

Aplicação da Análise de Correlação e Regressão Linear Simples no Setor Sucroenergético Brasileiro

Application of Correlation Analysis and Multivariate Regression in the Brazilian Sugarcane Sector

Anna Carolina Silva Santos¹
Rafael Lucas Machado Pinto²

Resumo

O setor sucroenergético é um setor agroindustrial que o Brasil possui pleno domínio tecnológico, tanto no campo industrial como agrícola, apresentando, portanto, grande importância econômica. O Programa Nacional do Alcool e o surgimento dos veículos flex contribuíram para a ascensão do consumo de etanol, impulsionando diversas melhorias para o setor e progressos em questões socioambientais. O presente trabalho buscou identificar o tipo de relação existente entre oferta de etanol e alguns fatores socioeconômicos do setor, bem como analisar a relação entre as variáveis selecionadas. Para isso, baseou-se na análise de correlação e utilizou-se dados estatísticos anuais do setor durante o período de 2006 a 2015. Como resultado, correlações significativas foram identificadas, como exemplo, uma forte correlação positiva entre produções de cana e etanol, Frota total de veículos e Frota de veículos bicombustíveis. Por fim, este estudo se justifica por preencher uma lacuna em relação a poucos estudos realizados nesta área.

Palavras chave: Bicombustíveis. Etanol. Frota. Transporte. correlação.

Abstract

The sugar-energy (sugarcane) sector is the only agroindustrial sector that Brazil domains technologically and it presents great economic importance. The National Alcohol Program and the emergence of flexible-fuel vehicles have greatly contributed to the rise in the consumption of hydrated ethanol, boosting several improvements for the sector. It has made progress on socio-environmental issues. The present work sought to identify the type of relationship between ethanol supply and some socioeconomic factors of the sector, as well as to analyze the relationship between the selected variables. In this regard, it was based on the correlation analysis and annual statistical data of the sector during the period from 2006 to 2015 were used. As a result, significant correlations were identified, for example, a strong positive correlation between sugarcane and ethanol productions, the total fleet of vehicles and fleet of bi-fuel vehicles. Finally, this study is justified by filling a gap in relation to few studies in this area.

Keywords: Biofuels. hydrous ethanol. Fleet. Transport. correlation.

1 Graduada em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Ouro Preto
carool_070@hotmail.com

2 Professor Departamento de Engenharia
de Produção – DEENP/UFOP
Universidade Federal de Ouro Preto
rafaelucas@gmail.com

1 Introdução

De acordo com Nastari (2012) o setor sucroenergético, que está ligado a atividades como a produção de açúcar, bioeletricidade e bioetanol, é um setor agroindustrial que o Brasil possui pleno domínio tecnológico, tanto do campo industrial como agrícola, e o qual tem grande importância na economia nacional, uma vez que as demandas pelos produtos por ele gerados têm apresentado crescimento nos mercados interno e externo.

Tal setor tem garantido bons resultados no aspecto sustentabilidade. Os fatores que mais se destacam estão relacionados à redução na emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), melhores práticas na utilização da terra, como o sistema de rotação de culturas, a não queima da palha e a diminuição na utilização de fertilizantes, sendo considerado também uma importante fonte de biomassa, ou seja, energia renovável (Unica, n.d.). No aspecto social, ele tem apresentado melhorias nas condições de trabalho, assim como tem impulsionado o desenvolvimento das regiões em que se encontram suas atividades. Mesmo passando por más fases nos últimos tempos, algumas relacionadas a regulamentações governamentais para o setor, o mesmo vê grandes chances de crescimento para os próximos anos (Caetano & Palhares, 2016).

“A introdução da produção de cana de açúcar no Brasil data do século XIV, início do período colonial. Em meados do século XVII, o Brasil tornou-se o maior produtor de açúcar-de-cana do mundo, na época destinado ao abastecimento da Europa” (Rodrigues & Ortiz, 2006, pp. 5-6). Por volta de 1970, surgiu o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), resultante de uma crise do petróleo. O programa permitiu o surgimento de várias melhorias, como o adaptação e inovação de tecnologias nas usinas e destilarias, a criação de sementes adap-

tadas e também um desenvolvimento da área automobilística (Rodrigues & Ortiz, 2006).

Ao final da década de 80, o Proálcool teve fim. Enquanto o financiamento público ao programa diminuía a partir de 1987, os preços do açúcar obtiveram aumentos no mercado internacional, e como consequência houve uma desmotivação à expansão e renovação dos canaviais para produzir etanol, dado que o preço do açúcar ser elevado é mais interessante. Por outro lado, levou os produtores a desviar a matéria-prima para a produção de açúcar, os quais visavam a exportação. Tais fatos culminaram, ao final de 1989, em um desabastecimento do biocombustível, gerando assim grandes filas nos postos por todas as cidades brasileiras (Rodrigues & Ortiz, 2006).

Segundo Konishi, Soares, Galvão, Silva e Rocha (2014) “o início do séc. XXI é marcado pelo retorno do etanol à posição de destaque como combustível, não somente pela nova tecnologia, mas também como fonte de energia alternativa ao combustível fóssil”. Desta forma, um grande impulsionador da produção de etanol foi a introdução de veículos *flex* (Melo & Sampaio, 2014). Boff (2010 apud Melo & Sampaio; 2014) diz que “a entrada dessa nova tecnologia causou uma mudança na relação entre a demanda de combustíveis etanol e gasolina”, pois isso significava a substituição do combustível fóssil por um combustível renovável. Segundo Rodrigues (2011), tal veículo “lançado em 2003 e que hoje responde por cerca de 90% das vendas, é o ponto alto da história do sucesso do etanol brasileiro nesta década”.

