



ETANOL NO BRASIL: UMA ABORDAGEM PREDITIVA DE PREÇOS

¹ Fabrício Bisset Silva de Brito (SENAI/CIMATEC) – fabissetc@gmail.com; ² Roberto Luiz Souza Monteiro (SENAI/CIMATEC) – robertolsmonteiro@gmail.com; ³ Everaldo Freitas Guedes (SENAI/CIMATEC) – efgestatistico@gmail.com; ⁴ Leandro Brito Santos (SENAI/CIMATEC) – lsbrito@gmail.com.

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 2017 produziu 26% do etanol no mundo, ocupando a segunda posição entre os países produtores. A introdução a partir de março de 2003 no mercado brasileiro dos veículos comerciais ligeiros e de passageiros com a tecnologia *Flex Fuel*, a qual utiliza simultaneamente Gasolina tipo C ou Etanol hidratado, 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-Chaves: Commodities; Etanol; Séries Temporais; Previsão.

ETHANOL IN BRAZIL: A PREDICTIVE PRICE APPROACH

Abstract: The production of liquid biofuels emerged as an alternative to the use of fossil fuels for transportation purposes. Ethanol is described as a renewable energy fuel. Brazil in 2017 produced 26% of ethanol in the world, occupying the second position among the producing countries. The introduction in March 2003 of the Brazilian market for light commercial vehicles and passenger cars with Flex Fuel technology, which uses both C-type petrol and hydrous ethanol, has significantly impacted the demand for ethanol in the Brazilian consumer market. The present work proposes to compare the predictive accuracy between the mathematical models ARFIMA, ARIMA and Exponential Smoothing of the prices of Brazilian ethanol in the period of 4 years.

Keywords: Commodities; Ethanol; Temporal Series; Forecast.



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 2017 produziu 26 % 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 à 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].

Conforme dados da Associação Nacional dos Veículos Automotores (ANFAVEA), em 2017 a quantidade de emplacamentos de veículos automóveis e comerciais leves, com motor de tecnologia de combustível Flex Fuel, correspondeu a 88,60 % do total de veículos emplacados (Figura 2) [7].

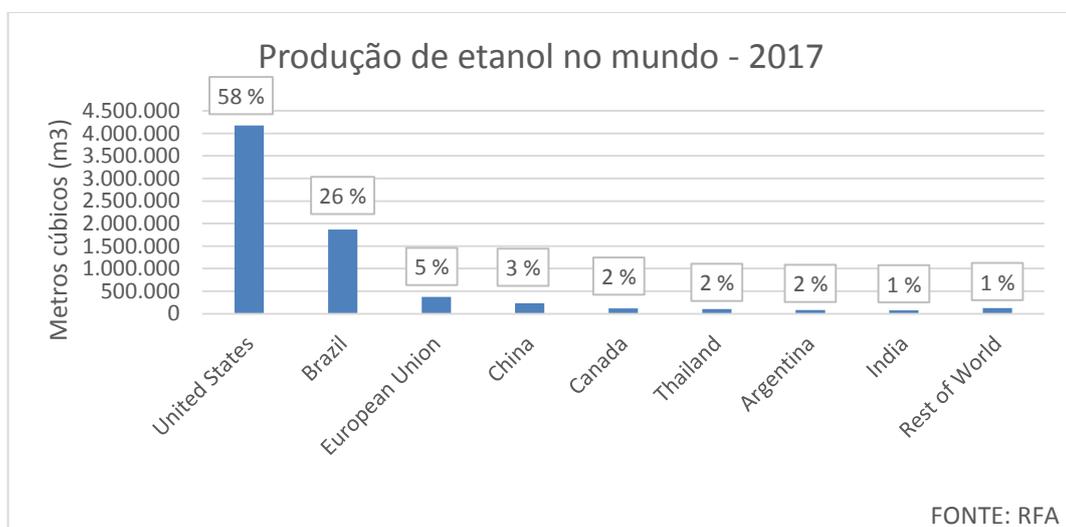


Figura 1. Produção de etanol no mundo no ano 2017. Fonte: (RFA, 2018).

