Análise de Estabilidade na Produção da Cana-de-açúcar no Estado de Goiás Entre 1990 e 2012: uma Abordagem utilizando os Modelos de Regressão Linear

Alex Felipe Rodrigues Lima[1]
Dinamar Maria Ferreira Marques[2]
Luiz Batista Alves[3]
Mario Ernesto Piscoya Díaz[4]

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a evolução temporal da produção de cana-de-açúcar no estado de Goiás entre os anos de 1990 e 2012. Para atingir esse objetivo utilizou-se a técnica de modelos de regressão. Os resultados obtidos sugerem que existe uma tendência crescente na produção de cana-de-açúcar em Goiás. Além disso, foi possível identificar mudanças na produção de cana-de-açúcar a partir do ano de 2005 nesta região do Brasil. A principal razão que explicaria essa mudança na produção foi a um aumento da frota *flex* no mercado automobilístico.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; análise de intervenção.

Introdução

No Brasil, historicamente a atividade agropecuária sempre teve papel relevante na economia. Já no século XVI, a colonização no Brasil estava ligada à indústria açucareira, revelando sua vocação para a atividade agrícola. Mais tarde, na década de 1970, com a modernização agrícola acompanhada de ganhos técnicos garantiu novos padrões e concepções ao setor, o agronegócio é uma delas (MARQUES, 2013).

Essa evolução tecnológica só aconteceu devido à crise do petróleo em 1973, a qual impôs pesados custos de importações ao Brasil, surgindo na época o risco de desabastecimento energético. Com isso, em 1975 o governo criou um

[1]*Estatístico. Pesquisador em Estatística do Instituto Mauro Borges – IMB/SEGPLAN/GO. E-mail: alex-frl@segplan.go.gov.br.*
[2]*Economista. Mestre em Agronegócio pela Universidade Federal de Goiás – UFG/GO. Gerente de Contas Regionais e Indicadores do Instituto Mauro Borges – IMB/SEGPLAN/GO. E-mail: dinamar-mfm@segplan.go.gov.br.*
[3]*Economista. Mestre em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa – UFV/MG. Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás – CIAMB/UFG/GO. Pesquisador em Economia do Instituto Mauro Borges – IMB/SEGPLAN/GO. E-mail: luiz-ba@segplan.go.gov.br.*
[4]*Estatístico. Professor Doutor e Pesquisador do instituto de Matemática e Estatística da Universidade Federal de Goiás – IME/UFG. E-mail: mario.piscoya@gmail.com.*

grupo de estudos sobre fontes alternativas de energia, que culminou na criação do Proálcool. O resultado desse Programa foi a adição de álcool anidro à gasolina. Somente em 1979, com o segundo choque do petróleo, o Brasil lançou mão do álcool combustível hidratado para o abastecimento de parte de sua frota (ANP, 2014).

A partir da década de 1980, o agronegócio evoluiu e tornou-se uma das atividades mais dinâmicas da economia brasileira, contribuindo significativamente para o desempenho positivo de diversos indicadores, como exemplo, o crescimento da balança comercial.

A cana-de-açúcar se reveste de grande importância, é insumo básico de uma ampla variedade de produtos de alto valor agregado, incluindo alimentos, rações animais, biocombustíveis e eletricidade provenientes de biorrefinarias modernas e integradas que produzem açúcar, etanol e bioeletricidade (ABRAMOVAY, 2009).

O Sistema Agroindustrial (SAG) da cana-de-açúcar destaca-se como uma atividade importante do agronegócio brasileiro, sendo o maior produtor do mundo desse complexo e no âmbito social, gerando aproximadamente 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, contribuindo para o desenvolvimento econômico de várias regiões do interior do país (UNICA, 2014).

