

A INOVAÇÃO BIOLÓGICA E A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO¹

Raquel Castellucci Caruso Sachs²
Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho³

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar a contribuição das inovações biológicas, consideradas como a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, para a produtividade agrícola dessa cultura no Estado de São Paulo. A metodologia empregada foi de dados em painel (modelos de efeitos fixos e aleatórios) para o período de 1998 a 2009. Foram consideradas no modelo econométrico proposto as variáveis índice de novidade varietal (INV), produtividade atingível (como proxy de fatores climáticos), estágio médio de corte e variáveis econômicas como preço da cana-de-açúcar, preço da terra e preço da mão de obra. Os resultados indicaram que as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar foram a produtividade atingível e o estágio médio de corte, seguido pelo preço da cana-de-açúcar. A introdução de novas variedades não contribuiu significativamente para o aumento da produtividade dessa cultura no Estado de São Paulo no período analisado.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, produtividade, variedades de cana-de-açúcar, dados em painel.

SUGARCANE BIO INNOVATIONS AND PRODUCTIVITY IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

ABSTRACT: This study aimed to analyze the contributions of new varieties of sugarcane to São Paulo state's agricultural productivity. We developed the fixed effects and random effects models of the panel data analysis for the period between 1998 and 2009. The proposed econometric model included the following variables: varietal newness index, attainable productivity - used as a proxy for climate factors -, average cutting stage, as well as economic variables such as sugarcane and land prices, and labor cost. Results indicated that the most important variables to explain sugarcane productivity were attainable yield and average cutting stage, followed by sugarcane price. The introduction of new varieties did not significantly contribute to the increased productivity of sugarcane in the state of São Paulo during this period, suggesting no impact of innovative biological contributions on sugarcane productivity.

Key-words: sugarcane, productivity, sugarcane varieties, panel data model, Brazil.

JEL Classification: C1, C33, Q1.

¹Registrado em CCTC, REA-16/2017.

²Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora da APTA-Polo Centro-Sul, Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil (e-mail: raquelsachs@apta.sp.gov.br).

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Sênior da ESALQ-USP, Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil (e-mail: jbsferre@usp.br).

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2015). A área colhida com cana-de-açúcar no ano safra 2017/18 foi de 8,7 milhões de hectares, conforme Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018). A produção nacional foi de aproximadamente 596,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 36,1 milhões de toneladas de açúcar e 26,1 bilhões de litros de etanol, segundo União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2018). Dentre os estados produtores da cultura no Brasil, destaca-se São Paulo, com aproximadamente 55% da produção brasileira.

O desenvolvimento tecnológico focado no melhoramento genético da cana-de-açúcar para o aumento da produtividade agrícola dessa cultura, juntamente com a melhoria dos processos de gestão agrícola e a modernização dos processos industriais nas usinas de cana-de-açúcar, deu-se a partir da criação do PROÁL-COOL (MATSUOKA; FERRO; ARRUDA, 2009). Segundo Goes, Marra e Silva (2008), essas melhorias tecnológicas e maior eficiência dos programas de melhoramento genético, entre outros, permitiram o aumento da produtividade e da expansão da produção da cultura para novas áreas, tornando o Brasil o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Segundo Hoffmann et al. (1999), de 1970 a 1999 o melhoramento genético contribuiu para um aumento médio de 30% na produtividade agrícola dessa cultura e também uma evolução significativa na qualidade da matéria-prima.

Segundo Raizer, Braga Junior e Selegato (2013), estima-se que o uso de novas variedades gera ganho de 1,5% ao ano na produtividade em toneladas de pol⁴ por hectare, com base em resultados finais de experimentação do programa de variedades do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Essa importância do desenvolvimento genético da cana-de-açúcar para o aumento da produtividade faz com que grandes montantes sejam investidos no desenvolvimento de novas variedades. Segundo Joaquim (2012), estima-se que sejam gastos aproximadamente R\$150 milhões no desenvolvimento

de uma variedade de cana-de-açúcar superior aos padrões comerciais.

Contudo, o papel da inovação biológica no aumento da produtividade também pode ser questionado. Conforme argumentado por Nyko et al. (2013), a produtividade agrícola da cana-de-açúcar alcançou um valor histórico na década de 2000, embora no longo prazo (período de 1970-2013), esses autores tenham verificado que a produtividade apresentou trajetória crescente, mas com períodos de baixos incrementos na produtividade. Segundo esses autores, além da crise de 2008 que reduziu os investimentos agrícolas, das adversidades climáticas e do processo recente de mecanização, as variedades têm contribuído pouco para o aumento da produtividade nos últimos anos, pois embora novas variedades sejam lançadas a cada ano, o ritmo de difusão tecnológica vem diminuindo e isso se deve, em parte, à performance dessas variedades.

Esse fenômeno, já discutido por autores como Silva (2011), Demattê (2012), Carvalho e Furtado (2014), é particularmente notável quando se considera que o ritmo de lançamento de novas variedades de cana-de-açúcar foi intenso no período analisado. Essas novas variedades cobrem uma ampla gama de características, introduzindo inovações importantes em termos de resistência às pragas e doenças, características culturais desejáveis, adaptação à colheita mecanizada e às características locais das regiões paulistas.

Contudo, a avaliação da influência dessas novas variedades na produtividade em termos agregados é dificultada pela interação das diversas variáveis que podem afetar a mesma, em particular as condições climáticas, mas também as condições dos mercados de fatores e de produto. Dessa forma, este artigo tem o objetivo de analisar o papel desempenhado pelas inovações biológicas na cultura da cana-de-açúcar sobre a produtividade da mesma no Estado de São Paulo, por meio de uma abordagem quantitativa que permita isolar os efeitos acima mencionados. O Estado de São Paulo foi escolhido para a análise tanto pela sua importância no cenário produtivo nacional quanto pela disponibilidade dos dados necessários para este estudo.

Este trabalho contribui para a literatura atual

⁴Pol é o teor de sacarose contida na cana.

sobre o tema, pois analisa econometricamente a relação entre produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e a inovação biológica na atividade, definida como a introdução de novas variedades. É a primeira vez que este problema é abordado dessa maneira na literatura.

Nesta, existem diversos trabalhos que estudaram a produtividade da cana-de-açúcar considerando somente aspectos agrônomicos da cultura como, por exemplo, a influência do clima, tipos de solo, adubação, disponibilidade hídrica, incidência de pragas, entre outros, sobre seu rendimento dessa cultura. Entretanto, há poucos trabalhos na literatura nacional e internacional que estudaram a produtividade da cana considerando também aspectos econômicos.

Além desta introdução, o artigo apresenta na seção seguinte o método utilizado na análise. A seção 3 mostra as variáveis empregadas bem como as fontes de dados utilizadas. A seguir, na seção 4, os resultados são expostos e discutidos e, finalmente, na seção 5 apresentam-se as conclusões deste estudo e as propostas para novos trabalhos.