Atualmente, o setor se encontra em dois cenários. No positivo, houve aumento dos índices de produtividade, novos projetos de implantação de usinas, bem como desenvolvimentos de novas tecnologias no ramo. Já o negativo mostra que crises e falta de incentivo estatal no setor vem causando insatisfações aos empresários do agronegócio, os

quais culpam o governo pelo retrocesso no programa de etanol (Campos, 2015).

Diante de tal cenário, o presente estudo tem como objetivo identificar qual o tipo de relação existente entre a oferta de etanol e alguns fatores socioeconômicos do setor, bem como a relação entre esses fatores. Para a realização do mesmo, considerou-se variáveis como produção total de etanol, produção total de cana-de-açúcar, frota de automóveis que utilizam gasolina, que utilizam etanol hidratado, frota de automóveis bi-combustíveis, frota de automóveis total, oferta (produção de cana) /PIB, preços médios da gasolina e etanol hidratado. Os dados coletados partiram de fontes como Balanço Energético Nacional, Relatório da Frota Circulante do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotivos (SINDIPEÇAS) e Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS), Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016) e União da Indústria De Cana-de-Açúcar (UNICA). Utilizando os dados realizou-se a análise de correlação e regressão linear simples para se chegar ao objetivo proposto.

Sabendo-se que há uma certa carência de estudos neste sentido, o trabalho, por meio das técnicas propostas, pode contribuir para melhor compreender este importante setor energético do país e direcionar ações em relação ao planejamento energético na-

cional relativo a suprimentos e fontes de energia, também ajudar a compreender como o setor de transporte influencia na oferta de tal produto visto que o seu consumo, em quase toda sua totalidade, é realizado pelo mesmo.

2 Referencial teórico

2.1 Processo de Produção

São conhecidas várias formas de se obter o etanol, sendo a hidratação do etileno e redução do acetaldeído duas delas, porém a forma mais utilizada é a fermentação. Através desse processo, é possível obter os dois tipos de álcoois, anidro e hidratado (NovaCana.com, n.d.).

A Figura 1 descreve esse processo indicando todas as etapas necessárias



Figura 1: Processo de produção de etanol
Fonte: Adaptado de Machado, 2014.

Primeiramente tem-se a cana-de-açúcar, a qual passa por três processos, moagem, tratamento químico e filtração, até se chegar ao melaço. Tal produto passa por mais três processos, fermentação, destilação e retificação, obtendo-se o etanol hidratado (utilizado como combustível).

2.2 Etanol Anidro X Etanol Hidratado

Como se sabe há diferenças entre os tipos de etanois produzidos, a mais importante diz respeito à proporção de água presente em suas composições. A NovaCana, empresa considerada o maior veículo de comunicação do setor sucroenergético do Brasil, informa que o etanol hidratado, mais conhecido como combustível vendido em postos, possui entre 95,1% a 96% de etanol e o restante de água. Por sua vez, o etanol anidro, que é misturado à gasolina, possui 99,6% de etanol, no mínimo (NovaCana.com, n.d.).

Outra diferença encontrada está nas etapas de produção. Como se pode visualizar na Figura 1, após a produção do etanol hidratado, o mesmo passa pelo processo de desidratação chegando assim ao anidro (NovaCana.com, n.d.).

2.3 Sustentabilidade

Quando se trata de sustentabilidade e combustíveis, um aspecto muito abordado é a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Segundo estudos, o etanol brasileiro é capaz de reduzir tal emissão em aproximadamente 90%, quando comparado à gasolina. Tal fato foi confirmado quando a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), em 2010, colocou o etanol de cana-de-açúcar como capaz de reduzir emissões de GEE de 61% a 91% e assim o classificando como combustível avançado (Unica, n.d./a).

Outro fator a ser considerado é a forma de utilização do solo. Atualmente, a incorporação da cultura da cana-de-açúcar, matéria-prima do etanol, têm ocorrido em áreas com terrenos

mais pobres (pastagens). A utilização do sistema de rotação de cultivo da cana com outras culturas em áreas de pastagem tem contribuído significativamente com processo de incorporação de Nitrogênio e matéria orgânica nos solos, o que contribui para uma menor utilização de fertilizantes e, conseqüentemente, em uma redução de emissão de gases de efeito estufa, visto que para a produção do mesmo são necessários combustíveis fósseis (Nastari, 2012).

Outra prática relaciona-se à diminuição da queima da palha, que é fundamental para a conservação e proteção do solo e suas propriedades, tal fato está ocorrendo graças à mecanização e modernização das formas de colheita, visto que essas práticas contribuem muito para a prevenção da erosão, principal problema encontrado (NovaCana.com, n.d.).

2.4 Oferta e Demanda do Etanol

Em 2015, a produção nacional de etanol obteve um acréscimo de 6,0% atingindo um montante de 30.249 mil m³, destes 61,8% refere-se ao etanol hidratado, correspondendo a 18.684,6 mil m³ (acréscimo de 14,7% na produção deste em relação a 2014). Já a produção de etanol anidro, registrou uma queda de 5,4%, totalizando 11.564,6 mil m³ (Balanço Energético Nacional, 2016).

A Figura 2 ilustra o cenário em que se deu a oferta de etanol total até o ano de 2016. A partir dela é possível identificar que, após uma considerável queda da oferta nos anos de 2011 e 2012, houveram aumentos significativos nos três anos seguintes.

Em relação à demanda, pode-se constatar que o consumo de combustíveis em 2015 obteve um aumento de 0,34% em relação ao ano anterior, sendo o etanol hidratado carburante responsável por 33,3% do total consumido (Unica, 2016).

