

# Distribuição espacial da produtividade de cana-de-açúcar no Brasil<sup>1</sup>

Roberta Vedana<sup>2</sup>

Karla Cristina Tyskowski Teodoro Rodrigues<sup>3</sup>

José Luiz Parré<sup>4</sup>

Pery Francisco Assis Shikida<sup>5</sup>

**Resumo** – Este trabalho analisou a distribuição espacial da produtividade da cana-de-açúcar nas mesorregiões do Brasil em 2006 e 2017, períodos também de censos agropecuários. Foi adotada a análise exploratória de dados espaciais (Aede), que indicou a presença de autocorrelação espacial da quantidade produzida de cana-de-açúcar entre as mesorregiões. Os mapas de significância Lisa e de clusters exibem diferenças entre 2006 e 2017, o que indica alteração da distribuição espacial da cana-de-açúcar de um censo para o outro. Por meio dos mapas, foi possível observar a formação de um corredor de produção a partir da expansão canavieira para regiões não tradicionais dentro do bioma Cerrado e uma redução de produtividade em algumas mesorregiões do Centro-Sul. Essa queda, que atingiu principalmente Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo, está relacionada com a crise conjuntural que afeta o setor desde 2008.

**Palavras-chave:** análise exploratória de dados espaciais, censo agropecuário, rendimento agrícola.

## Spatial distribution of sugarcane productivity in Brazil

**Abstract** – This article aimed to analyze the spatial distribution of sugarcane productivity in Brazilian mesoregions in 2006 and 2017, the period available in Agricultural Census. In order to reach the proposed objective, we used the Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) tools, which indicated the existence of spatial autocorrelation related to the quantity of sugarcane produced in these mesoregions. The significance maps of Local Indicators of Spatial Autocorrelation (LISA) and Clusters shows transformations in the analyzed periods indicating a shift in the spatial distribution of sugarcane from one census to another. Through the maps, it was possible to realize the formation of a new production area from the expansion of sugarcane to non-traditional regions within the Cerrado Biome, and a reduction of productivity in some mesoregions of the Center-South. This reduction in the performance, which mainly affected the states of Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás and São Paulo, is related to the conjunctural crisis that had affected the sector since 2008.

**Keywords:** exploratory spatial data analysis, agricultural census, agricultural yield.

<sup>1</sup> Original recebido em 11/4/2019 e aprovado em 12/9/2019.

<sup>2</sup> Mestre em Economia. E-mail: robertavedana@hotmail.com

<sup>3</sup> Doutoranda em Desenvolvimento Regional e Agronegócio. E-mail: karlatyskowski@gmail.com

<sup>4</sup> Doutor em Economia Aplicada, bolsista de Produtividade CNPq. E-mail: jlparre@gmail.com

<sup>5</sup> Doutor em Economia Aplicada, professor associado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: peryshikida@hotmail.com

## Introdução

Um dos segmentos mais importantes do agronegócio nacional, o setor sucroalcooleiro observou significativa expansão da produção de cana-de-açúcar a partir da segunda metade da década de 2000. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019a, 2019b) e da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica, 2019), a área de cana-de-açúcar colhida em hectare, de 2006 a 2017, experimentou incremento de mais de 43%, enquanto a produção em toneladas cresceu 59%.

Esse aumento da produção, de modo geral, ocorreu, muito mais de forma extensiva, pela expansão de novas áreas de cultivo do que de forma intensiva, por meio da elevação do rendimento por hectare. Vale citar a queda comparativa de produtividade: de 74,6 t/ha em 2005–2006 para 72,02 t/ha em 2016–2017 (Brasil, 2007; Acompanhamento..., 2017; IBGE, 2019a, 2019b).