2 - METODOLOGIA

A metodologia econométrica utilizada nesse estudo foi a de dados em painel. Esse método consiste na combinação de n entidades (famílias, indivíduos, firmas, países, estados, regiões, etc.) para dois ou mais períodos de tempo, sendo, portanto, uma combinação entre dados de corte transversal (*cross-section*) e de séries temporais, permitindo o controle da heterogeneidade presente nos indivíduos. Os modelos para dados em painel possuem vantagens em relação aos modelos de cortes transversais e aos de séries temporais, pois controlam a heterogeneidade individual, melhoram a eficiência das estimativas econométricas e possibilitam identificar e mensurar efeitos que não são possíveis de serem detectados por meio da análise de dados em corte transversal ou séries temporais isoladamente (HSIAO, 2003; KLEVMARKEN, 1989 apud BALTAGI, 2005).

A estrutura de um modelo de dados em painel consiste em (WOOLDRIDGE, 2002):

$$y_{it} = x_{it} \beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

onde os subscritos $i = 1, 2, \dots, n$ e $t = 1, 2, \dots, T$ denotam, respectivamente, as regiões e os anos, o vetor x_{it} de dimensão $1 \times K$ de variáveis independentes (ou explicativas) por região, α_i é o efeito específico não observado em cada região (ou também conhecido como componente não observado, variável latente ou heterogeneidade não observada), o qual é considerado constante ao longo do tempo, t , e específico para cada unidade individual *cross-section*. O termo de erro ε_{it} é o erro idiosincrático ou erro variante no tempo, porque ele varia ao longo do tempo bem como entre as unidades *cross-section* e afetam y_{it} , porém, não são observados.

O objetivo dos dados em painel é obter os estimadores consistentes de β com propriedades desejadas de eficiência, sendo as pressuposições feitas sobre a correlação entre os termos aleatórios e os regressores, o que determina a forma de estimação não tendenciosa dos parâmetros. A partir desse modelo geral (1), dois modelos podem ser formulados. Um é o modelo de efeito fixo (EF), quando se supõe que os efeitos específicos de cada região α_i podem ser correlacionados com algum regressor de x_{it} e que a correta estimação desse modelo requer o controle dessa correlação. O outro modelo que pode ser formulado a partir de (1) é o modelo de efeitos aleatórios (EA), quando se assume α_i como variável aleatória e não correlacionada com as variáveis explicativas. De maneira formal:

$$y_{it} = x_{it} \beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$y_{it} = x_{it} \beta + \mu_{it}$$

Em que $\mu_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$

O intercepto representa o valor médio (fixo) comum para todos os interceptos das unidades da amostra, e o erro representa o desvio do intercepto individual de seu valor médio, ou seja, as diferenças no intercepto de cada unidade se refletem no termo de erro, como verificado em μ_{it} , que é o termo de erro composto; no caso

do modelo de efeitos aleatórios, é possível obter estimativas para as características invariantes no tempo.

O modelo econométrico proposto para estimar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e verificar a contribuição da introdução de novas variedades de cana-de-açúcar para o rendimento dessa cultura compõe-se de uma equação básica que tem como referencial teórico uma função de oferta. Entretanto, ao invés da produção da cana-de-açúcar ser mensurada em termos de produção total, ela é medida em termos de produção de açúcar total recuperável (ATR)⁵ por hectare. Admite-se ser possível identificar e analisar as variáveis relevantes que determinam a produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, onde as firmas procuram maximizar lucros. Dessa forma, a quantidade ofertada pela firma será uma função de preços e outros fatores.

Existem diversos fatores que afetam a produtividade da cana-de-açúcar, tais como clima, manejo e mercado. Segundo Marin e Carvalho (2012), analisando a eficiência produtiva da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo ao longo de 16 safras agrícolas (1990/91 a 2005/06) para verificar a importância relativa do clima e do solo nessa cultura, observaram que os elementos climáticos explicaram 43% da variabilidade da eficiência da produção agrícola da cana-de-açúcar na seguinte ordem de importância: radiação solar, deficiência hídrica, temperatura máxima, precipitação e temperatura mínima. O solo explicou 15% da variabilidade da eficiência de produção de cana-de-açúcar. Portanto, os fatores abióticos (clima e solo) respondem por 58% da eficiência da produção da cana-de-açúcar. Supõe-se que os 42% restantes estejam relacionados com manejo da cultura e fatores socioeconômicos.

A equação de produtividade agrícola da cana-de-açúcar foi ajustada em forma log-linear. Ou seja, a

variável dependente e algumas variáveis explicativas foram expressas na forma logarítmica, permitindo obter as respectivas elasticidades. Outras variáveis, medidas em anos e índice percentual, foram consideradas em suas formas originais⁶. Como já mencionado, a metodologia adotada neste trabalho é de análise de dados em painel; assim, modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios foram explorados para estimar a seguinte equação de produtividade da cana-de-açúcar ajustada em forma log-linear⁷:

$$\ln Y_{i,t} = C + \beta_1 \ln PT_{i,t-1} + \beta_2 \ln PMO_{i,t-1} + \beta_3 \ln PC_{i,t-1} + \beta_4 \ln PA_{i,t} + \beta_5 EMC_{i,t} + \beta_6 INV_{1i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Em que o subscrito i se refere à região do Estado de São Paulo, e assume os seguintes valores $i = 1, 2, 3, 4, 5, e 6$. Por sua vez, t é o ano e o período de análise e compreende $t = 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008$ e 2009 . O painel é balanceado, pois os mesmos períodos de tempo estão disponíveis para todas as regiões em estudo. Onde:

$\ln Y_{i,t}$ = logaritmo da variável produtividade da cana-de-açúcar, na região i e no período t ;

C = constante;

$\ln PT_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da terra, na região i e no período $t-1$;

$\ln PMO_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da mão de obra, na região i e no período $t-1$;

$\ln PC_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da cana-de-açúcar, na região i e no período $t-1$;

$\ln PA_{i,t}$ = logaritmo da variável produtividade atingível da cana-de-açúcar (utilizada como *proxy* de fatores climáticos), na região i e no período t ;

$EMC_{i,t}$ = variável estágio médio de corte da cana-de-açúcar, na região i e no período t ;

⁵O ATR é a concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) na cana-de-açúcar e recuperáveis no processo industrial para a produção de açúcar e etanol expresso em quilograma por tonelada de cana (kg de ATR/t de cana).

⁶Segundo Wooldridge (2012), variáveis que são medidas em anos (como por exemplo: educação, experiência, idade, etc.) geralmente aparecem em sua forma original. Uma variável que é uma proporção ou porcentagem (como, por exemplo, taxa de desemprego, porcentagem de alunos aprovados em determinado exame, taxas de criminalidade, etc.) podem aparecer tanto na sua forma original quanto em forma logarítmica, embora exista uma tendência de usá-la em sua forma original.

⁷Algumas variáveis independentes foram incluídas no modelo com uma defasagem assumindo a hipótese de exogeneidade estrita (WOOLDRIDGE, 2002).

$INV_I_{i,t}$ = índice de novidade varietal, na região i e no ano t , que considera a participação porcentual de novas variedades de cana-de-açúcar cultivadas no ano t que não eram cultivadas ou eram menos cultivadas nos anos anteriores ($t-1, t-2, t-3, \dots, t-n$, onde n =número de anos); e

$\varepsilon_{i,t}$ = erro aleatório, com média zero, variância constante e não autocorrelacionado no período t .

O período de análise compreendeu os anos de 1998 a 2009 por limitação dos dados, pois a série de preços da cana-de-açúcar para as seis regiões em estudo só pôde ser obtida a partir de 1998, e a série de produtividade atingível (*proxy* para fatores climáticos) só foi disponibilizada até o ano de 2009.