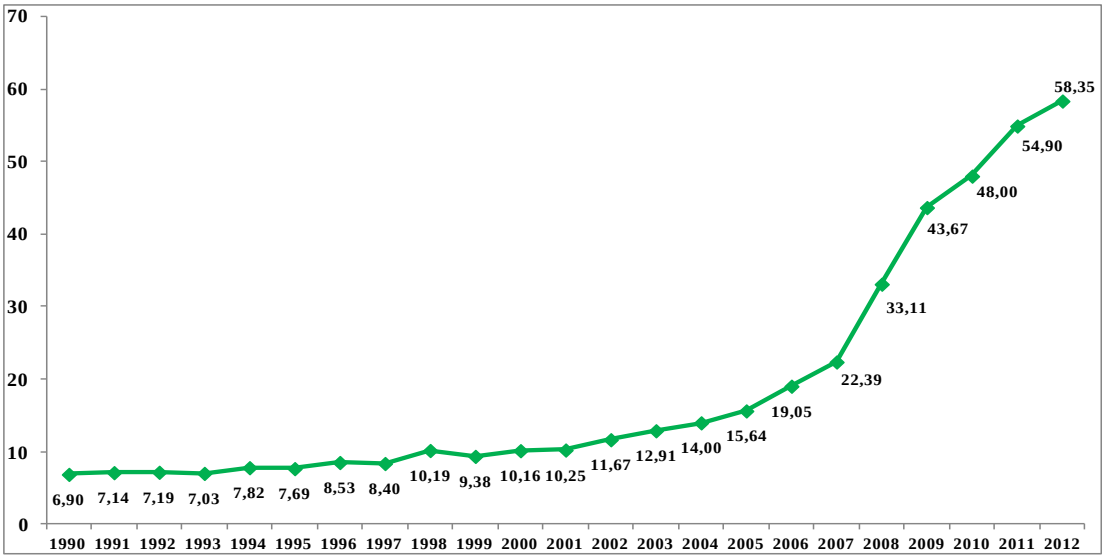
No caso do setor sucroalcooleiro brasileiro, nos últimos trinta anos ocorreu uma grande e contínua evolução tecnológica. A técnica empregada no setor agrícola, em especial a da região centro-sul do país, colocou a cana-de-açúcar brasileira como uma das mais promissoras fontes de biomassa, ou seja, de energia renovável do planeta. A junção de três fatores independentes explica o sucesso dessa importante cultura: a qualidade do solo, as condições climáticas e a tecnologia de ponta desenvolvida na área agrícola (NAIPPE/USP, 2014).

O etanol pode ser obtido a partir de várias matérias primas, tais como: cana-de-açúcar, milho, beterraba e mandioca. Contudo, no Brasil produz-se o etanol, principalmente a partir da cana-de-açúcar, enquanto nos Estados Unidos usa-se o milho e na Europa a beterraba.

Em 2003 foi liberada a comercialização dos carros *flex* no Brasil, que adentraram no mercado automobilístico, aumentando assim o consumo do combustível etanol, pois era economicamente mais vantajosa. Com isso, a procura por esse tipo de combustível aumentou significativamente, sendo necessário o

aumento da produção da matéria prima produtora de etanol, que no Brasil é a cana-de-açúcar, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 - Produção (em milhões) de Cana-de-açúcar no Estado de Goiás, 1990 a 2012

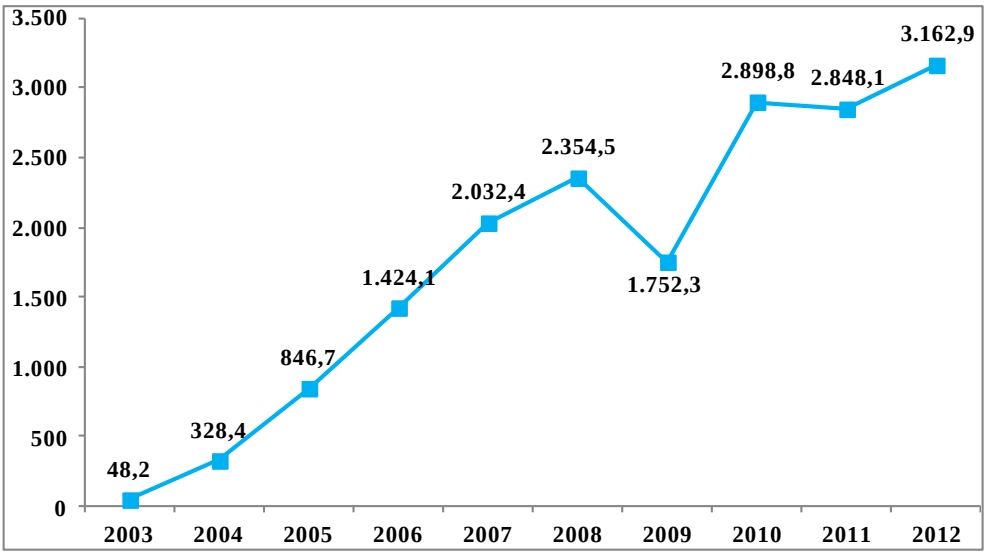


Fonte: Elaborada pelos autores com dados do IBGE, 2014.