Principal região de expansão do agronegócio brasileiro, o Centro-Oeste tem ganhado relevância no setor sucroalcooleiro. Na safra 2010–2011, consolidou-se como a segunda maior região em área colhida de cana-de-açúcar, aumentando a diferença percentual para as demais regiões a cada nova safra. Na safra 2016–2017, foi responsável por 20% da área colhida, sendo Goiás o segundo maior estado nesse quesito, o que corresponde a 10,6% da área total cultivada no Brasil (Acompanhamento..., 2017; Unica, 2019).

Foi objetivo deste estudo analisar a alteração da distribuição espacial da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil, em 2006 e 2017, anos de realização dos censos agropecuários.

## Dinâmica da expansão da cana-de-açúcar no Brasil

O primeiro grande incentivo à produção canavieira, motivado pela necessidade de uma solução para o gargalo energético causado pela crise do petróleo (1973), ocorreu em 1975 com

a implantação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool). Esse Programa disponibilizou crédito para a construção de destilarias autônomas e para a ampliação de destilarias anexas às usinas existentes, além de ter possibilitado a expansão, principalmente para áreas produtivas de cana-de-açúcar do Centro-Sul (Ruas et al., 2014; Shikida, 2014).

Segundo Szmrecsányi & Moreira (1991), o Proálcool resultou na consolidação do mercado de etanol no Brasil, na consolidação do Estado de São Paulo como o maior produtor de etanol do País e na alteração geográfica da produção canavieira. Shikida (1997), ao apresentar os estados que mais atraíram investimentos do Proálcool, destaca aqueles pertencentes às regiões não tradicionais na produção de cana-de-açúcar: Goiás (7,2%), Mato Grosso (3,2%) e Mato Grosso do Sul (2,5%). O crescimento da produção no Centro-Oeste, como afirma o autor, ocorreu de forma mais significativa na fase “acelerada” do Proálcool, na década de 1980.

Em meados dessa mesma década, a retirada gradual dos investimentos públicos do programa culminou com o processo de desregulamentação do setor e arrefecimento da produção e do consumo de álcool, muito por causa da redução dos preços do petróleo ao patamar anterior aos dos choques dessa commodity. O processo de desregulamentação, iniciado em 1990, foi o grande responsável por modificar a antiga configuração do setor, caracterizada pela intervenção estatal, para um regime mais próximo do livre mercado. A extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1990, foi o marco do início desse processo, que Shikida (2014) denominou de mudança do “paradigma subvencionista” para o “paradigma tecnológico”. Alves (2002) destaca que esse processo foi sinalizado pelo fim do tabelamento dos preços do setor, iniciado em 1994, para as exportações de açúcar; em 1997, para o preço do etanol anidro; no ano seguinte, em 1998, para os preços da cana-de-açúcar e, por fim, em 1999, com a liberação do preço do etanol hidratado.

O período de 1996 a 2003 é descrito por Vian (2003) como de recrudescimento da desregulamentação na agroindústria canavieira. A confluência de fatores internos e externos influenciou diretamente a redução do financiamento estatal do setor. Entre os fatores internos, citam-se a crise das contas públicas e as políticas para o combate à inflação; entre os externos, a oscilação dos preços do petróleo, o consequente aumento do consumo de gasolina e a instabilidade das exportações de açúcar.

Esse contexto contribuiu para que a atividade sucroenergética permanecesse, conforme Moraes & Bacchi (2015), “adormecido” até 2003. Os autores evidenciam que, nesse período de “dormência”, a produção de etanol hidratado foi destinada principalmente para o atendimento da frota de veículos a álcool formada na década de 1980 e no início da década de 1990. Cumpre ressaltar que o número de licenciamentos de veículos leves movidos a etanol, de 1996 a 2001, foi menor do que 1% (Anfavea, 2019).

A partir de 2003, o setor experimentou um grande dinamismo, tanto no mercado nacional quanto internacional, causado pelo protagonismo dos seus dois principais produtos: o açúcar e o álcool. Esse dinamismo pode ser atribuído à evolução dos preços das commodities agrícolas, que, ao mesmo tempo, impulsionou as exportações dos principais produtos da cana-de-açúcar e, no mesmo sentido, provocou a elevação dos preços do petróleo que, aliada ao lançamento dos carros *flex-fuel*, ensejaram o crescimento da demanda interna por etanol hidratado (Moraes & Bacchi, 2015).