Antes da estimação da equação de produtividade, foram realizados alguns testes econométricos com a intenção de identificar possíveis problemas que geram estimativas viesadas dos parâmetros. Logo, foram realizados testes para a detecção de multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação.

Para testar a presença de multicolinearidade, foi utilizado o fator de inflação da variância (FIV). Na prática, o FIV mostra a velocidade com que a covariância aumenta, devido ao aumento de correlação entre as variáveis explanatórias. Uma variável com valor de FIV superior a 10 é altamente colinear.

Para testar a presença de heterocedasticidade, foi calculada a estatística de Wald para heterocedasticidade nos resíduos da regressão em painel. A hipótese nula desse modelo especifica que $\sigma_i^2 = \sigma^2$ para $i = 1, \dots, Ng$, onde Ng é o número de unidades *cross-sections*, ou seja, a hipótese nula assume homocedasticidade dos resíduos (BAUM, 2001).

Para o teste de autocorrelação, foi utilizado o teste de Wooldridge, que tem como hipótese nula a ausência de autocorrelação de primeira ordem⁸.

A primeira etapa da análise econométrica foi estimar um modelo de efeitos fixos que permite que a heterogeneidade entre as regiões seja captada por um termo constante, o qual é diferente entre elas. Desse modo, a variável α_i foi incorporada à equação (3), da seguinte forma:

$$\ln Y_{i,t} = C + \beta_1 \ln PT_{i,t-1} + \beta_2 \ln PMO_{i,t-1} + \beta_3 \ln PC_{i,t-1} + \beta_4 \ln PA_{i,t} + \beta_5 \ln EMC_{i,t} + \beta_6 \ln INV_1_{i,t} + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

A variável *dummy* α_i captura todos os efeitos não observáveis que não variam ao longo do tempo e que afetam Y_{it} . Tal heterogeneidade pode ser devida às características individuais de cada região que não são diretamente observáveis ou estão omitidas.

Admitindo que as características específicas das unidades de análise não estão correlacionadas com as demais variáveis explicativas, utiliza-se o modelo de efeitos aleatórios, o qual utiliza o método dos mínimos quadrados generalizados e insere os efeitos individuais no termo de erro. Esse modelo corresponde à segunda etapa da análise econométrica.

No que diz respeito aos coeficientes, espera-se que os das variáveis preço da terra, preço da cana-de-açúcar e produtividade atingível se correlacionem positivamente com a produtividade da cana-de-açúcar (β_1, β_3 e β_4 positivos), e que o preço da mão de obra e o estágio médio de corte se correlacionem negativamente com a produtividade da cana-de-açúcar (β_2 e β_5 negativos). Por fim, se o coeficiente β_6 apresentar um sinal positivo e estatisticamente significativo, confirma-se a hipótese de que as inovações biológicas na cana-de-açúcar contribuíram, no período analisado, para o aumento da produtividade dessa cultura.

3 - FONTES DE DADOS E VARIÁVEIS EMPREGADAS

O Estado de São Paulo possui duas fontes básicas de dados sobre o uso de variedades de cana-de-açúcar: o censo varietal do CTC, antiga Cooperativa Central de Produtores de Açúcar do Estado de São Paulo (COPERSUCAR) e o da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), Antigo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR). Para este estudo, foram

⁸Para detalhes sobre o "teste de Wooldridge", ver Drukker (2003).

utilizadas as informações do CTC por serem os mais antigos e abrangentes, além de ele disponibilizar as necessárias para este trabalho.

O censo varietal do CTC foi criado em 1981 e disponibiliza informações sobre a área cultivada com todas as variedades, não somente aquelas desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da antiga COPERSUCAR e atual CTC (denominadas SP e CTC, respectivamente), tanto para o Brasil como para todo o estado de São Paulo, além de informações desagregadas para as regiões de Araçatuba, Assis, Piracicaba, Ribeirão Preto, São Carlos e São José do Rio Preto (Figura 1). Apresenta ainda o estágio de corte e a respectiva área por corte, por variedade de cana-de-açúcar.

Foram consideradas neste estudo informações relativas ao uso de variedades de cana-de-açúcar nessas seis regiões do Estado de São Paulo. É possível, dessa forma, conhecer a participação de cada variedade no total plantado de cada região, bem como a evolução no tempo da participação das variedades lançadas.

A informação contida no censo varietal permite a construção de algumas variáveis importantes para a análise, conforme será discutido a seguir.

3.1 - Produtividade Agrícola da Cana-de-açúcar

Os dados do censo varietal não permitem calcular diretamente a produtividade agrícola da cultura em cada região. Dessa forma, esta variável teve que ser elaborada com base em informações adicionais, utilizando-se informações provenientes do Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2014) e Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA, 1998-2009). Esta, em particular, tem observações sobre a produtividade da cana-de-açúcar ano a ano, por região do estado, em toneladas de cana por hectare, bem como dados de rendimento industrial. Assim, considerando-se que os programas de melhoramento genético têm como objetivo, além de obter varie-

dades de cana-de-açúcar mais produtivas em termos de toneladas por hectare, maior teor de açúcar por tonelada de cana, os dados de produção física de cana-de-açúcar por hectare foram transformados em quilogramas de ATR por hectare de cana (kg de ATR/ha).

Portanto, com base nos municípios que compunham as 6 regiões em estudo, foram obtidos os dados municipais de área para corte (em hectares) e produção (em toneladas) divulgados pelo IEA, sendo possível obter a produtividade média da cana-de-açúcar em t/ha para cada uma das regiões. Posteriormente, foram obtidas na ORPLANA, as quantidades médias de quilogramas de ATR por tonelada de cana-de-açúcar produzidas pelos fornecedores de cana, pertencentes às Associações dos Fornecedores de Cana-de-Açúcar presentes em cada uma das seis regiões do Estado de São Paulo. Assim, para cada região em estudo, a qualidade da matéria-prima (em kg de ATR/t de cana) foi obtida pelas informações das associações de produtores, localizadas nas respectivas regiões. A produtividade da cana-de-açúcar em kg de ATR/ha foi obtida multiplicando-se a produtividade média em t/ha pela quantidade de ATR por tonelada de cana (kg de ATR/t de cana).

3.2 - Estágio Médio de Corte

A idade do canavial é representada pela variável Estágio Médio de Corte (EMC) medida em anos. Braga Junior e Nardy (2014) analisaram a influência da idade do canavial sobre a produtividade da cana-de-açúcar e o resultado encontrado demonstrou que a produtividade agrícola está diretamente relacionada com o EMC, indicando que um aumento de 1 ano no EMC provoca uma perda de 8,8 t de cana/ha. Portanto, a variável EMC da cana-de-açúcar deve ser considerada em estimativas da produtividade agrícola dessa cultura.

A variável EMC foi calculada com base nas informações contidas no censo varietal do CTC, utilizando a fórmula fornecida pelo CTC⁹, dada a seguir:

⁹Segundo Rubens Leite do Canto Braga Junior, do Centro de Tecnologia Canavieira, as ponderações para o cálculo do EMC foram obtidas após regressão feita entre produtividade e estágio de corte ao longo de 26 safras agrícolas.