Segundo estatística da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA em 2003, ano em que iniciou a produção de automóvel tipo de combustível *flex fuel*[5], representava apenas 2,8% do total de veículos produzidos no Brasil, saltando para 77,5% em 2011. Pelo lado das vendas, veículos tipo *flex fuel* representou, em 2011, 74,3% de todos os tipos de veículos vendidos no mercado brasileiro (ANFAVEA, 2014), conforme Gráfico 2.

5 Flex fuel são tipo de carros equipados com motores, que são capazes de operar com álcool hidratado ou gasolina e também com misturas desses combustíveis em qualquer proporção.

Gráfico 2 - Vendas de automóveis *flex* entre 2003 a 2012 (mil veículos)

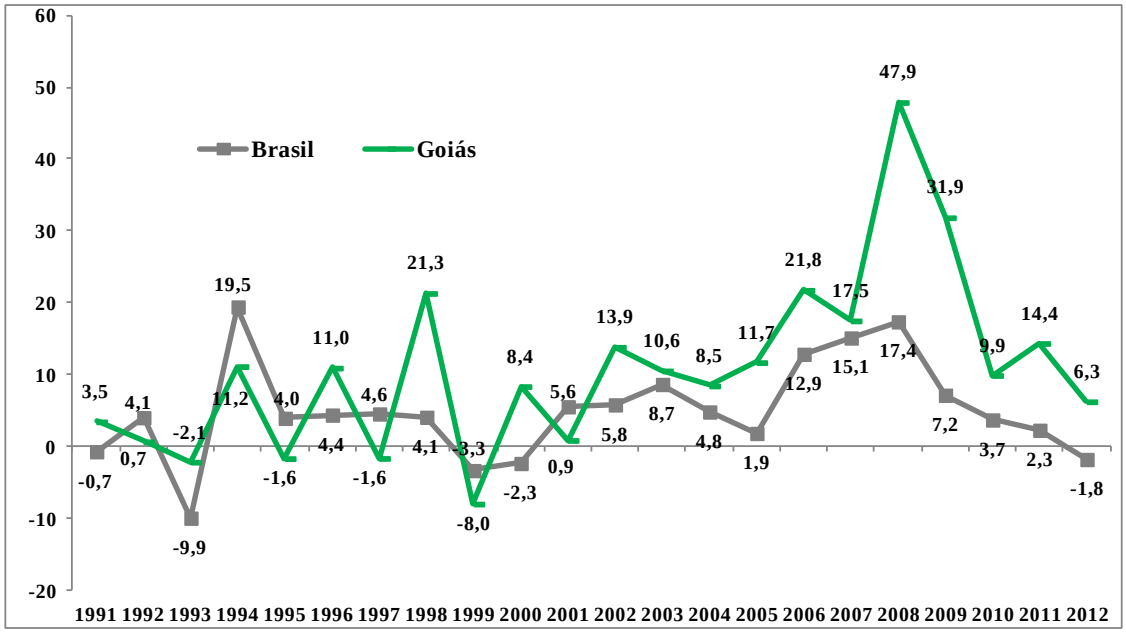


Fonte: Elaborada pelos autores com dados da ANFAVEA, 2014.

Dessa forma, a produção de cana-de-açúcar aumentou consideravelmente, para suprir a demanda da produção de etanol, principalmente para o mercado interno. Nessa nova dinâmica, vários Estados brasileiros aumentaram suas produções e Goiás se inclui nessa nova fronteira de expansão, sendo o que mais ganhou participação na produção nacional, aumentando 4,8 pontos percentuais entre 2003 e 2012. A participação de Goiás na produção do país saiu de 3,3%, em 2003, para 8,1% em 2012, conforme dados da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2012).

Em termos de variação na produção, nos últimos dez anos (2002-2012), a quantidade produzida avançou 399,8% em Goiás, uma média anual de 17,5%. Nessa mesma comparação a produção brasileira expandiu 97,9%, média anual de 7,1% (Gráfico 3).