Contudo, a introdução da tecnologia *flex-fuel*, por permitir o uso de gasolina ou etanol, conforme os preços desses combustíveis, à escolha do motorista, foi a grande responsável pelo aumento da produção canavieira, por meio da ampliação das áreas cultivadas no Centro-Oeste, até então pouco exploradas, pois eram relativamente distantes dos centros consumidores e possuíam menos aptidão para a cultura da cana do que as regiões tradicionais. Essa região representou a principal fronteira de expansão

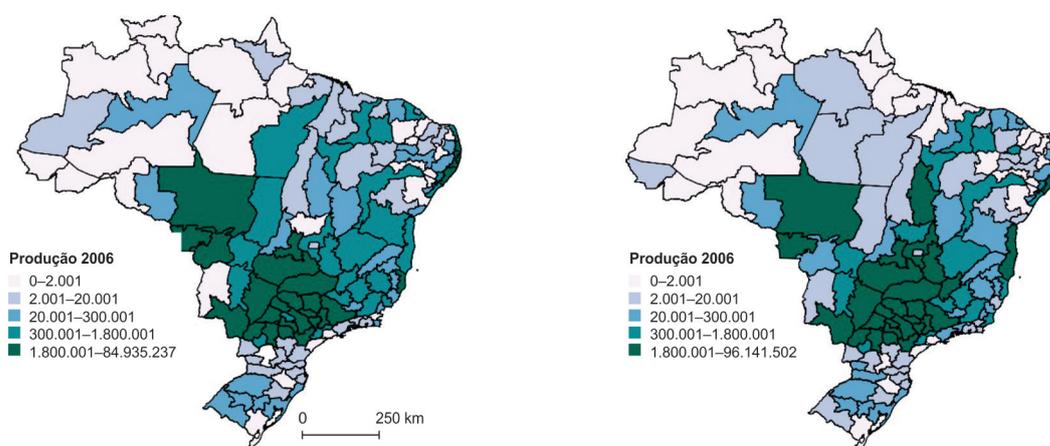
para a canavieira desde o lançamento dos carros *flex* (Moraes & Bacchi, 2015).

Castro et al. (2010) argumentam que o modelo de expansão adotado pelas usinas e fornecedoras de cana-de-açúcar, nas novas áreas agricultáveis do Centro-Oeste, foi a compra e o arrendamento de terras, em que a distância entre a área colhida e a usina exibisse uma relação custo-benefício logístico vantajosa.

A evolução recente da produção de cana-de-açúcar no Centro-Oeste indica a tendência de expansão da agroindústria canavieira para as regiões que, além de próximas às áreas produtoras tradicionais (notadamente, São Paulo), oferecem condições edafoclimáticas favoráveis à cultura. Nesse sentido, a alteração do mapa de produção da cana-de-açúcar, a partir da tecnologia *flex*, demonstra a formação de uma nova fronteira agrícola dentro do cerrado brasileiro, com expansão também para parte da região do Norte-Nordeste conhecida como Matopiba – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. O Matopiba começou a ser explorado para o agronegócio na década de 1980, mas a expansão das atividades agrícolas ocorreu mais intensamente a partir de meados da década de 2000 com o surgimento de enormes fazendas de monoculturas mecanizadas (Bioetanol..., 2008; Shikida, 2013; Mathias, 2017).

Apesar de carecer de infraestrutura, o Matopiba possibilitou a criação de um importante eixo entre as áreas produtoras de cana-de-açúcar e tem crescido por meio da substituição de pastagens e do plantio de soja, que, há algum tempo, já havia tomado o lugar do Cerrado (Bioetanol..., 2008). A Figura 1 mostra a distribuição espacial da área colhida com cana-de-açúcar em 2006 e 2017.