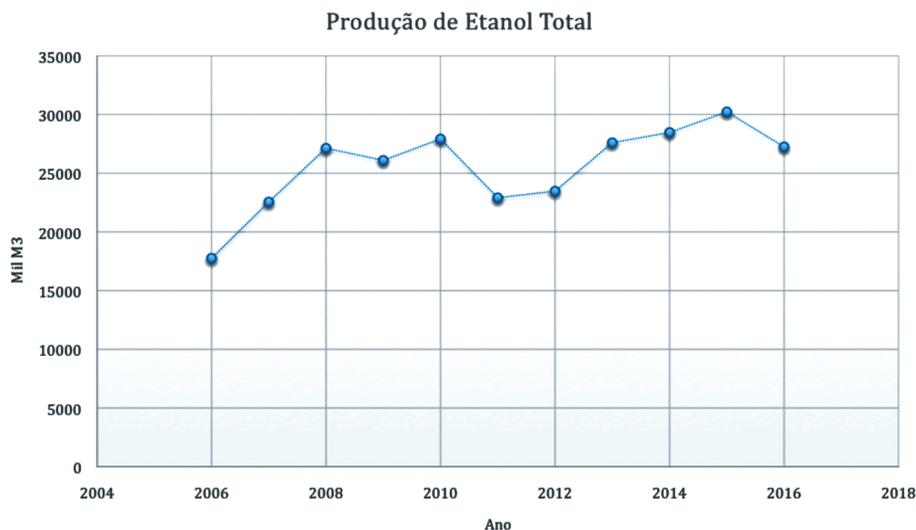


Figura 2: Produção de Etanol Total

Fonte: os autores.

2.5 Análise de Correlação e Regressão linear simples

Para a realização do estudo e análise dos dados foi utilizada a Análise de Correlação e Regressão Linear Simples.

No estudo do relacionamento entre duas variáveis, a definição de correlação é de suma importância para o entendimento das variações existentes. A análise de correlação avalia o grau de relacionamento linear entre duas variáveis. De acordo com Triola (1999), ao se considerar duas variáveis, o Coeficiente de Correlação Linear amostral r mede o grau de relacionamento linear entre os dados emparelhados de x e y em uma amostra, e o seu valor pode ser calculado pela equação 1.

$$r = \frac{n \cdot x \cdot y - (x) \cdot (y)}{\sqrt{(n \cdot (x^2) - (x)^2) \cdot (n \cdot (y^2) - (y)^2)}} \quad (1)$$

De acordo com Triola (1999) o Coeficiente de Correlação Linear amostral r deve estar sempre compreendido entre -1 e $+1$, sendo que valores próximos de -1 e $+1$ demonstram maior correlação e valores próximos de zero pode-se concluir

pela ausência de correlação entre as duas variáveis x e y analisadas.

A Tabela 1 apresenta uma forma de como é possível interpretar uma correlação dado o valor numérico.

De acordo com Larson e Farber (2010), pode-se utilizar um teste de hipóteses para determinar se o coeficiente de correlação amostral r fornece evidência suficiente para concluir que o coeficiente de correlação ρ de uma população

é significativa. A tomada de decisão envolve testar a hipótese $H_0: \rho=0$ contra $H_1: \rho \neq 0$; sendo ρ o coeficiente de correlação da população. Rejeita-se H_0 caso o valor absoluto de r for maior que o valor crítico da tabela *t student*. Ao rejeitar H_0 , conclui-se que existe correlação linear significativa. Em caso contrário, não há evidências suficientes para apoiar a existência de correlação significativa. A equação 2 apresenta a estatística do teste padronizada para verificação da significância da correlação ρ de uma população.

Tabela 1: Interpretação dos valores de coeficiente de correlação

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Silvia e Shimakura 2006.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

Onde n é o tamanho da amostra.

Uma outra forma de verificação da significância da correlação ρ de uma população é por meio da análise do P-valor, que será utilizado neste estudo. O P-valor é a probabilidade de que a estatística do teste tenha valor extremo em relação ao valor observado (estatística do teste) quando a hipótese nula H_0 é verdadeira (Portal Action, 2017). Caso o P-valor for menor que o nível de significância α considerado, então o valor calculado para a estatística do teste está na região crítica e, portanto, rejeita-se a hipótese nula H_0 . Quanto menor for o p-valor, menos provável é hipótese de aceitar H_0 e menor é probabilidade de se cometer um erro do tipo I (rejeitar H_0 , dado que H_0 é verdadeira).

Mannarelli (2005) desenvolveu um estudo da análise da Correlação Estatística e das Análises de Regressão Linear da expansão açucareira da Região Oeste do Estado de São Paulo. O autor utilizou um método exploratório como forma de melhor entender a maneira como está ocorrendo a expansão da indústria açucareira na região estudada, e correlacionando a evolução da produção em relação ao Estado de São Paulo, a nível Brasil e, em especial, os volumes mundiais de açúcar. Tal trabalho possui uma interface com este estudo pois aborda a temática da análise de correlação no setor sucroalcooleiro. O autor analisou um banco de dados referente ao período de 1990 a 2003 e concluiu que a produção brasileira de açúcar, no período abordado, teve aumento sustentado e continuado e que o fator preço, que seria o fator determinante para este aumento na produção, na verdade não representa importância no aumento da produção de açúcar; ao contrário, tendo em vista que um ajustamento linear de regressão entre estas variáveis apresentou um coeficiente angular negativo. Conclui, também, que houve um forte ajuste de correlação positivo, com coeficiente de explicação de 89,93%, entre a produção brasileira de açúcar com a região açucareira Oeste do Estado

de São Paulo, de modo a inferir que a produção desta região está integrada economicamente com a produção brasileira de açúcar.

Konishi *et al.* (2014) também realizou um estudo de análise de correlação entre produção de automóveis biocombustíveis, preços e produção nacional de combustíveis fósseis e não-fósseis e produção de cana-de-açúcar. O mesmo utilizou dados estatísticos durante o período de 2003 a 2012 e teve como base metodológica a análise de correlação e regressão multivariada. Os resultados encontrados, mostraram a existência de uma forte correlação entre produção de cana-de-açúcar e etanol, associada à produção de automóveis com o surgimento dos veículos *flex*. Encontrou-se também um coeficiente de explicação de 82,4% entre a produção de automóveis biocombustíveis e as variáveis escolhidas.