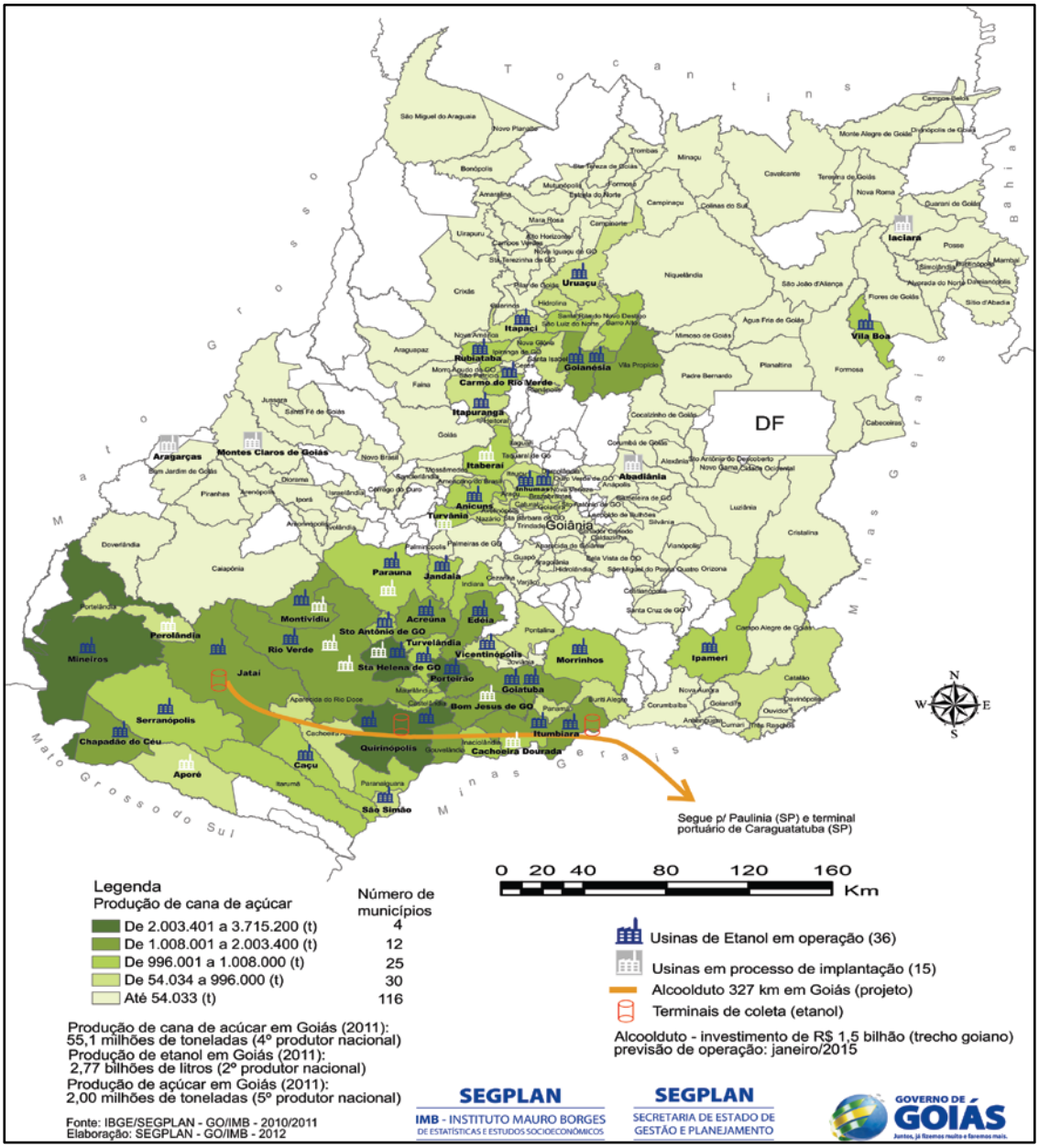
Gráfico 3 - Variação produção de Cana-de-açúcar no Brasil e Goiás - 1990 a 2012 (%)



Fonte: Elaborada pelos autores com dados do IBGE, 2014.

Na figura 1 tem-se a espacialização da produção de cana-de-açúcar e a localização das usinas no Estado de Goiás. Observa-se que a maior concentração da produção de cana-de-açúcar e de usinas de álcool e açúcar está localizada nas regiões Sul e Sudoeste do Estado, onde a atividade agrícola tem maior relevância e onde já tem projetos de melhoria da infraestrutura de escoamento da produção de álcool e açúcar, por exemplo, a construção de um alcoolduto que seguirá até Paulínia no estado de São Paulo.