Os dados de produção disponibilizados pela Unica (2019) mostram que o Sudeste, além de exibir o maior crescimento da produção de cana-de-açúcar do Brasil, depois de 2003 continua sendo o principal produtor, puxado pelo Estado de São Paulo. O Nordeste foi superado pelo Centro-Oeste na safra 2009–2010, com



**Figura 1.** Área colhida (ha) com cana-de-açúcar nas mesorregiões brasileiras em 2006 e 2017.

Fonte: elaborado com dados do IBGE (2019a, 2019b).

participações de 9,8% e 12,8%, respectivamente. Destaca-se, assim, a ascensão do Centro-Oeste na atividade produtiva canavieira: na safra 2006–2007, sua participação foi de 9,6%; na safra 2016–2017, 20,6%. O Matopiba exibiu expressivo crescimento da produção de cana-de-açúcar da safra 2006–2007 (4,8 t) para a de 2016–2017 (7,05 t).

### Aspectos da expansão da cultura canavieira no Brasil: estudos empíricos

Os trabalhos de Gonçalves (2009), Castro et al. (2010), Shikida (2013), Santos et al., (2015) e Abreu & Nascimento (2016), entre outros, trazem uma contribuição teórica a respeito da expansão da produção canavieira.

Gonçalves (2009) discutiu alguns dos efeitos da recente expansão da cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do País, de 2000 a 2008, usando dados censitários disponibilizados pela Conab<sup>6</sup> e pelo IBGE. Castro et al. (2010) estudaram a expansão das áreas de monocultura da cana-de-açúcar, intensificada a partir de 2007, direcionada para o Cerrado e para Goiás. Shikida (2013) analisou a expansão canavieira no Centro-Oeste. Seus principais resultados mos-

tram que a expansão foi motivada pela busca do binômio segurança alimentar (com o açúcar) e energia sustentável (com o etanol).

No âmbito das inovações tecnológicas, – notadamente a introdução dos veículos *flex-fuel* no mercado automotivo, em 2003 – que potencializaram a expansão das áreas, houve também momentos de crise. Sobre isso, Santos et al. (2015) salientam que era natural esperar uma ampliação dos investimentos no setor, com o boom do mercado de etanol, depois da euforia de 2003. Contudo, nem todos os investimentos feitos nessa atividade tinham maturidade e expertise necessárias a um segmento caracteristicamente de oligopólio competitivo. Houve também fatores negativos: o controle artificial, da parte do governo, sobre o preço da gasolina para conter a inflação, contribuindo assim para tornar o etanol menos competitivo; a crise internacional de 2008, que veio tolher os créditos do setor agrícola de modo geral – a agroindústria canavieira não foi exceção; e condições climáticas adversas, para piorar, afetaram a cultura canavieira no País.

Com base em mapas temáticos de solo, declividade e pluviosidade, Abreu & Nascimento (2016) concluíram que o Tocantins possui carac-

<sup>6</sup> Companhia Nacional de Abastecimento.

terísticas adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar e que os investimentos em tecnologias para melhoria do solo resultaram no aumento da produtividade.

Com relação aos estudos empíricos destacam-se Shikida et al. (2011), Satolo & Bacchi (2013), Bacchi & Caldarelli (2015) e Munhoz (2017).

Shikida et al. (2011) analisaram as capacidades tecnológicas da agroindústria canavieira brasileira para São Paulo, Paraná e Minas Gerais, mediante dados primários coletados nas usinas e destilarias. Como resultado, as agroindústrias canavieiras, tecnicamente qualificadas e com baixos custos, exibiram expressivo domínio das capacidades tecnológicas básica e intermediária. Porém, em termos da capacidade tecnológica avançada, que é a tecnologia de ponta de um setor, ainda há espaço para avançar.