A Regressão Linear Simples é explicada por Ribeiro e Caten (n.d.) como uma forma de estimar um modelo, cujo valor da variável dependente Y é predito pela variável independente X . Segundo os autores, chama-se Regressão Linear Simples pelo fato de haver apenas uma variável independente e se considerar uma tendência linear entre Y e X .

A equação 3 é chamada equação de Regressão Linear Simples:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (3)$$

em que β_0 representa a interseção, β_1 a inclinação da reta e ε o erro aleatório.

Segundo o Minitab (2017) esta regressão é responsável por avaliar a relação linear entre duas variáveis, sendo uma a resposta (y) e a outra preditora (x). Através da relação entre elas é possível se chegar a um valor mais exato da resposta (y) levando-se em consideração o valor da preditora (x). Esta regressão torna possível encontrar a “linha reta” que melhor se ajusta aos dados e esta

pode ser utilizada para avaliar o comportamento da variável resposta quando há mudanças na variável preditora.

Para Formiga (2013), considera-se Regressão Linear Simples “quando o modelo estabelece que a saída depende apenas de um atributo de entrada. É uma função linear de uma única variável”. Dentro deste contexto, também é importante utilizar algumas técnicas estatísticas para verificar a validade do modelo de regressão gerado e os coeficientes obtidos. Para tanto, podem ser utilizados a análise de variância (ANOVA) e os testes t, respectivamente. Assim como visto para verificação da significância da correlação ρ de uma população, a análise do p-valor também pode ser empregada para avaliação da validade da regressão e também dos coeficientes do modelo. A interpretação ocorre da mesma forma: quando P-valor for inferior ao nível de significância considerado, considera-se o modelo de regressão linear simples válido e os coeficientes que o compõem como significativos (Guimarães, n.d.).

3 Fonte de dados

Utilizou-se banco de dados de algumas organizações que abordam o tema como fonte de dados para entrada. Valores relacionados à produção total de etanol, produção de etanol hidratado e oferta (produção de cana-de-açúcar)/PIB são oriundos do Balanço Energético Nacional (ano base 2015). Já a frota de automóveis movidos à gasolina, à etanol, frota de veículos bi-combustíveis e frota total de automóveis estão disponíveis no Relatório da Frota Circulante do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotivos (SINDIPEÇAS) e Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS). Os preços médios da Gasolina e Etanol Hidratado no Brasil são encontrados no

Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2016) e por fim, a produção de cana-de-açúcar total localiza-se na União da Indústria De Cana-de-Açúcar (UNICA). Todos os dados apresentados estão em um período de 2006 – 2015.

Este banco de dado foi estruturado utilizando-se planilhas do Microsoft Excel para, posteriormente, passarem por análise estatísticas. Utilizou-se o Minitab 17 para realizar a Análise de Correlação e Regressão Linear Simples entre as variáveis analisadas. É válido ressaltar que uma das limitações do estudo é que apenas um grupo de variáveis foram utilizadas.

4 Resultados e discussão

Utilizando-se o Minitab 17, os dados coletados foram analisados por meio de Análise de Correlação. A Tabela 2 corresponde à matriz de correlação entre as variáveis e também apresenta os P-valores correspondentes.

Através da Tabela 2 é possível observar que a produção total de etanol e produção total de cana-de-açúcar possuem uma correlação muito forte e positiva, indicando que quanto maior for a produção de cana maior será a oferta de etanol ($r = 0,929$ e $P\text{-valor} = 0,000$). Já a frota de veículos à gasolina possui uma correlação forte ($r = -0,834$ e $P\text{-valor} = 0,003$), porém inversa com a produção total de etanol, uma explicação possível para isso seria o fato de que o aumento da utilização de veículos que utilizam apenas a gasolina poderia reduzir o nível de utilização do etanol, ou seja, reduzindo o consumo deste combustível a produção e oferta do mesmo seriam prejudicados. É válido ressaltar que nos casos em que o P-valor das variáveis é menor que o nível de significância 0,05, significa que o coeficiente de correlação amostral r é significativo para explicar o coeficiente de correlação popula-

cional ρ . Ou seja, nestes casos o coeficiente de correlação amostral é válido para explicar o grau de relacionamento entre as variáveis. Lembrando que esta é uma forma de teste de hipótese estatístico, conforme descrito na revisão bibliográfica.

Complementar à Análise de Correlação, foram realizadas as Regressões Lineares Simples para produção total de etanol e produção de cana-de-açúcar, e entre a produção total de etanol e a frota de veículos à gasolina. Escolheu-se tais variáveis por serem as mais significativas para explicar o comportamento da variável resposta produção de etanol. A Tabela 3 ilustra a análise de variância (ANOVA) para o modelo de regressão entre produção total de etanol e produção de cana-de-açúcar. Por meio desta tabela, é possível validar o modelo de regressão, uma vez que o p-valor correspondente é menor que o nível de significância α considerado (0,05), e também afirmar que produção de cana é representativa para o modelo, também por possuir um p-valor é menor que 0,05.

Através da Tabela 4 pode-se verificar o percentual de variabilidade explicada pelo modelo, sendo ele, R^2 , 86,39%, o $R^2_{ajustado}$ possui um valor de 84,69%, ou seja, obteve-se uma diminuição de 1,7% do percentual de variabilidade explicada pelo modelo, já o R^2_{pred} mostra que o poder de predição do modelo é de 81,12%.