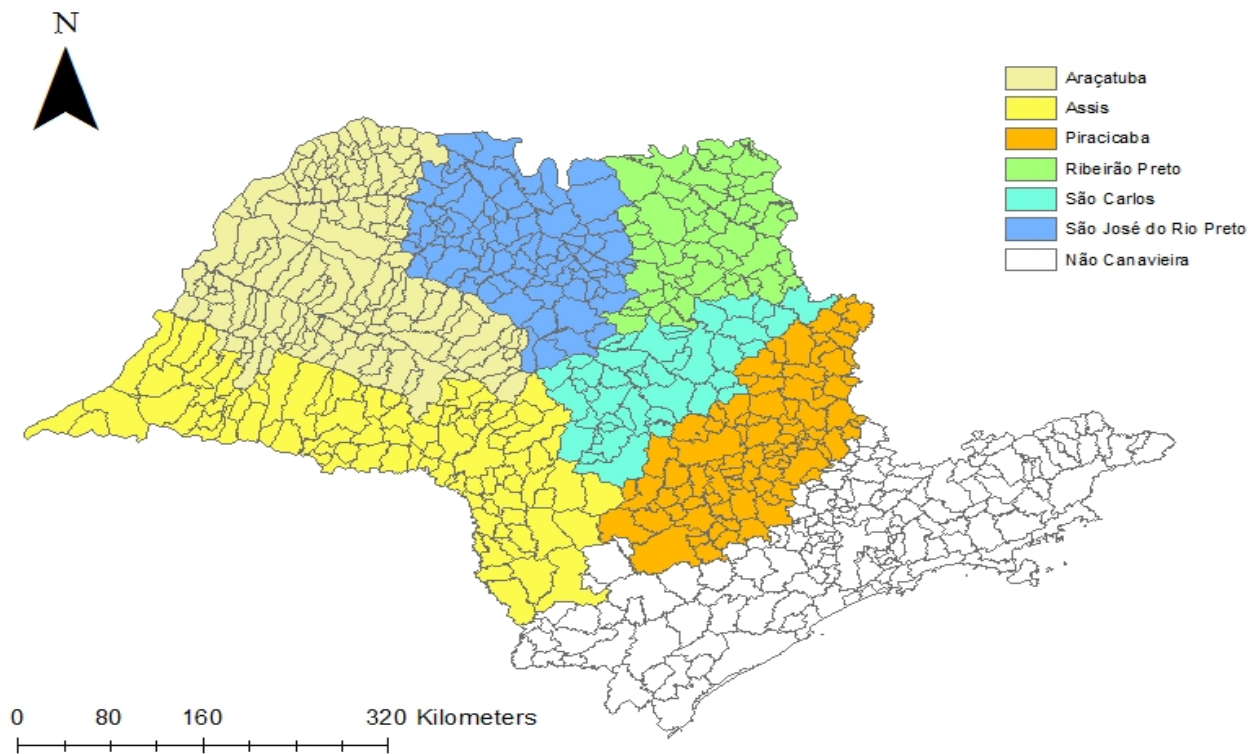


Figura 1 - Divisão do Estado de São Paulo em Seis Regiões.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados e mapa fornecidos pelo CTC (2013).

$$EMC_t = [(AC_{1corte_t} \times 1) + (AC_{2corte_t} \times 2) + (AC_{3corte_t} \times 3) + (AC_{4corte_t} \times 4) + (AC_{5corte_t} \times 5) + (AC_{>5corte_t} \times 6,58)] / AC_{total_t} \quad (5)$$

Onde:

EMC_t = estágio médio de corte no ano t ;

AC = área colhida com cana nos respectivos cortes no ano t .

a relativa novidade das variedades cultivadas, estimando a proporção da área total cultivada com cana-de-açúcar com variedades de cana no ano t que não eram cultivadas ou eram pouco cultivadas em períodos anteriores. Também mede a taxa de variação das variedades cultivadas ao invés do nível de sua produtividade. O INV para o período de 1998 a 2009 foi calculado para o Estado de São Paulo e para as regiões em estudo da seguinte forma:

3.3 - Índice de Novidade Varietal

Os dados do censo varietal apresentam um grande número de variedades cultivadas no período, o que dificulta a sua utilização em análises econométricas. Dessa forma, esta informação precisou ser sintetizada na forma de um índice. Brennan (1984) propôs o “índice de novidade varietal” (INV), que mede

$$z_{it} = p_{i,t} - p_{i,t-1} - 2p_{i,t-2} - 3p_{i,t-3} - \dots \quad (6)$$

Onde:

$p_{i,t}$ = porcentagem do total de área cultivada com a variedade i no ano t , $t=1998, 1999, \dots, 2009$.

Fazendo:

$$\begin{cases} x_{it} = z_{it} & \text{se } z_{it} \geq 0, e \\ x_{it} = 0 & \text{se } z_{it} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

então $I_t = \sum x_{it}$

Onde I_t é o valor do INV no ano t .

3.4 - Variável Produtividade Atingível

Para analisar o efeito do clima sobre a produtividade da cana-de-açúcar, seria necessário utilizar as variáveis temperatura e precipitação pluviométrica em diferentes períodos de tempo, pois essa cultura precisa de um período quente e úmido seguido de outro seco e com temperaturas mais baixas para se desenvolver plenamente; portanto, uma média anual seria de difícil interpretação. Dessa forma, optou-se por utilizar como *proxy* da variável de fatores climáticos (precipitação, temperatura e outras variáveis climáticas), a variável produtividade atingível (em kg de ATR/ha).

Essa variável é modelada por um sistema denominado Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia, do inglês Decision Support System Agrotechnology Transfer (DSSAT/CANE-GRO). Esse sistema leva em consideração a temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluviométrica, radiação solar e tipo de solo. Dessa forma, essa variável indica qual a produtividade possível de ser atingida, considerando essas condições edafoclimáticas no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar¹⁰.

3.5 - Preço da Terra e da Mão de Obra

As variáveis preço da terra (em R\$/ha) e preço da mão de obra (em R\$/mês) são provenientes dos levantamentos por municípios do Estado de São

Paulo realizado pelo IEA e pela CATI. Essas informações foram agregadas para as regiões em estudo e deflacionadas pelo IGP-DI, obtido da base de dados do IPEA e trazido para valores reais de dezembro de 2013.

A variável preço da terra foi incluída nesse trabalho considerando que, quanto melhor a qualidade da terra, como no caso das terras do Estado de São Paulo, mais produtiva esta será, havendo uma relação positiva entre preço da terra e produtividade. Além do mais, pelo fato de a terra ser o principal ativo de um empreendimento agrícola, as variações do preço da terra exercem influência direta sobre a rentabilidade do negócio, pois, quanto mais alto o valor da terra, mais a elevada produtividade justificaria sua exploração agrícola.

A variável preço da mão de obra foi incluída no modelo como uma de controle para a determinação da produtividade da cana-de-açúcar, considerando essa variável como um dos componentes do custo de produção da lavoura de cana-de-açúcar.

3.6 - Preço da Cana-de-açúcar

O preço da cana-de-açúcar exerce influência sobre a sua produtividade agrícola (SATOLO; BACCHI, 2009). O aumento do preço da cana-de-açúcar faz com que os produtores adotem novas práticas de manejo da cultura, intensificando os tratamentos culturais e refletindo, portanto, em um incremento na produtividade.