Figura 1 - Produção de Cana-de-açúcar (ton.) e Mapa de Localização das Usinas de álcool e açúcar em operação e em processo de implantação, Goiás, 2011



Fonte: IBGE/SEGPLAN – GO/IMB – 2010/2011.

Verificando essa promissora fase da cana-de-açúcar em Goiás, esse trabalho tem por objetivo verificar a ocorrência de intervenção na série da produção de cana-de-açúcar no Estado, no período entre 1990 a 2012, que podem ter sidos influenciados pela entrada dos carros *flex* no mercado automobilístico. Para tanto se utilizou os modelos de regressão e os Testes de estabilidade de

Chow, para avaliar o comportamento da produção goiana. Traçou como objetivo específico identificar os possíveis fatores econômicos que possa ter influenciado a intervenção (ruptura da produção).

1. Metodologia

1.1. Materiais e Métodos

Para avaliar a produção anual da cana-de-açúcar no Estado de Goiás, utilizaram-se dados da produção (em milhões de toneladas) fornecidos pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que tem por objetivo investigar um elenco de 64 produtos, divididos em produtos de lavouras temporárias e permanentes.

A metodologia de análise empregada nesse estudo, em primeiro momento, será por meio do tratamento das variáveis, utilizando modelos de regressão lineares múltiplas e simples (CHAMBERS, 1992). Tem-se como variável dependente nesse modelo a produção (em milhões de toneladas) da cana-de-açúcar do estado no *i-ésimo* ano (Y_i) e a independente é o ano *i* da produção (x_i).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \ , \ para \quad i = 1, \dots, n \qquad (01)$$

Uma vez identificado o ano de intervenção na produção de cana-de-açúcar, provocados por eventos exógenos e políticas econômicas, necessário se faz introduzir ao modelo uma variável *dummy*, para cada intervenção na série diagnosticada, com o objetivo de captar e quantificar os efeitos provocados por esses fatores externos.

Em segundo momento, para validar o modelo, foi testado às hipóteses de modelo de regressão linear (homocedásticidade, independência e normalidade dos erros) em todos os modelos ajustados. Utilizou-se o Teste de Jarque-Bera (SHAPIRO, 1968) para o teste de normalidade dos erros; o teste de Breusch-Pagan (BREUSCH, 1979) para testar a hipótese de homocedasticidade e o teste de Breusch-Godofrey (GODFREY, 1978) para o teste de independência dos resíduos. O nível de significância considerado foi de 5%.

O fato dos modelos de regressão ser afetados por efeitos exógenos torna-os mais difíceis de serem quantificados, para tanto aplicou o teste de Chow (ANDREWS, 1993), para verificar a estabilidade dos coeficientes da regressão

linear. Nesse teste a estabilidade dos parâmetros é verificada dividindo o intervalo da amostra em duas partes, para estimar os parâmetros em cada sub-amostra. O ponto que divide os dois intervalos é chamado de ponto de quebra e cada sub-amostra deve conter mais observações do que o número de coeficientes estimados. Com isso, pode-se obter o ponto (ou ano) de intervenção (ou quebra), no caso em análise, a produção de cana-de-açúcar.

Depois de verificado o ano de intervenção (p_q) incluiu-se a variável *dummy* ao modelo, para indicar a quebra na estrutura de dados. Com isso, pode-se ajustar o modelo de regressão linear múltipla, para avaliar se o ajuste da reta de regressão melhorou a explicação dos dados.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \sum I_i\,,\ onde\ \ I_i = \begin{cases} 1, se\ i > p_q, \\ 0, se\ i < p_q. \end{cases} \qquad (02)$$

Ao inserir apenas a variável *dummy* para indicar a intervenção, muda-se apenas o intercepto da reta de regressão, mas para mudar a inclinação da reta necessita-se acrescentar uma variável que indica a interação entre o ano e a intervenção. Com isso, muda-se a inclinação da reta de regressão, quantificando a intervenção no modelo de regressão. O programa estatístico utilizado para realização dos cálculos das regressões foi o *software* R[6].

Na literatura, alguns autores aplicaram este modelo em situações diversas. Souza (2014) trabalhou com análise de intervenção em séries temporais. Para isso utilizou-se as séries representativas dos agregados monetários e o índice de produção industrial, com o objetivo de mostrar a robustez dos modelos com intervenção. Com os modelos ajustados, com intervenção, verificou-se uma melhora significativa dos critérios de seleção do modelo, quando comparado com os modelos sem intervenção, e que as influências detectadas são consequências de choques econômicos.