Tabela 3: ANOVA para a regressão entre produção total de etanol e produção de cana de açúcar

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	107386475	107386475	50,78	0,000
prod. cana (10 ³ m ³)	1	107386475	107386475	50,78	0,000
Error	8	16918212	2114776		
Total	9	124304686			

Fonte: Os autores.

Tabela 4: Estatísticas de Regressão para o modelo formado entre produção total de etanol e produção de cana-de-açúcar

Estatísticas de Regressão	
R^2	86,39%
$R^2_{ajustado}$	84,69%
R^2_{pred}	81,12%

Fonte: Os autores.

Tabela 2: Correlação entre as variáveis

Variáveis	Produção total etanol	Produção total cana	Frota veículos gasolina	Frota veículos etanol	Frota veículos bicomb.	Frota total de veículos	Oferta (produção cana/PIB)	Preço médio gasolina	Preço médio etanol
Prod. total etanol	1								
Prod. total cana	0,929 0,000	1							
Frota veíc. Gasolina	-0,834 0,003	-0,904 0,000	1						
Frota veíc. Etanol	-0,613 0,060	-0,809 0,005	0,887 0,001	1					
Frota veíc. Bicomb.	0,697 0,025	0,853 0,002	-0,954 0,000	-0,975 0,000	1				
Frota total de veículos	0,672 0,033	0,838 0,002	-0,941 0,000	-0,978 0,000	0,999 0,000	1			
Oferta (prod. cana/PIB)	0,720 0,019	0,755 0,012	-0,739 0,015	-0,661 0,037	0,708 0,022	0,696 0,045	1		
Preço médio gasolina	0,554 0,096	0,627 0,053	-0,867 0,001	-0,828 0,003	0,868 0,001	0,863 0,001	0,643 0,045	1	
Preço médio etanol	0,380 0,279	0,569 0,086	-0,793 0,006	-0,916 0,000	0,900 0,000	0,908 0,000	0,578 0,080	0,905 0,000	1

Fonte: Os autores.

Já a Tabela 5 representa os testes t para verificação dos coeficientes da equação de regressão obtida. Nota-se que os p-valores tanto para os coeficientes da constante quanto a variável produção de cana-de-açúcar são iguais a 0,000, o que indica que ambos são significativos. Já a Figura 3 ilustra a equação do modelo de Regressão Linear Simples ajustado. A cada $1 \times 10^3 \text{ M}^3$ adicionado de produção de cana-de-açúcar, a produção de etanol aumenta em $0,04702 \times 10^3 \text{ m}^3$. Esta figura também mostra que os pontos estão próximos de formarem uma reta e confirma o que foi encontrado pela equação de regressão, que à medida que a produção de cana aumenta a produção de etanol também aumenta.

Tabela 5: Testes t para os coeficientes da regressão entre produção total de etanol e produção de cana-de-açúcar

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1918	3865	-0,50	0,633	
prod. cana (10^3 m^3)	0,04702	0,0066	7,13	0,000	1,000

Fonte: Os autores.

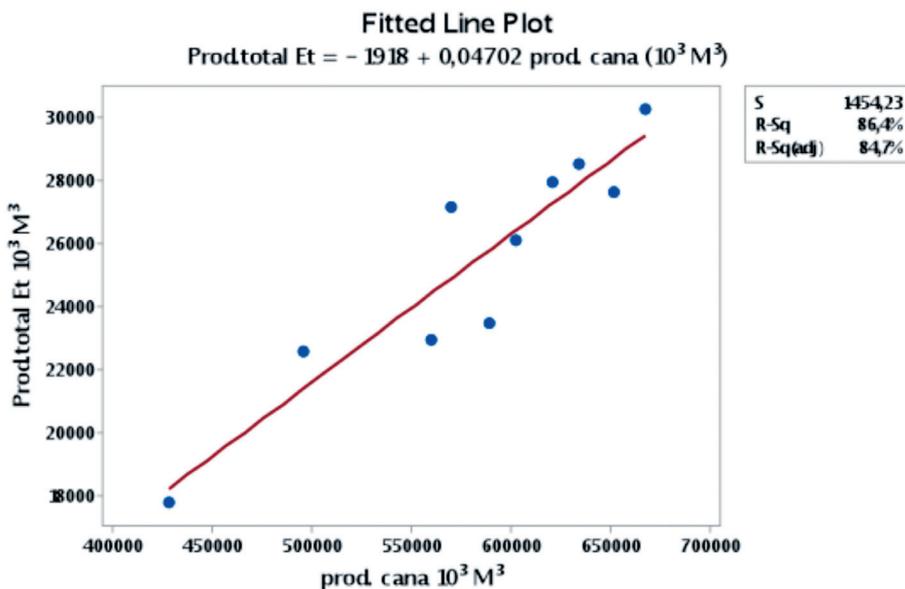


Figura 3: Produção de etanol X Produção de cana

Fonte: os autores.

A Tabela 6 indica a ANOVA para o modelo de Regressão Linear Simples entre produção total de etanol e frota de automóveis à gasolina. A partir dela pode-se verificar a validação do modelo de regressão, em que novamente o p-valor correspondente é menor que o nível de significância α utilizado (0,05) e confirma que a frota de veículos à gasolina é representativa para o modelo.

Tabela 6: ANOVA para a regressão entre produção total de etanol e frota de automóveis à gasolina

Source	Df	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	86414591	86414591	18,25	0,003
Frota Au-Gasol.	1	86414591	86414591	18,25	0,003
Error	8	37890095	4736262		
Total	9	124304686			

Fonte: Os autores.

A Tabela 7 indica um percentual de variabilidade explicada (R^2) de 69,52% e um R^2_{ajustado} com um valor de 65,71%, obtendo-se uma diminuição de 3,81% do percentual de variabilidade explicada pelo modelo, por sua vez, o R^2_{pred} mostra que o poder de predição do modelo é de 53,59%. É

possível inferir que esta variável apresenta uma capacidade de explicação da variável resposta inferior à variável produção de cana-de-açúcar.