A variável preço da cana-de-açúcar (em R\$/t) foi obtida multiplicando-se as séries da quantidade média de quilogramas de ATR por tonelada de cana para as regiões em estudo, obtidas da ORPLANA, conforme explicado anteriormente, pelo preço do quilograma de ATR (R\$/kg de ATR) divulgados pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP) (UDOP, 2013).

¹⁰Os autores agradecem ao Prof. Dr. Fabio Ricardo Marin do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) por disponibilizar as informações sobre a produtividade atingível nas regiões do Estado de São Paulo. Para maiores detalhes ver Marin et al. (2013).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados dos testes econométricos do modelo estudado. A multicolinearidade não se mostrou um problema para este estudo, bem como a heterocedasticidade. A hipótese nula de que os erros são homocedásticos não foi rejeitada, pois os resultados mostraram que os erros das regressões do modelo são homocedásticos. Foi rejeitada a hipótese nula de ausência de autocorrelação para um nível de significância de 5%.

Tabela 1 - Resultados dos Testes Econométricos para Multicolinearidade, Heterocedasticidade e Autocorrelação

Multicolinearidade	
FIV=1,24 ¹	
Teste de Wald para heterocedasticidade H ₀ : erros são homocedásticos (ausência de heterocedasticidade).	
Estatística	4,27
<i>p-value</i>	0,6399
Teste de Wooldridge para autocorrelação H ₀ : ausência de correlação de primeira ordem	
Estatística	6,961
<i>p-value</i>	0,0461

¹Como regra prática, a multicolinearidade é considerada um problema sério se FIV>10 (WOOLDRIDGE, 2012)

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados CTC (2005-2012) e IEA (2014).

Os resultados da estimação dos modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios, com erros robustos, para medir a contribuição das inovações biológicas da cana-de-açúcar na produtividade dessa cultura no Estado de São Paulo para o período de 1998 a 2009 estão apresentados na tabela 2.

Nos dois modelos estimados os coeficientes das variáveis apresentaram os sinais esperados e foram significativos, com exceção para as variáveis preço da mão de obra e INV. Os coeficientes estimados foram muito semelhantes nos dois modelos. A variável que exerceu o maior impacto sobre a produtividade foi a variável produtividade atingível, utilizada como *proxy* dos fatores climáticos, seguida pelas variáveis estágio médio de corte, preço da cana-de-açú-

Tabela 2 - Resultados dos Modelos Estimados para a Produtividade da Cana-de-açúcar¹, Regiões do Estado de São Paulo, 1998 a 2009

Variáveis explicativas	Modelos de regressão ¹	
	Efeitos fixos	Efeitos aleatórios
LnPC _{t-1}	0,0647 ² (0,0241)	0,0655 ³ (0,0248)
LnPT _{t-1}	0,0553 ³ (0,0225)	0,0527 ³ (0,0218)
LnPMO _{t-1}	-0,0910 (0,0584)	-0,0917 (0,0565)
LnPA _t	0,2450 ² (0,0893)	0,2322 ³ (0,0877)
EMC _t	-0,0691 ³ (0,0324)	-0,0745 ³ (0,0318)
INV_1	0,0029 (0,0043)	0,0027 (0,0042)
Constante	7,1004 ² (1,1884)	7,1949 ² (1,1434)
R ²	75,86	56,36
Observações	66	66
Teste de Breusch e Pagan		15,99 ²
Teste de Hausman		0,03 ²

¹Na estimação dos coeficientes já foi usada a correção para autocorrelação.

²Significativo a 1%.

³Significativo a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

car e preço da terra, respectivamente, tanto no modelo de efeitos fixos como no de efeitos aleatórios.

Antes de analisar a magnitude dos coeficientes, é preciso considerar um critério de decisão de qual modelo deve ser utilizado, se efeitos fixos ou aleatórios. Um teste formal, o teste de Hausman (1978), pode ser utilizado, o qual é baseado nas diferenças das estimativas entre os efeitos fixos e aleatórios. Esse teste é utilizado para decidir qual dos modelos é mais eficiente. A hipótese nula desse procedimento é que não existem diferenças sistemáticas entre os coeficientes estimados e, portanto, a não rejeição dessa hipótese implica que o modelo de efeitos aleatórios é mais eficiente que o modelo de efeitos fixos, embora sob

essa hipótese ambos os modelos são consistentes. No caso de rejeitar a hipótese nula, o modelo de efeitos fixos será mais eficiente e o modelo de efeitos aleatórios será ineficiente e inconsistente.

Outro critério de escopo mais conceitual de escolha de qual modelo deve ser utilizado baseia-se nas informações disponíveis e na aplicação desejada. Segundo Cameron e Trivedi (2005), mesmo que os pressupostos para consistência do modelo de efeitos aleatórios sejam atendidos, a escolha entre as duas alternativas pode pautar-se também na aplicação desejada. Caso os dados representem uma amostra aleatória da população para a qual se deseja estimar as relações, o modelo de efeitos aleatórios será o mais adequado. Mas se o interesse for intrinsecamente direcionado apenas às unidades específicas da amostra, sugere-se utilizar os efeitos fixos, ainda que possa implicar em menor eficiência.

Portanto, embora o teste de Hausman nesse trabalho não tenha rejeitado a hipótese nula de que os coeficientes não apresentam diferenças sistemáticas, optou-se por se ater nas discussões aos coeficientes do modelo de efeitos fixos, pois, como já discutido anteriormente e segundo Wooldridge (2012) deve-se ter precaução ao escolher o melhor modelo somente com base no teste de Hausman, pois o modelo de efeitos fixos é considerado uma ferramenta mais convincente para se estimar efeitos *ceteris paribus*. Quando a unidade de observação é uma unidade geográfica grande o suficiente (estados, regiões, etc.), a amostra não pode ser tratada como aleatória, então faz mais sentido pensar cada efeito não observado como um intercepto a ser estimado para cada uma das unidades *cross-sections*. E, nesse caso, usa-se o modelo de efeitos fixos.

A variável que exerceu o maior impacto sobre a produtividade foi a produtividade atingível, utilizada como *proxy* dos fatores climáticos. O valor do coeficiente estimado dessa variável foi de 0,2450 significando que um aumento de 10% na produtividade atingível causa um aumento de 24,50% sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Esse resultado corrobora

o encontrado por Marin e Carvalho (2012), que verificaram que os fatores abióticos respondem por 58% da variabilidade da produtividade da cana-de-açúcar.

O segundo mais alto coeficiente estimado em todos os modelos foi o da variável estágio médio de corte, cujo valor do parâmetro foi de -0,0691, significando que, para um aumento de uma unidade adicional na variável EMC, a mudança porcentual sobre a produtividade agrícola será um decréscimo de 6,68%¹¹. Portanto, esse resultado corrobora o encontrado na regressão estimada por Braga Junior e Nardy (2014), que indicou o EMC como uma variável importante para explicar as variações da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. A variável preço da cana-de-açúcar possui uma relação positiva e estatisticamente significativa sobre a sua produtividade (SATOLO; BACCHI, 2009). O coeficiente estimado para essa variável indicou que um aumento de 10% no preço da cana-de-açúcar proporciona um aumento de 6,47% na sua produtividade no próximo período. Pode-se levar à ilação de que, quando os produtores recebem mais pela tonelada de cana, isto se reverte em intensificação dos tratos culturais e manejo da cultura, refletindo no aumento da sua produtividade na próxima safra ou até na mesma safra, dependendo do trato cultural, visto que a cultura tem um longo período de colheita.