Silva (2014) ajustou os modelos de séries temporais à série de Índice de Preços ao Consumidor (IPC) obtido na região de Lavras e como objetivo verificou a intervenção na tendência da série, entre o período anterior e posterior ao Plano Real, e qual a forma de tendência no período do Plano Real (1994/1999), e ao final, se teve sazonalidade na série. Com referência aos resultados, o autor verificou que

[6] *O software R pode ser obtido gratuitamente em http://cran.r-project.org.*

houve mudança de nível na série, caracterizando uma intervenção e assim ajustou-se o modelo com a variável de intervenção, para um melhor ajuste e previsões do modelo aos dados. Ainda foi verificado que o modelo AR (1) com intervenção mostrou-se mais eficiente do que o modelo que não considerava a intervenção para a previsão do IPC.

Santiago (2014) utilizou de modelos de séries temporais com intervenção para identificar e analisar a presença de *outliers* nas séries de índice de preços recebidos, preços pagos pelos agricultores e de preços pagos fora do setor agrícola no Estado de São Paulo, entre o período de janeiro de 1966 a dezembro de 1994. Os resultados obtidos nesse estudo indicaram que houve mudanças de comportamento na transmissão de preços.

2. Resultados e Discussões

Com a aplicação dos modelos e testes propostos, verificou-se que o primeiro modelo de regressão ajustado (Equação 01) teve como variável dependente a produção de cana-de-açúcar, no período analisado, e como variável independente o ano de produção. Na Tabela 1 são apresentados os resultados da regressão linear estimada e os testes de diagnóstico do modelo.

Apurou-se que os coeficientes da regressão estimados têm os seus respectivos p-valores estatisticamente significativos. A regressão explica em torno de 70% dos dados, o que já é razoável. Com referência ao diagnóstico do modelo, não houve evidência contra a hipótese de normalidade dos erros (p=0,44), porém, há evidências contra a hipótese de homocedasticidade (p=0,00434) e contra a independência (p=1,95E-06) dos resíduos (Tabela 1). Desta forma, tornando o referido modelo inválido de acordo com os testes de diagnóstico.

Tabela 1 - Estado de Goiás: Regressão linear da Produção de Cana-de-açúcar 1990-2012

Coeficientes:	Estimado	Desvio Padrão	t - valor	P-valor
(Intercept)	-4.075,79	575,25	-7,08	5.45e-07
Ano	2,04	0,28	7,11	5.08e-07
Estatística F:	50,67			5.08e-07
R^2	0,707			
R^2 ajustado	0,693			

Teste de Diagnóstico		Estatística	P-valor
Normalidade	**Jarque Bera**	1,62	0,44
Homocedastidade	**Breusch-Pagan**	8,13	0,00434
Independência	**Breusch-Godofrey**	105,90	1,95E-09

Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma vez estimada a regressão testou-se a hipótese de estabilidade dos coeficientes, para verificar se houve intervenção na variável explicativa do modelo. Na Tabela 2 é apresentado o p-valor associado ao teste de Chow. Observa-se que o p-valor do teste é menor que o nível de significância, daí se conclui que há evidências contra a hipótese de estabilidade dos parâmetros, indicando que o ponto de quebra se encontra na 16ª observação, ou seja, no ano de 2005 (Tabela 2).

Tabela 2 - Estado de Goiás: Teste de Chow para a estabilidade da regressão estimada

Estatística F	678,32	*p-valor* =	< 2,2e-16
Ponto de quebra	16		

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base no teste de Chow, acrescentou-se uma variável *dummy*, para captar o efeito da intervenção, que possibilitou a mudança no intercepto da reta de regressão. Para a mudança na inclinação da reta de regressão, adicionou-se ao modelo uma variável de interação entre o ano e o efeito da intervenção.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes estimados da regressão linear múltipla (Equação 02), com os respectivos testes de diagnóstico do modelo.

Observa-se que todos os coeficientes são estatisticamente significativos ao modelo, ou seja, são significativos e relevantes. A qualidade do ajuste da reta aos dados é altamente significativa, apresentando R^2 ajustado de 0,99, significando que o modelo explica 99% da produção de cana-de-açúcar em Goiás. Isso é um indicativo de que a reta de regressão se ajustou de forma quase perfeita aos dados, quando inserimos ao modelo a variável *dummy*, que quantifica e indica a intervenção na produção.