Pela Tabela 8, nota-se que os P-valores encontrados possuem os valores de 0,000 e 0,003, indicando que ambos são significativos. A Figura 4 ilustra, por meio da equação de Regressão Linear Simples obtida, para cada 1 unidade de veículo à gasolina produzida, a produção de etanol di-

Tabela 7: Estatísticas de Regressão para o modelo formado entre produção total de etanol e frota de automóveis à gasolina

Estatísticas de Regressão	
R ²	69,52%
R ² _{ajustado}	65,71%
R ² _{pred}	53,59%

Fonte: Os autores.

minui em $0,002620 \times 10^3 \text{ m}^3$ por ano. Nota-se, também, que os pontos estão mais dispersos se comparados com os da Figura 3, fato confirmado pelas estatísticas de regressão na Tabela 7, porém com grande tendência a formarem uma reta com relação inversa entre a variável resposta e a preditora, o que significa que quanto maior o número de veículos à gasolina, menor será produção de etanol.

Tabela 8: Testes t para os coeficientes da regressão entre produção total de etanol e frota de veículos à gasolina

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	66185	9567	6,92	0,000	
Frota Au-Gasol.	-0,002620	0,000613	-4,27	0,003	1,000

Fonte: Os autores.

Analisando a correlação entre as demais variáveis, por meio da Tabela 2, o valor de 0,999, que corresponde à relação entre Frota total veículos X Frota veículos bicombustíveis, pode-se dizer que as variáveis possuem uma correlação muito forte e que estão associadas positivamente, ou seja, à medida que uma delas aumenta a outra também aumenta. O mesmo acontece com o valor de 0,900 (Preço médio etanol X Frota veículos bicombustíveis).

Nos dois casos é possível explicar os valores levando em conta a atual situação do país, e o que já vem ocorrendo desde alguns anos anteriores. O Brasil tem apresentado bons números em relação à frota de veículos bicombustíveis, também conhecido como *flex*, o que vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos, enquanto que os veículos que utilizam de apenas um tipo de combustível (gasolina ou etanol) vê seus números caindo. Tal afirmação pode ser confirmada ao observar a Figura 5 que mostra a frota de veículos no Brasil de 2006 a 2015.

É válido ressaltar que, como indicado na Tabela 2, quando o preço médio do etanol aumenta, a frota total de veículos também aumenta. A afirmação se mostra em seu primeiro instante em uma certa contradição, mas isto pode ser explicado quando analisa-se que o consumidor, ao possuir um veículo bicombustível, possui também a possibilidade de utilizar a opção que mais lhe favoreça. Este resultado está de acordo com os encontrados em estudo de Emissões e Tecnologia da União da Indústria de

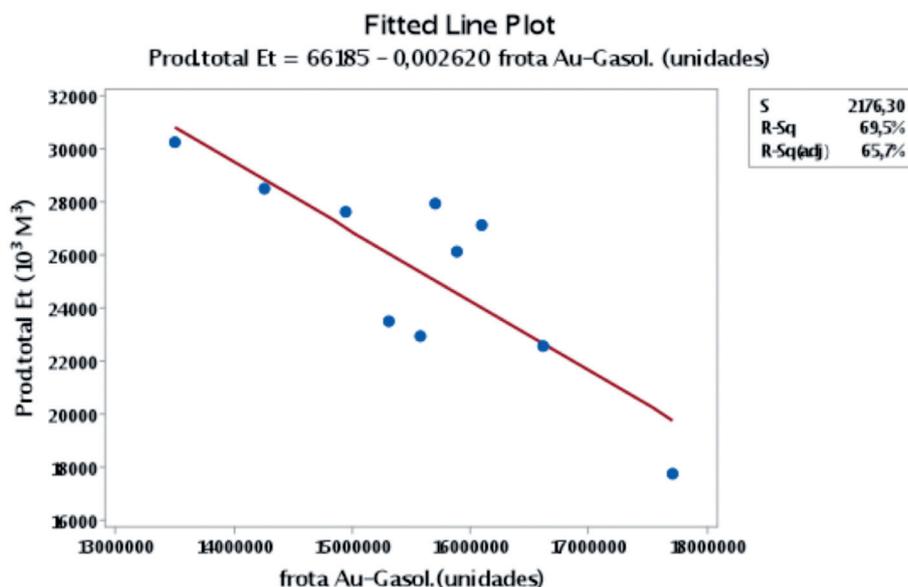


Figura 4: Produção de etanol X Frota de automóveis à gasolina
 Fonte: Os autores.

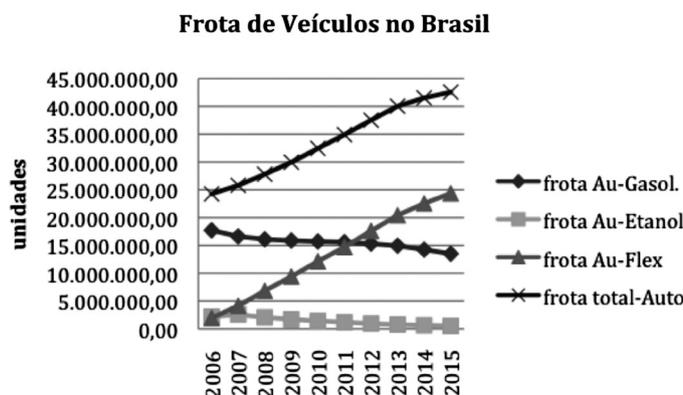


Figura 5: Frota de Veículos no Brasil

Fonte: Adaptado do Relatório de Frota Circulante de 2014 e 2016 do SINDIPEÇAS.