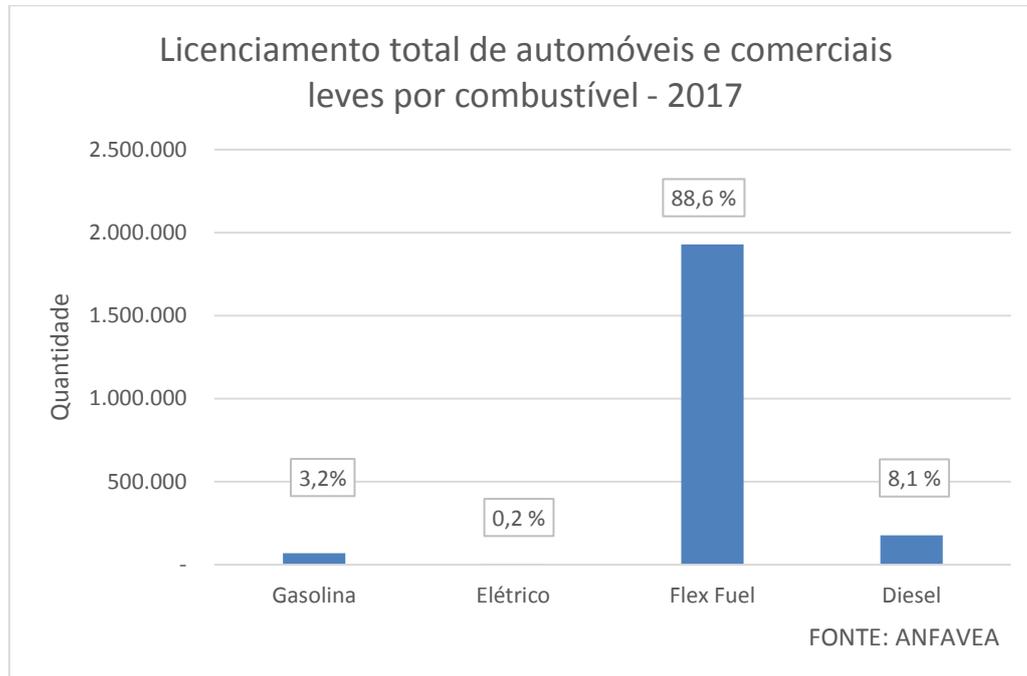


Figura 2. Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível no ano 2017. Fonte: (ANFAVEA, 2018).

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 retirando a tendência (DFA), os expoentes de Hurst (H) e Lyapunov (λ); 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 R e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) R-Studio [9].

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 25/01/2010 até 04/02/2014 (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 m³ – 25/01/2010 até 04/02/2014. Fonte: (CEPEA / ESALQ / USP, 2018).

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].

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].

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.



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) e Erro Escalonado Médio Absoluto (MASE), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Medidas de acurácia dos modelos de previsão. Fonte: Elaborada pelo autor.

MODELO	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
ARFIMA	-0.0573	7.1099	5.1481	-0.0245	0.8551	0.9156
ARIMA (1,1,1)	-0.0618	7.1291	5.1357	-0.0082	0.8534	0.9134
EXP. SUAVIZADO	-0.0483	7.1669	5.1533	-0.0042	0.8562	0.9165

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. Fonte: Elaborada pelo autor.

MODELO	PONTO	PREVISÃO	BAIXA 80	ALTA 80	BAIXA 95	ALTA 95
ARIMA (1,1,1)	1001º	520.9558	511.8058	530.1059	506.9621	534.9496
EXP. SUAVIZADA	1001º	520.4249	512.579	528.2708	508.4257	532.4241



ARFIMA	1001°	521.1896	512.0597	530.3196	507.2266	535.1527
--------	-------	----------	----------	----------	----------	----------

4. CONCLUSÃO

A modelagem matemática de séries temporais contendo o preço de *commodities* energéticas tem ocupado espaço relevante no trabalho de analistas econômicos. Segundo a literatura, os modelos estocásticos descrevem de maneira satisfatória o comportamento de variáveis econômicas. A presente pesquisa teve como objetivo a modelagem da série temporal dos preços diários do etanol em Dólar Americano baseando-se nos modelos ARIMA, Alisamento Exponencial e ARFIMA.

Em linhas gerais, o modelo ARIMA – em relação aos demais modelos utilizados no experimento deste trabalho – apresentou previsões condizentes com a realidade em termos de acurácia e, assim, poderá ser utilizado como instrumento para o acompanhamento das flutuações dos preços do etanol a um passo à frente, isto é, considerando-se um ponto como horizonte de previsão.

Agradecimentos

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

5. REFERÊNCIAS

¹ TRIANA, Carlos Ariel Ramírez. Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches. **Energy Policy**, v. 39, n. 8, p. 4605-4613, 2011.

² 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.

³ Renewable Fuels Association. **Ethanolrfa**. 2018. Disponível em: <www.ethanolrfa.org/>. Acesso em: 15 jul. 2018.

⁴ 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.



⁵ 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.

⁶ 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.

⁷ ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (São Paulo). **ANFAVEA**. 2018. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

⁸ DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 339, p. 85-93, 2018.

⁹ 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.

¹⁰ CEPEA (São Paulo). **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

¹¹ Box, G.E.P. ET AL. Time Series analysis forecasting and control. **3rd ed, New Jersey: Prentice Hall, 1994.**

¹² MORETTIN, P. A. Econometria Financeira: um curso em Séries Temporais Financeiras. 1^a ed. São Paulo: **Blucher**, 2008.

¹³ MAÇAIRA, P. M. ET AL. Modelling and Forecasting the Residential Electricity Consumption in Brazil with Pegels Exponentials Smoothing Techniques, **Procedia Computer Science**, Volume 55, 2015.