Em relação ao diagnóstico do modelo, pelo Teste de Jarque-Bera, não há evidências contra a hipótese nula de normalidade dos erros (p=0,11). Pelo Teste de Breusch-Pagan não há evidências contra a hipótese de homocedasticidade dos resíduos (p=0,06) e pelo teste de Breusch-Godofrey não há evidências contra a hipótese de independência dos resíduos (p=0,35). Com estes testes de diagnóstico pode-se afirmar que o modelo de regressão é válido para as análises aqui pretendidas (Tabela 3).

Tabela 3 - Estado de Goiás: Regressão linear múltipla com Intervenção e interação com o ano da Produção de cana-de-açúcar

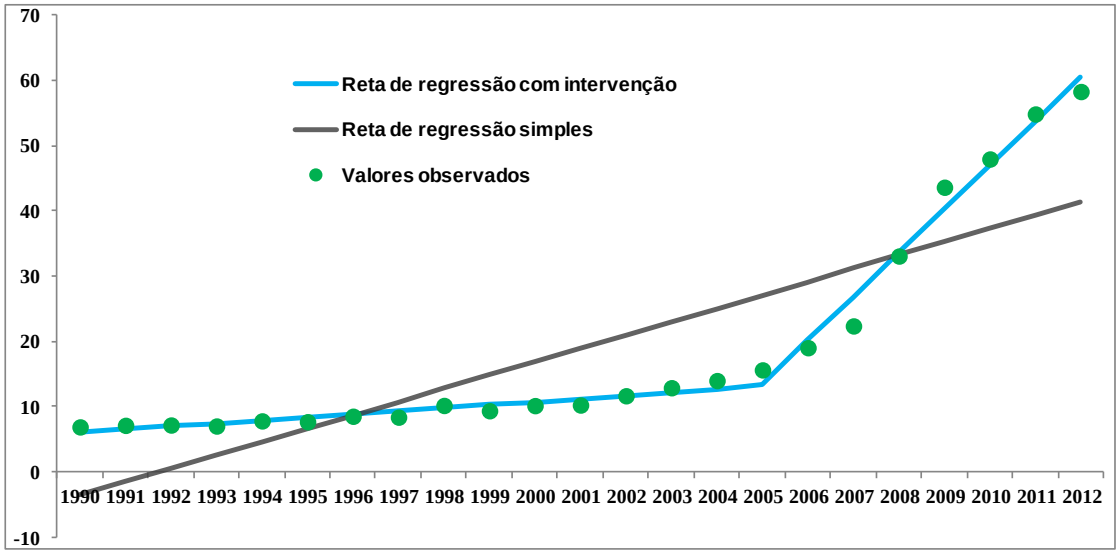
Coeficientes:	Estimado	Desvio Padrão	t-valor	P-valor
Intercepto	-9,30E+2	1,97E+02	-4,71	0,00015
Ano	4,70E-01	9,87E-02	4,76	0,000135
Int	-1,25E+04	5,48E+02	-22,88	2,73E-15
Ano: Int	6,26E+00	2,73E-01	22,90	2,67E-15
Estatística F:		725,3		< 2,2e-16
R^2	0,991			
R^2 ajustado	0,99			
Teste de Diagnóstico			**Estatística**	**P-valor**
Normalidade	Jarque Bera		4,32	0,11
Homocedastidade	Breusch-Pagan		7,49	0,06
Independência	Breusch-Godofrey		0,88	0,35

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao comparar os dois modelos ajustados, verifica-se que quando se inserem os coeficientes relacionados à intervenção na produção de cana-de-

açúcar, o modelo se torna válido. As evidências foram confirmadas quando ainda não tinha sido inserida a variável de intervenção ao modelo. Outro ponto que deve ser destacado é o ajuste da reta de regressão aos dados, quando inserida a variável de intervenção melhorou significativamente a explicação dos dados pela reta de regressão (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Produção de cana-de-açúcar (em milhões de toneladas) e as retas das regressões estimadas



Fonte: Elaborada pelos autores.

Considerações Finais

O uso de modelo de regressão linear para modelagem da produção da cana-de-açúcar apresentou como uma ferramenta bastante útil, principalmente para o estudo de análise de intervenção na produção goiana. Com isso têm-se evidências que a partir de 2005, Goiás foi influenciado por algumas medidas de estímulo ao consumo, caso da entrada no mercado dos carros *flex*, maior adição de etanol anidro à gasolina e da viabilidade econômica que o etanol tinha em relação à gasolina à época.