A análise de regressão mostrou uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre o preço da terra e a produtividade da cana-de-açúcar no próximo período. Essa variável foi inserida no modelo tendo em vista que a terra é um fator de produção e principal ativo do empreendimento agrícola. Dessa forma, quanto mais alto seu valor, maior deverá ser a produtividade requerida para justificar a sua utilização. O valor do coeficiente estimado indicou que um aumento de 10% no preço da terra está associado a um aumento de 5,53% na produtividade de cana-de-açúcar no próximo período.

O coeficiente estimado da variável preço da mão de obra não foi estatisticamente significativo para explicar a produtividade da cana-de-açúcar, em-

¹¹No modelo log-linear para medir a porcentagem no aumento da produtividade agrícola ocasionada por uma unidade adicional na variável EMC, utiliza-se a seguinte expressão: $100 \times (e^{\beta} - 1)$. Nesse caso, β é o valor do coeficiente da variável EMC (WOOLDRIDGE, 2012).

bora o sinal apresentado nos dois modelos estimados tenha sido o esperado, pois essa variável foi incluída no modelo como representativa de um componente de custo da cultura.

Por último e mais importante para este trabalho, o coeficiente da variável INV, para os anos de 1998 a 2009, não foi estatisticamente significativo, embora tenha apresentado sinal conforme o esperado. Esse resultado, embora refute a hipótese inicial do trabalho de que a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar no período considerado, contribuiu para o aumento da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, e confirmou os resultados de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre variedades e produtividade agrícola de cana-de-açúcar. Conforme analisado por Silva (2011), por exemplo, entre os anos de 1984 a 2010, embora muitas variedades de cana-de-açúcar tenham sido liberadas e plantadas, não foram observados ganhos na qualidade da matéria-prima expressa em pol da cana e kg de ATR por tonelada de cana. Para esse autor, as pequenas diferenças constatadas devem-se mais às condições climáticas do que a outros fatores, como o uso de novas variedades.

Da mesma forma, Demattê (2012) salienta que, apesar dos esforços feitos pelas instituições de pesquisa no período de 1984 a 2012, com introdução de novas variedades e novas tecnologias, bem como a ênfase na segurança varietal, não houve ganhos no período analisado, em termos de toneladas de pol por hectare e tonelada de cana por hectare. Para esse autor, o clima ainda é o principal fator que afeta a produtividade da cana. Considera ainda que a colheita mecanizada reduz a escolha de variedades, que existe a proliferação de doenças nas novas variedades e que as variedades da década de 1980 ainda são as melhores opções para as novas áreas de expansão da cana, com solos de baixa fertilidade e condições climáticas marginais. Portanto, para Silva (2011) e Demattê (2012), a “performance” das novas variedades tem ficado aquém das necessidades do setor, o qual passou por mudanças em suas práticas de manejo, principalmente com a colheita mecânica da cana crua. De fato, ao analisar o INV (Figura 2), observa-se uma diminui-

ção na taxa de adoção de novas variedades de cana-de-açúcar, nos canaviais das regiões do Estado de São Paulo no período estudado. Pode-se observar também que, nas regiões produtoras analisadas no ano de 2012, ainda existia uma baixa diversidade entre as variedades cultivadas em 50% da área plantada, as quais são, na maioria, variedades desenvolvidas na década de 1980, estando provavelmente ultrapassadas tecnologicamente e susceptíveis a pragas e doenças (Tabela 3).

Para Nyko et al. (2013), essa baixa taxa de adoção de novas variedades não é consequência da ausência de novas variedades, pois, segundo Braga Junior, Oliveira e Raizer (2011), foram liberadas no Brasil 207 variedades para uso comercial entre 1970 e 2010. Entre 1990 e 2010, 154 diferentes variedades de cana foram testadas e utilizadas pelos agentes produtivos do setor, considerando apenas as variedades que atingiram pelo menos 0,1% da área cultivada com cana segundo o censo varietal do CTC. Entretanto, a participação das variedades mais recentes ainda é muito baixa em relação às mais antigas, as quais dominam os canaviais paulistas.

Ainda, segundo Nyko et al. (2013), a crise de 2008 acarretou uma retração de crédito para as empresas do setor sucroenergético e, conseqüentemente, redução nos investimentos agrícolas, inclusive na renovação dos canaviais. As adversidades climáticas, como precipitação e temperatura desfavoráveis ao pleno desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorridas entre os anos de 2009 a 2012, e a intensificação do processo de mecanização da colheita, geraram efeitos deletérios para produtividade. Esse efeito de mecanização provavelmente será atenuado à medida que os produtores adquiram maior conhecimento e habilidade no manejo agrícola mecanizado (MILANEZ et al., 2012).

De fato, o efeito dos fatores climáticos e o estágio médio de corte foram as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar nos modelos estimados nesse trabalho. Nota-se, adicionalmente que, diferentemente da análise de Nyko et al. (2013), o modelo aqui estimado considera um período anterior ao ano de 2008 e, mesmo assim,

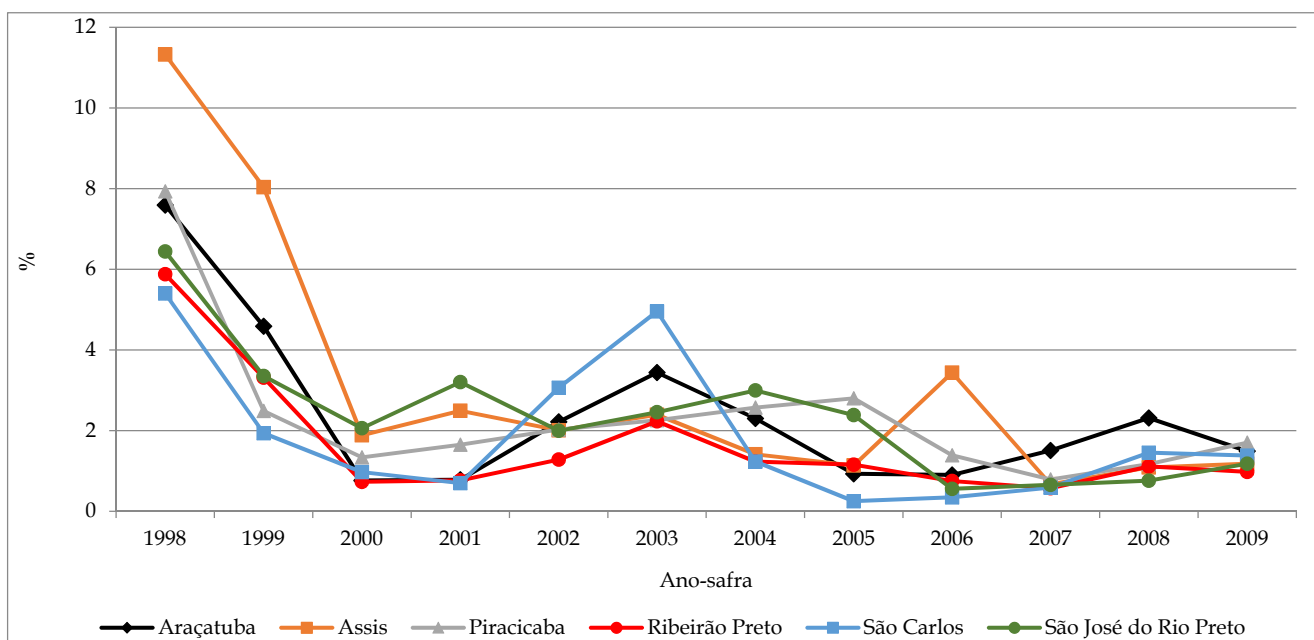


Figura 2 - Índice de Novidade Varietal, Regiões do Estado de São Paulo, 1998 a 2009.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do CTC (2013).