Cana-de-açúcar (UNICA), onde se descreve que a principal vantagem dos veículos flex em relação aos movidos à combustão ou à eletricidade é a liberdade de escolha proporcionada ao consumidor na hora do abastecimento e os inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais advindos da utilização do biocombustível anidro e do hidratado (Unica, 2017).

Em situações contrárias, ainda conforme a Tabela 2, tem-se o valor de $-0,975$ (Frota veículos bicombustíveis X Frota veículos etanol) e o valor $-0,954$ (Frota veículos bicombustíveis X Frota veículos gasolina). Ambos os casos possuem forte correlação, porém são associados negativamente, isso determina que quando um fator aumenta o outro tende a diminuir.

É possível chegar a essa conclusão novamente através do Figura 6, que mostra que ao passar dos anos as unidades de veículos bicombustíveis aumentou em mais de 20 vezes, o que não ocorreu com a frota dos demais. A médio prazo, o carro *flex* continuará figurando no segmento automotivo nacional como a melhor opção de compra para o consumidor e, segundo estudo realizado pela Accenture Research, o principal motivo para isso é o uso em larga escala do etanol em modelos bicombustíveis, que apresentam melhor custo/bene-

fício em relação aos veículos elétricos e híbridos à gasolina (Unica, 2017).

A crise no setor sucroenergético, iniciada em 2008, foi causada principalmente pela forte recessão na economia dos Estados Unidos, afetando o mundo. Junto a ela, vieram o congelamento no preço do etanol, reflexo do controle sobre o valor da gasolina imposto pelo governo, as expectativas com o petróleo do pré-sal e a escassez do crédito bancário (Dassie, 2016). Tal cenário se manteve até 2015, a partir de então vê-se a possibilidade de melhora nos próximos anos, como por exemplo, no segundo semestre de 2015 começaram a ocorrer mudanças para o etanol e o açúcar, e isso passou a gerar uma receita maior por hectare de cana produzida e também há boas perspectivas, pois no caso do Brasil a meta é que os biocombustíveis, que hoje respondem por 15% da matriz energética do País, passem a representar 18% em 2030 e que, até 2050, sejam produzidos 50 bilhões de litros de etanol por ano, 20 bilhões de litros acima da atual produção (Caetano & Palhares, 2016).

O fator que mais contribuiu para aumentar a demanda do etanol nos últimos anos foi o aumento da mistura de etanol anidro na gasolina, passando de 25% para 27%. Vale ressaltar que voltou-se a reaver parcialmente a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide) no combustível fóssil, saltando de zero para R\$ 0,10/litro. Houve também o aumento no preço da gasolina e no valor do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços do mesmo combustível em vários Estados, resultando no aumento da demanda por etanol hidratado. E para aproveitar o cenário positivo para o setor é preciso ajustar as tecnologias de agricultura de precisão e investir em ganhos de produtividade (Caetano & Palhares, 2016).

A produção deste carburante gera quase 3 milhões de empregos (direto e indiretos) e renda

direta em 1.000 municípios, além de ser de origem limpa e renovável ajuda a combater o aquecimento global. O potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa com o uso do etanol em carros *flex*, desde que os mesmos chegaram ao país em 2003 até 2016, evitou que 370 milhões de toneladas de CO₂ fossem lançadas na atmosfera, e o combustível ‘verde’ emite até 90% menos o mesmo gás se comparado à gasolina (Unica, 2017).

5 Conclusão

O presente estudo se propôs a utilizar a análise de correlação para avaliar o setor sucroenergético nacional em relação às variáveis que influenciam a oferta do etanol hidratado. O setor, que teve como principais impulsionadores o surgimento do programa Proálcool e a criação dos veículos bicombustíveis, hoje se encontra em um cenário de busca pela recuperação, tendo em vista bons números de crescimento e expectativas de melhorias para os próximos períodos. Relembrando que o etanol hidratado, produto advindo do mesmo, é consumido em quase toda sua totalidade pelo setor de transportes e também é conhecido como combustível ‘verde’, isso porque a sua utilização ajuda na diminuição de emissões de gases de efeito estufa e sua produção respeita quesitos de sustentabilidade, além de gerar renda para as regiões onde se localizam as indústrias.

Utilizando-se a análise de correlação, com o objetivo de analisar o grau de relacionamento entre os fatores analisados, chegou-se a resultados como uma correlação forte e positiva entre produção de cana-de-açúcar e produção total de etanol ($r = 0,929$), assim como frota total de veículos e frota de veículos bicombustíveis com valor de $r = 0,999$, em contrapartida encontra-se uma forte correlação, porém negativa, entre frota total de veículos e frota de veículos a gasolina ($r = -0,941$) e

entre frota de veículos à gasolina e produção total de etanol ($r = -0,834$). As variáveis mais significativas encontradas, por meio do bando de dados utilizados, para explicar o comportamento da produção de etanol foram produção de cana, frota de veículos à gasolina e bicombustíveis e oferta (prod. Cana) / PIB. Essas variáveis possuem p-valores menores que 0,05, o que corroborou para validar estatisticamente que o coeficiente de correlação amostral explica o comportamento do setor estudado. A regressão linear feita confirmou que as variáveis produção de cana-de-açúcar e frota de veículos à gasolina são representativas e que as mesmas são capazes de explicar, respectivamente, 86,32% e 69,52% da produção total de etanol.

Uma vez que o trabalho alcançou o objetivo proposto, entende-se que a busca pelo desenvolvimento do setor, novas melhorias no mesmo, ou até mesmo na expansão da tecnologia *flex* para outros tipos de veículos, de maior porte ou que ainda só utilizam combustíveis fósseis, seriam interessantes. O etanol apresenta muitas vantagens de custo/benefício, além de ter um grande foco em questões de sustentabilidade, como a redução de emissão de gases de efeito estufa, preservação do solo e mecanização da colheita que, a longo prazo, irá substituir a queima da palha. Por se tratar de um setor que possui boas expectativas de crescimento e desenvolvimento, é preciso que haja investimentos e incentivos para que o mesmo possa se tornar realidade e trazer ganhos tanto para o país quanto para os consumidores e produtores.