Com os resultados da pesquisa, apurou-se que o atual paradigma tecnológico do setor sucroenergético apresenta sinais de maturidade, embora apresente alguns gargalos para a continuidade do crescimento. Dificuldades de conquistar ganhos expressivos de produtividade, para superar essa barreira são

necessárias uma transformação estrutural do sistema produtivo, a introdução de novas variedades adaptadas às regiões do bioma cerrado, onde a cana-de-açúcar apresentou maior taxa crescimento nos últimos anos.

Mas com todo esse sucesso, do complexo da cana-de-açúcar ainda se faz necessário superar alguns gargalos, algumas ações devem ser implementadas, por exemplo, a melhoria da infraestrutura logística, como o sistema multimodal hidro e dutoviário são determinante para a melhoria da competitividade sistêmica desse setor no Brasil e particularmente no estado de Goiás, foco de análise desse trabalho.

Neste sentido, o complexo da cana-de-açúcar deverá avançar em Goiás nos próximos anos, dada a crescente demanda pelo álcool na forma de combustível e também pelo fato de estar se tornando uma *commodity* mundial. Não se podem deixar de lado as questões socioambientais que a expansão do complexo canavieiro poderá a vir desencadear. Essa é uma questão que deve ser complementada por investigações futuras.

Referências Bibliográficas

ABRAMOVAY, R. **Biocombustíveis: a energia da controvérsia.** São Paulo: Ed. Senac, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>. Acesso em 15 de março de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Disponível em: http://www.anp.gov.br. Acessado em 10 de março de 2014.

ANDREWS, D. W. K. **Tests for parameter instability and structural change with unknown change point**. Econométrica, v. 61, 821-856. 1993.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. **A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation**. Econométrica, v. 47, 1287–1294. 1979.

CHAMBERS, J. M. **Linear models**. Chapter 4 of Statistical Models in S. Eds. J. M. Chambers and T. J. Hastie. Wadsworth & Brooks/Cole, 1992.

GODFREY, L. G. **Testing Against General Autoregressive and Moving Average Error Models when the Regressors Include Lagged Dependent Variables'**. Econométrica, v. 46, 1293-1302, 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de Contas regionais**. Referência 2002. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

_____. **Pesquisa Agrícola Municipal (PAM)**. Refs. 1990-2012. Rio de Janeiro: IBGE, Disponível em: <http//www.ibge.gov.br>. Acesso em: julho de 2012.

MARQUES, D. M. F. **Desenvolvimento de uma metodologia para mensuração da participação do agronegócio na economia**: Uma aplicação para o estado de Goiás. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 2013.

NAIPPE/USP. **Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas Públicas e Estratégia da Universidade de São Paulo**. Disponível em: http://www.naippe.fm.usp.br/. Acesso em 22 de maio 2014.

SANTIAGO, M. M. D.; CAMARGO, M. L. B.; MARGARIDO, M. A. **Detecção e análise de *outliers* em séries temporais de índices de preços agrícolas no estado de São Paulo**. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/rea/tomo2_96/artigo6.pdf>. Acesso em 01 de Março de 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B.; CHEN, V. **A Comparative Study of Various Tests for Normality**. JASA, v. 63, 1343–1372. 1968.

SILVA, R. B. V.; FERREIRA, D. F.; SÁFADI, T. **Modelos de Séries Temporais Aplicados à Série dos Índices de Preços ao Consumidor na Região de Lavras, MG, no Período de 1992 a 1999.** Disponível em: http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/283/281>. Vol. 2, nº 2. 2000. Acesso em 10 de Março de 2014.

SOARES, P. A; ROSSEL, C. E. V. **O Setor Sucroalcooleiro e o Domínio Tecnológico**. Vol. 2. NAIPPE. Disponível em: <http://www.novacana.com/pdf/estudos/Livro_Naippe_Vol2.pdf>. Acessado em 25 de Março de 2014.

SOUZA, A. M. **Aplicação e Performance da Análise de Intervenção em Séries Macroeconômicas Brasileiras.** Disponível em <w3.ufsm.br/adriano/mdta/mono.pdf>. Acesso em 15 de Março de 2014.

ÚNICA - **União da indústria de cana-de-açúcar**. Disponível em http://www.unica.com.br/. Acessado em 20 de maio de 2014.