Satolo & Bacchi (2013) avaliaram os impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético nos municípios de São Paulo em 2000–2008. Usaram o Método Generalizado de Momentos em Sistema (GMM-SYS), e os resultados indicaram relação de dependência espacial e temporal positiva no Produto Interno Bruto (PIB) real per capita. Os efeitos estimados, diretos e indiretos, mostraram o impacto positivo que a expansão da agroindústria canavieira provocou sobre o nível médio da renda per capita nos municípios.

Adotando o mesmo método de Satolo & Bacchi (2013), Bacchi & Caldarelli (2015) identificaram os impactos socioeconômicos do crescimento econômico do setor sucroenergético no Estado de São Paulo para 2005–2009. Os resultados evidenciaram a existência de relação de dependência espacial e temporal no PIB real per capita dos municípios paulistas, corroborando os resultados de Satolo & Bacchi (2013).

Munhoz (2017), com base no modelo Spatial Durbin Model (SDM), analisou a relação espacial entre os municípios de Mato Grosso do Sul na evolução de indicadores econômicos, considerando a renda gerada pela produção

da cana-de-açúcar, com enfoque na região da Grande Dourados. Os resultados sugerem que cada município influencia e é influenciado pelos demais e que a distância física entre as unidades espaciais impacta pouco no contexto regional. Além disso, a instalação de uma usina em um município gera *spillovers* nos municípios vizinhos.

## Metodologia

### Análise exploratória de dados espaciais

A análise exploratória de dados espaciais (Aede) consiste num conjunto de técnicas que possibilita a análise estatística de dados geográficos. É aplicada para descobrir se existem padrões de associação espacial e para propor clusters espaciais, identificar informações espaciais divergentes e permitir a formulação de hipóteses a respeito de determinadas regiões, tanto em âmbito global quanto local, estabelecendo a menor estrutura possível (Almeida, 2012).

Almeida (2012) enfatiza também que essa análise é mais adequada para variáveis espacialmente densas ou intensivas, ou seja, variáveis divididas por um indicador de intensidade. Segundo o autor, é possível encontrar diversos indicadores de intensidade na literatura: variáveis per capita, por trabalho ou capital e por área são exemplos.

Na Aede, inicialmente testa-se a hipótese de distribuição aleatória das informações espaciais. Não obstante, espera-se que variáveis espaciais aleatórias não possuam dependência em relação a seus vizinhos (Almeida, 2012). Almeida et al. (2008) afirmam que a Aede permite a verificação das medidas de autocorrelação espacial global e local. Anselin & Bera (1998) definem a autocorrelação espacial como a relação de similaridade entre variáveis e a localização geográfica. Essa relação também é conhecida como dependência espacial. O teste indicado

para medir a correlação espacial é o *I* de Moran, desenvolvido em 1948 por Patrick A. P. Moran:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

A equação 1 é escrita matricialmente como

$$I = (n/S_0)(z'Wz/z'z) \quad (2)$$

em que *n* é o número de unidades espaciais, *z* é a variável de interesse padronizada, e *Wz* representa os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, definidos segundo uma matriz de ponderação espacial *W*. O elemento *w<sub>ij</sub>*, representa o peso espacial para o par de unidades espaciais *i* e *j*, medindo o grau de interação entre elas.

De modo geral, o índice de Moran tem como hipótese nula a independência espacial, com valor esperado zero. Valores positivos (entre 0 e +1) indicam correlação direta. Nesse caso, o valor do atributo exibe similaridade com a localização espacial. Valores negativos (entre 0 e -1) indicam correlação inversa, revelando dissimilaridade entre os valores do atributo e a localização espacial (Câmara et al., 2004).

A especificação operacional do conjunto de vizinhança, para cada observação, é feita por meio de uma matriz de pesos espaciais (Anselin & Bera, 1998). Baseada na contiguidade, a ma-

triz de pesos espaciais é sinônimo da matriz de contiguidade (Almeida, 2012).