Tabela 3 - Variedades de Cana-de-açúcar que Ocupavam 50% da Área Cultivada em 2012 e seus Respetivos Anos de Lançamento, Regiões do Estado de São Paulo¹

Região	Variedades	Área cultivada (ha)	Ano lançamento	Part. % acumulada
Araçatuba	RB867515	246.766,91	1997	36,15
	SP813250	109.974,21	1995	52,25
Assis	RB867515	77.697,96	1997	20,39
	SP813250	33.668,74	1995	29,23
	RB855536	33.214,45	1998	37,95
	RB855453	27.638,74	1995	45,20
	SP832847	24.866,64	1999	51,73
Piracicaba	RB867515	138.360,49	1997	25,96
	SP813250	44.818,59	1995	34,37
	RB855156	43.477,99	1995	42,53
	SP801816	32.556,94	1997	48,64
	SP832847	29.716,60	1999	54,21
Ribeirão Preto	SP813250	129.488,31	1995	15,20
	RB867515	104.948,46	1997	27,51
	RB855453	82.112,15	1995	37,15
	RB855536	49.078,63	1998	42,91
	RB855156	48.489,60	1995	48,60
São Carlos	SP801816	43.552,82	1997	53,71
	RB867515	214.752,58	1997	26,03
	SP813250	158.905,79	1995	45,28
	RB855453	104.758,17	1995	57,98
São José do Rio Preto	RB867515	146.956,15	1997	28,01
	SP813250	52.973,09	1995	38,11
	SP832847	47.279,74	1999	47,12
	RB855156	40.301,70	1995	54,80

¹Os atuais híbridos recebem uma nomenclatura específica, em que normalmente é informado o país de origem e/ou instituição responsável pelo cruzamento e seleção, o ano de cruzamento ou seleção, e o número específico do clone, conforme exemplificado em Landell e Bressiani (2010). Por exemplo, o híbrido RB867515 tem como país de origem ou instituição responsável pela hibridação o programa de melhoramento genético RIDESA, cuja sigla é RB, ano de hibridação ou seleção é 1986 e os números 7515 representam o número do clone.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados do CTC (2013) e da COPERSUCAR (1995-1999).

não foi captada a influência da introdução de novas variedades sobre a produtividade agrícola. Portanto, esse resultado encontrado para o coeficiente do INV vai ao encontro da preocupação de alguns autores sobre a baixa adoção de novas variedades e o desempenho das novas variedades.

No modelo econométrico proposto não foi possível a inclusão da variável mecanização da colheita da cana por falta de disponibilidade de dados desagregados por região, embora a mecanização seja um fator relevante que interfere na produtividade da cana-de-açúcar. O maior tráfego na lavoura, causando maior pisoteamento e conseqüentemente compactação do solo, corte da base mais alto no colmo da cana-de-açúcar, onde se concentra muito açúcar, deixando no solo uma porção nobre da cana, são problemas advindos desse processo e que, provavelmente, interferem negativamente na produtividade da cana-de-açúcar. A mecanização agrícola evoluiu nos últimos anos, principalmente a partir do ano de 2007, com a assinatura do Protocolo Agroambiental. Segundo informações do CTC (2013), o aumento da colheita da cana crua em 2013 em relação ao ano de 2007 foi de 85% no Estado de São Paulo. Na safra agrícola paulista 2016/17, o índice de mecanização atingiu 90%, mais que o dobro, em pontos nominais, sobre uma área de corte de 5,6 milhões de hectares, em relação ao índice de mecanização de 40,7%, obtido na safra agrícola 2007/08 (FREDO; CASER, 2017).

Dada a importância da variável INV, foi utilizada ainda análise de sensibilidade na elaboração da mesma. Dessa forma, foram calculados INVs para $n=2$ e $n=3$, ou seja, a participação de variedades cultivadas no ano t que não eram cultivadas ou pouco cultivadas dois anos atrás, ou seja, $t-2$, $t-4$, $t-6$ e assim por diante. Da mesma forma, para $n=3$, considerando $t-3$, $t-6$, $t-9$ e assim por diante. O modelo estimado usando a variável INV a cada 2 anos apresentou resultados semelhantes aos apresentados na tabela 2 e, embora o coeficiente da variável preço da mão de obra tenha sido significativo nesse modelo (INV_2), optou-se por apresentar e discutir os resultados do modelo com a variável INV_1 ($n=1$), pois anualmente uma parte dos canaviais é renovada e acredita-se que essa variável

pudesse captar melhor o efeito desejado. Contudo esta variável, no modelo escolhido, não foi significativa (Tabela 2). O INV para $n=3$ (INV_3) não apresentou resultados satisfatórios.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicaram que as inovações biológicas na cana-de-açúcar, consideradas como a introdução de novas variedades dessa cultura, medida pela variável INV, não contribuíram para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo no período analisado (1998-2009). Embora tenha apresentado correlação positiva com a produtividade, o coeficiente estimado não foi estatisticamente significativo. De fato, o ritmo de adoção de novas variedades, durante os anos analisados, foi baixo conforme pode ser verificado pelo INV (Figura 2) e pela análise qualitativa do censo varietal, quando foi possível verificar que a maior parte da área plantada, com cana-de-açúcar nas regiões do Estado de São Paulo, foi cultivada com variedades desenvolvidas na década de 1980, defasadas tecnologicamente e susceptíveis à doenças e pragas. Um dos motivos encontrados para justificar esse resultado é que muitos produtores não investem em infraestrutura e não há planejamento dos canaviais com a renovação anual necessária, momento de substituir mudas por outras de melhor qualidade e que tem potencial genético mais produtivo se o manejo for adequado.

Os resultados encontrados, contudo, sugerem que uma análise mais detalhada a respeito das razões da não adoção das novas variedades seria necessária. As variáveis econômicas que influenciam a renovação dos canaviais foram consideradas, ou seja, tiveram seus efeitos controlados na explicação da produtividade. Nem assim, contudo, as novas variedades mostraram-se significativas na explicação da elevação da produtividade no período.

Conforme visto nos resultados desse trabalho, a variável que exerceu maior influência sobre a produtividade da cana-de-açúcar nesse período foram os fatores climáticos, representados pela produtivida-

de atingível, seguida pela idade do canavial, representada pela variável estágio médio de corte, bem como o preço da cana-de-açúcar e o preço da terra.