Referências

Balanco Energético Nacional. (2016). *Ano base 2015*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE.

Caetano, M. & Palhares, S. (2016). *Perspectivas apontam para virada no setor sucroenergético*. Curitiba. Recuperado em 13, fevereiro, 2017, de <https://www.novacana.com/n/cana/safra/perspectivas-mercado-virada-clima-setor-sucroenergetico-100516/>

- Campos, N. L. (2015). Políticas de estado no setor sucroenergético. *Revista Geo UERJ*. Rio de Janeiro, 26. Recuperado em 29, janeiro, 2017, de <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/12696/13404>
- Dassie, C. (2016). Cana-de-açúcar: Globo Rural faz balanço da crise do setor. *Revista Globo Rural*. Recuperado em 13, fevereiro, 2017, de <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/06/cana-de-acucar-globo-rural-faz-balanco-da-crise-do-setor.html>
- Formiga, A. (2013). *Regressão linear simples*. Recuperado em 19, setembro, 2017, de <http://andreiformiga.com/post/reglinear/>
- Guimarães, P. R. B. (n.d.). *Análise de regressão*. Recuperado em 19, setembro, 2017, de <https://docs.ufpr.br/~jomarc/regressao.pdf>
- Konishi, F., Soares, P., Galvão, R., Silva, M., & Rocha, A. (2014). Uma década da tecnologia bicomustível: análise do segmento automobilístico e a sua correlação com o setor sucroalcooleiro. *Revista Energia na Agricultura*, 29. Recuperado em 29, janeiro, 2017, de http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/999/pdf_5
- Larson, R., Farber, B. (2010). *Estatística aplicada*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Machado, A. G. B. (2014). *Fabricação de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar*. Recuperado em 16, outubro, 2016, de <http://www.portaldobiogas.com/fabricacao-de-acucar-e-etanol-partir-da-cana-de-acucar/>
- Mannarelli, T. Filho. (2005). Análise da correlação e regressão da expansão açucareira da região Oeste de São Paulo. *Revista Economia & Pesquisa*, Fundação Educacional de Araçatuba, 7. Recuperado em 02 abril, 2018, de http://www.feata.edu.br/downloads/revistas/economiaepesquisa/v7_artigo01_analise.pdf
- Melo, A. S., & Sampaio, Y. S. B. (2014). Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. *Revista de economia contemporânea*, 18(1). Recuperado em 29, janeiro, 2017, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-98482014000100056
- Minitab. (2017). *Tipos de análise de regressão*. Recuperado em 19, setembro, 2017, de <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/basics/types-of-regression-analyses/>
- Nastari, P. M. (2012). A importância do setor sucroenergético no Brasil. *Revista Agroanalysis*. Recuperado em 29 janeiro, 2017, de <http://www.agroanalysis.com.br/3/2012/mercado-negocios/producao-sustentavel-a-importancia-do-setor-sucroenergetico-no-brasil>
- NovaCana.com (n.d.). *Preservação do solo a partir do plantio de cana*. Curitiba: NovaCana. Recuperado em 21, fevereiro, 2017, de <https://www.novacana.com/sustentabilidade/preservacao-solos-plantio-cana/>
- Portal Action. (2017). *Calculo e interpretação do p-valor*. Recuperado em 14 setembro, 2017, de <http://www.portalaction.com.br/inferencia/512-calculo-e-interpretacao-do-p-valor>.
- Ribeiro, J. L. D., & Caten S. C. (n.d.). *Regressão linear simples*. Recuperado em 18, setembro, 2017, de <http://wiki.nosdigitais.teia.org.br/images/c/c8/RLS.pdf>
- Rodrigues, D., & Ortiz, L. (2006). *Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil*. Recuperado em 21, fevereiro, 2017, de <http://riosvivos.org.br/arquivos/444052181.pdf>
- Rodrigues, J. A. R. (2011). Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Revista Química Nova*, 34(7). Recuperado em 25, março, 2017, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000700024
- Silvia e Shimakura (2006). *Interpretação do coeficiente de correlação*. Recuperado em 13, de setembro, de 2017, de <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>.
- Sindipeças. *Relatório de Frota Circulante de 2014 e 2016*. Recuperado em 27, janeiro, 2017, de <http://www.automotivebusiness.com.br/>.
- Triola, M. F. (1999). *Introdução à estatística*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 1999.
- União da Indústria de Cana-de-Açúcar. (2016). *Consumo de etanol hidratado cresceu em mais de 37% em 2015*. São Paulo: Unica. Recuperado em 29, novembro, 2016, de <http://www.unica.com.br/noticia/14883647920325965467/consumo-de-etanol-hidratado-cresceu-mais-de-37-por-cento-em-2015/>
- União da Indústria de Cana-de-Açúcar. (2017). *Carro flex representa melhor custo-benefício para brasileiro*. São Paulo: Unica. Recuperado em 19, fevereiro, 2017, de <http://www.unica.com.br/noticia/9851879920320450396/carro-flex-representa-o-melhor-custo-beneficio-para-brasileiro/>
- União da Indústria de Cana-de-Açúcar. (n.d.). *A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro*. São Paulo: Unica. Recuperado em 29, novembro, 2016, de <http://www.unica.com.br/sustentabilidade/>

Recebido em 5 mai. 2017 / aprovado em 26 set. 2017

Para referenciar este texto

Santos, A. C. S., & Pinto, R. L. M. Aplicação da Análise de Correlação e Regressão Linear Simples no Setor Sucroenergético Brasileiro. *Exacta*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 155-167, 2018.