Entre as convenções utilizadas na literatura para determinar as matrizes de pesos espaciais, destacam-se a rainha e a torre. Adota-se a convenção rainha (queen) se, “além das fronteiras com extensão diferente de zero, puderem ser considerados os vértices como contíguos, na visualização de um mapa”; ou a convenção torre (rook), se “apenas as fronteiras físicas com extensão diferente de zero entre as regiões sejam levadas em conta” (Almeida, 2012, p.77). A Figura 2 mostra as convenções para a matriz binária de pesos espaciais.

Almeida (2012) evidencia os três tipos de informação fornecidos pelo *I* de Moran: a) o nível de significância indica se os dados estão aleatoriamente distribuídos; b) se significativo, o sinal positivo da estatística *I* de Moran mostra que os dados estão concentrados em regiões (clusters) – o sinal negativo mostra a dispersão dos dados; e c) quanto mais próximo de 1 for o valor do *I* de Moran, mais forte é a correlação – e quanto mais próximo de -1, mais dispersos estão os dados.

Uma maneira adicional de visualizar a dependência ou autocorrelação espacial é por meio do diagrama de dispersão de Moran. Plotado com base nos dados normalizados, o diagrama permite que se analise o comportamento da variável no espaço (Câmara et al., 2004). O diagrama de dispersão de Moran, de acordo com Diniz (2013), possibilita também identificar quatro tipos de

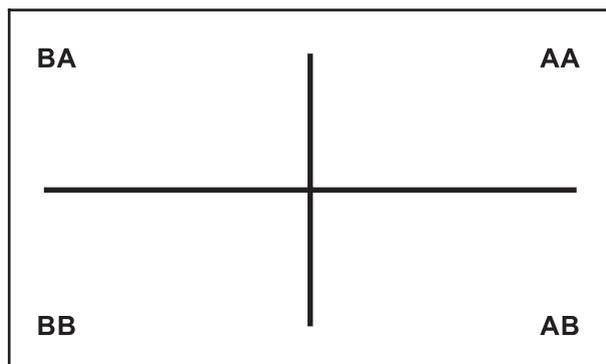
	B	C	D	
	E	A	F	
	G	H	I	

		B		
	E	A	C	
		D		

**Figura 2.** Convenções de contiguidade rainha e torre.

Fonte: Almeida (2012).

associação linear espacial: Alto-Alto (AA); Baixo-Baixo (BB); Alto-Baixo (AB); e Baixo-Alto (BA) – Figura 3.



**Figura 3.** Diagrama de dispersão de Moran.

Fonte: Almeida (2012).

No primeiro quadrante, está representado o AA. As unidades espaciais concentradas nesse quadrante exibem variáveis de interesse com valores altos (acima da média) e estão circundadas por regiões que também apresentam valores altos.

O segundo quadrante, BA, agrupa as regiões de baixo valor da variável de interesse, mas que são rodeadas por regiões que exibem alto valor da mesma variável. As regiões representadas no terceiro quadrante, BB, referem-se a um agrupamento de associação espacial com variáveis de interesse que apresentam baixos valores (ou abaixo da média) e que estão circundadas por regiões que também exibem baixos valores. O quarto quadrante, AB, agrupa regiões com alto valor da variável de interesse, mas que são rodeadas por regiões vizinhas com baixo valor da variável (Almeida, 2012). Vale lembrar que é possível construir também um diagrama de dispersão de Moran multivariado.

Almeida (2012) alerta para que não se confie somente em estatísticas globais, pois elas podem esconder padrões locais de associação espacial linear. Tais padrões locais podem ser identificados por meio da estatística Lisa, do inglês Local Indicators of Spatial Association. Desde que significativos, os resultados podem

ser representados em um mapa de Lisa. Contudo, um indicador Lisa deve satisfazer, segundo Anselin (1995), dois critérios: a) capacidade de indicar clusters espaciais estatisticamente significativos para cada observação; e b) o somatório dos indicadores locais, para todas as regiões, deve ser proporcional ao indicador de autocorrelação global. O índice de Moran Local faz uma decomposição do índice global.

