMATEC.



## REFERÊNCIAS

TRIANA, Carlos Ariel Ramírez. Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches. *Energy Policy*, v. 39, n. 8, p. 4605-4613, 2011.

BENITES-LAZARO, L. L.; MELLO-THÉRY, N. A.; LAHSEN, M. Business storytelling about energy and climate change: The case of Brazil's ethanol industry. *Energy Research & Social Science*, v. 31, p. 77-85, 2017.

Renewable Fuels Association. Ethanolrfa. 2022. Disponível em: <[www.ethanolrfa.org/](http://www.ethanolrfa.org/)>. Acesso em: 15 mar. 2022.

DIAS DE OLIVEIRA, Marcelo E.; VAUGHAN, Burton E.; RYKIEL, Edward J. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *AIBS Bulletin*, v. 55, n. 7, p. 593-602, 2005.

GOMEZ, José MA; LEGEY, Luiz FL. An analysis of the impact of Flex-Fuel vehicles on fuel consumption in Brazil, applying Cointegration and the Kalman Filter. *Energy*, v. 81, p. 696-705, 2015.

EL MONTASSER, Ghassen et al. Are there multiple bubbles in the ethanol–gasoline price ratio of Brazil?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 19-23, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (São Paulo). ANFAVEA. 2022. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, v. 339, p. 85-93, 2018.

R Foundation. The Comprehensive R Archive Network. 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/>>. Acesso em: 15 jul. 2018.  
sso em: 19 set. 1998.

CEPEA (São Paulo). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/>>. Acesso em: 15 mar. 2022.

Box, G.E.P. ET AL. Time Series analysis forecasting and control. 3<sup>rd</sup> ed, New Jersey: Prentice Hall, 1994.

MORETTIN, P. A. Econometria Financeira: um curso em Séries Temporais Financeiras. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MAÇAIRA, P. M. ET AL. Modelling and Forecasting the Residencial Eletricity Consumption in Brazil with Pegels Exponentials Smoothing Techniques, *Procedia Computer Science*, Volume 55, 2015.