Segundo Carvalho e Furtado (2014), a adoção de novas variedades de cana-de-açúcar encontra barreiras relacionadas ao custo e a falta de planejamento pelo setor como, por exemplo, a identificação dos ambientes de produção, construção de viveiros e o uso de mudas de qualidade. Nesse sentido, o IAC lançou um projeto chamado de Projeto de Validação do Kit de Pré-Brotção do Sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB), que deverá ter impacto direto na qualidade dos canaviais paulistas. Esse projeto constitui-se em distribuir um *kit* de mudas pré-brotadas, composto de modernas variedades desenvolvidas pelo Centro Cana do IAC, somado a um conjunto de ferramentas e treinamento do produtor. Esse projeto tem dois: oferecer condições para que o pequeno produtor de cana retome a gestão do seu negócio, e diminuir o tempo de adoção de novas variedades desenvolvidas pela pesquisa (GOMES; DOMICIANO, 2015).

Entretanto, ficam aqui as recomendações para estudos posteriores. A primeira delas seria a estimação desse modelo para um período mais longo, pois segundo Carvalho e Furtado (2014) os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar vêm empreendendo esforços tecnológicos significativos nos últimos anos, ampliando infraestrutura com investimentos em modernização de laboratórios e introdução de novas tecnologias na área de biotecnologia, entre outros. Tais esforços podem estar colaborando para um aumento na adoção de novas variedades nesses últimos anos. A segunda seria uma análise mais específica, feita regionalmente, para avaliar os motivos que levam os produtores a decidirem entre adotar ou não novas variedades de cana-de-açúcar.

Espera-se assim que esse trabalho contribua ao tema, subsidiando políticas públicas para a difusão e adoção dessas novas tecnologias, em especial as inovações biológicas, dada a importância de investimentos em adoção de novas variedades de cana-de-açúcar, para que haja aumento da produtividade da cana-de-açúcar, visando atender o crescimento do consumo e das exportações de açúcar e etanol.

Segundo a FIESP (2013), de acordo com a política dos EUA e de outros países, coloca-se em prática o uso de etanol na matriz energética, e o *deficit* entre a oferta e a demanda mundial desse produto tende a manter o Brasil como seu principal fornecedor para os combustíveis renováveis, visto que o país é o detentor dessa tecnologia. No caso do açúcar, o consumo mundial se comporta quase de maneira independente das oscilações das economias e tende a seguir o crescimento dessa população.

LITERATURA CITADA

BALTAGI, B. H. *Econometric analysis of panel data*. 3. ed. Chichester: John Wiley, 2005. 302 p.

BAUM, C. E. Residual diagnostics for cross-section time series regression models. *Stata Journal*, Texas, Vol. 1, pp. 101-104, 2001. Disponível em: <<http://www.stata-journal.com/sjpdf.html?articlenum=st0004>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

BRAGA JUNIOR, R. L. C.; NARDY, V. Efeito do estágio médio de corte na produtividade dos canaviais da região centro-sul. *STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 18-19, mar./abr. 2014.

_____. OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, A. J. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos 20 anos. *STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 46-50, set./out. 2011.

BRENNAN, J. P. Measuring the contribution of new varieties to increasing wheat yields. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, Minnesota, Vol. 52, Issue 3, pp. 175-195, Dec. 1984. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/12281/1/52030175.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. *Microeconometrics: methods and applications*. New York: Cambridge University Press, 2005. 1034 p.

CARVALHO, S. A. D.; FURTADO, A. T. Os esforços tecnológicos para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 52., 2014, Goiânia. *Anais eletrônicos...* Brasília: SOBER, 2014. Disponível em: <<http://icongresso.itarget.com.br/useradm/anais/?clt=ser.4>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC. **Boletim Técnico**. Piracicaba: CTC, 2005-2012.

_____. **Censo varietal e de produtividade em 2011**. Piracicaba: CTC, 2013. Disponível em: <http://www.ctcana.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Cana-de-açúcar tem queda de 3,6% e fecha safra 2017/18 em 633,26 milhões de t**. Brasília: Conab, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. **Boletim Técnico**. Piracicaba: COPERSUCAR, 1995-1999.

DEMATTÊ, J. L. I. Variedades de cana estão devendo... **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, n. 141, p. 16-24, ago. 2012.

DRUKKER, D. M. Testing for serial correlation in linear panel-data models. **The Stata Journal**, Texas, Vol. 3, Issue 2, pp. 168-177, 2003. Disponível em: <<http://www.stata-journal.com/sjpdf.html?articlenum=st0039>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Outlook Fiesp 2023**: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: FIESP, 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/Estudo_Fiesp_MBagro.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Banco de dados**. Rome: FAOSTAT, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

FREDO, C. E.; CASER, D. V. Mecanização da colheita da cana-de-açúcar atinge 90% na safra 2016/17. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 1-6, jun. 2017.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G. S. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 39-51, abr./maio/jun. 2008.

GOMES, C.; DOMICIANO, F. Programa cana IAC tem ação inédita com pequenos produtores. **Informativo Programa Cana IAC**, Ribeirão Preto, v. 3, n. 9, abr./maio 2015. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana/page_flip/info_cana_mai_2015.php?pg=informativo>. Acesso em: 25 abr. 2015.

HAUSMAN, J. A. Specification test in econometrics. **Econo-**

metrica, Malden, Vol. 46, Issue 6, p. 1251-1271, Nov.1978.

HOFFMANN, H. P. et al. Contribuição de variedades melhoradas de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo nos últimos cinquenta anos. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1999. p. 49-53.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Banco de dados**. São Paulo: IEA, 2014. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>>. Acesso em: 14 fev. 2014.

JOAQUIM, A. C. O canavial do futuro. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 32, 2012. Disponível em: <<http://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/home/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2010, cap. 5, p. 101-155.

MARIN, F. R.; CARVALHO, G. L. Spatio-temporal variability of sugarcane yield efficiency in the state of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p. 149-156, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n2/v47n2a01.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2014.

_____. et al. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, London, Vol. 117, Issue 1-2, pp. 227-239, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-0120561-y>>. Acesso em: 10 out. 2014.

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cellular and Development Biology Plant**, Raleigh, Vol. 45, Issue 3, pp. 372-381, May/June 2009. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/20541039>>. Acesso em: 1 ago. 2013.

MILANEZ, A. Y. et al. O déficit da produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **Biocombustíveis**: BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 35, p. 277-302, 2012.

NYKO, D. et al. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **Bioenergia**: BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 37, p. 399-442, 2013.

ORGANIZAÇÃO DE PLANTADORES DE CANA-DE-AÇÚCAR DO CENTRO SUL DO BRASIL - ORPLANA. **Relatórios de Safra**. Piracicaba: ORPLANA, 1998-2009.

RAIZER, A. J.; BRAGA JUNIOR, R. L. C.; SELEGATO, S. M. Índices de eficiência no uso de variedades de cana-de-açúcar. **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, ano 12, n. 151-152, p. 25-29, jul./ago. 2013.

SATOLO, L. F.; BACCHI, M. R. P. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 3, p. 377-397, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502009000300002>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

SILVA, G. M. A. Evolução da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar no período de 1984-2010. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 26-28, jan./fev. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Estatísticas**. São Paulo: ÚNICA, 2018. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. **Banco de dados**. Araçatuba: UDOP, 2013. Disponível em: <<http://www.udop.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. London: MIT Press, 2002. 735 p.

_____. **Introductory econometrics: a modern approach**. 5. ed. Michigan: Cengage Language, 2012. 882 p.

Recebido em 10/09/2017. Liberado para publicação em 19/09/2018.