O indicador Lisa pode ser representado por

$$I_i = \{(y_i - \bar{y})\sum_j w_{ij}(y_j - \bar{y}) / [\sum_i (y_i - \bar{y})^2/n]\} \quad (3)$$

sendo  $y_i$  a variável de interesse na região  $i$  para o ano  $t$ ,  $\bar{y}$  a média das observações entre as regiões para o ano  $t$ , no qual o somatório em relação à  $j$  é tal que somente os valores vizinhos de  $j$  são incluídos. A hipótese nula da estatística Lisa é, segundo Anselin (1995), a ausência de associação espacial local.

### Fonte de dados

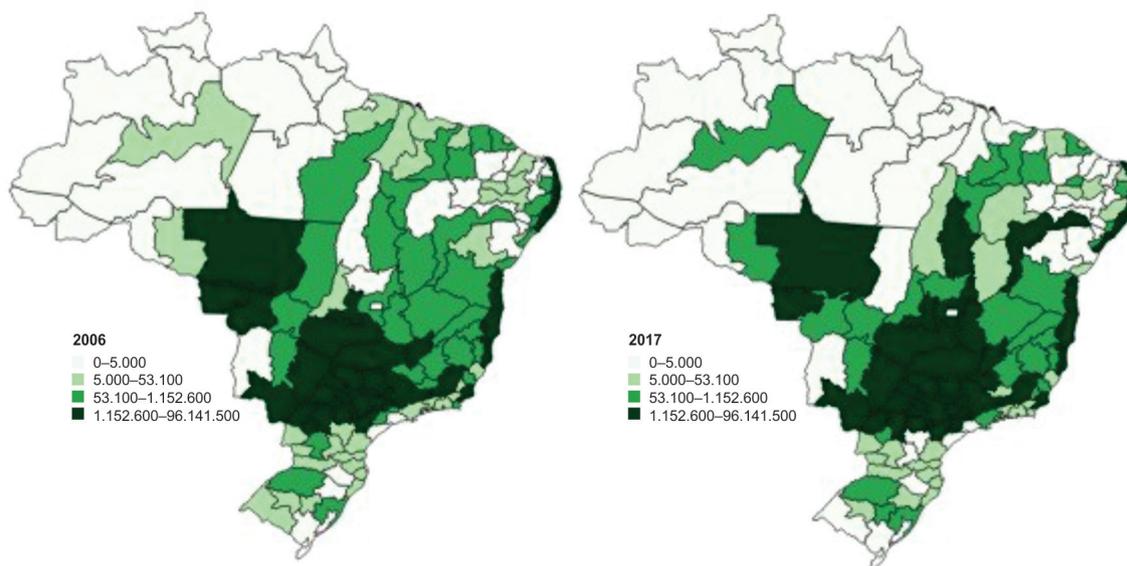
Os dados utilizados neste trabalho são dos censos agropecuários de 2006 e 2017, disponibilizados pelo IBGE (2019a, 2019b). Os dados são referentes à área colhida, em hectares, e à produção de cana-de-açúcar, em toneladas, para cada um dos anos, nas 137 mesorregiões do Brasil. O indicador de produtividade possibilita comparações entre os censos e é definido por

*Indicador de produtividade = Produção total de cana-de-açúcar (t) / Área colhida total (ha).*

## Resultados e discussão

### Resultados da Aede

Buscou-se apresentar, por meio de mapas, a distribuição da produtividade de cana-de-açúcar nas 137 mesorregiões brasileiras, em 2006 e 2017, anos de censo agropecuário (Figura 4). A cor mais escura denota as mesorregiões de alta produtividade. O Centro-Sul, além de ser o



**Figura 4.** Mapas de produtividade (t/ha) da cana-de-açúcar nas mesorregiões brasileiras em 2006 e 2017.

Fonte: elaborado com dados do IBGE (2019a, 2019b).

maior produtor, é o que se destaca em produtividade, em ambos os períodos.

Com efeito, observa-se alguma mudança no mapa de produtividade das mesorregiões brasileiras. Essa alteração tem relação com a heterogeneidade espacial da produtividade da cana-de-açúcar, ocasionada por diferenças climáticas, de solo, disponibilidade hídrica, por questões estruturais, de incentivos governamentais e por diferenças de uso da matéria-prima cana-de-açúcar.

As mesorregiões mais intensivas na produtividade estão no Centro-Sul, especialmente no Estado de São Paulo, e no Nordeste (Tabela 1). Com efeito, isso ocorre porque essas mesorregiões são aquelas que destinam a maior parte da cana-de-açúcar para o processamento do setor industrial – transformação em açúcar e álcool, em larga escala. As demais mesorregiões, localizadas sobretudo no Norte, em algumas partes do Nordeste e do extremo Sul, destinam sua produção principalmente para cultivos artesanais, direcionados ao consumo local (cachaça, doces e trato animal, por exemplo).

O Vale do São-Franciscano da Bahia, Itapetininga, São José do Rio Preto, Campinas e

Ribeirão Preto, além de manterem a produtividade acima da média brasileira, permaneceram entre as dez maiores produtividades do País para 2006 e 2017. Nota-se também que a produtividade tem se intensificado em algumas mesorregiões do Tocantins, Maranhão e Piauí, formando uma espécie de “corredor” entre o Centro-Sul e o Norte-Nordeste.

Para relacionar a produtividade da cana-de-açúcar e sua distribuição espacial, torna-se necessário o emprego da Aede, e sua aplicação exige o uso de uma matriz de pesos espaciais ( $W$ ). Neste estudo, o critério de contiguidade adotado foi a convenção do tipo rainha e dos vizinhos de primeira ordem.

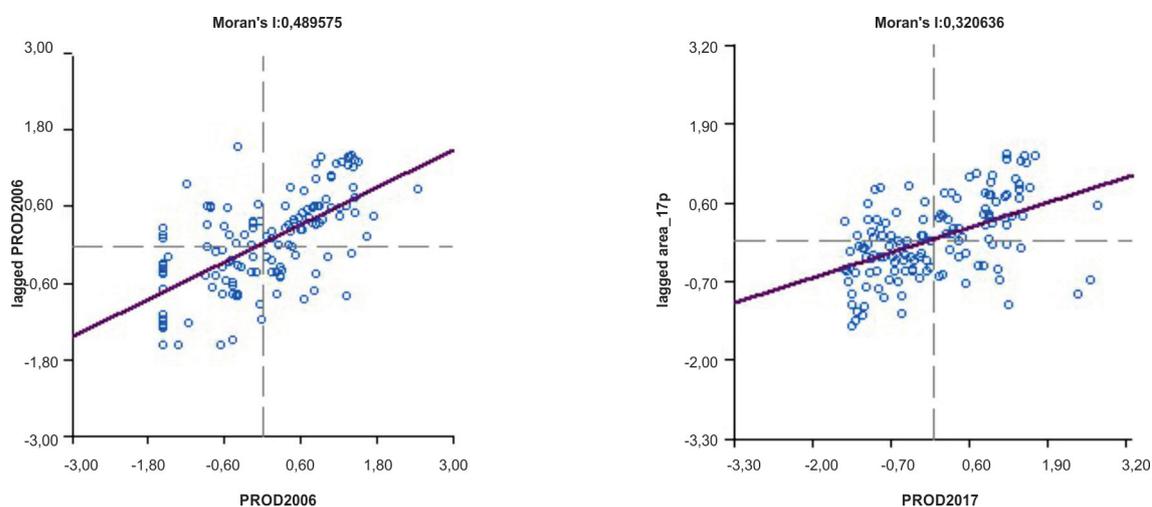
Para a análise de autocorrelação espacial, foi feito, inicialmente, o cálculo do  $I$  de Moran para a produtividade da cana-de-açúcar das mesorregiões brasileiras. A Figura 5 mostra o diagrama de dispersão de Moran para 2006 e 2017. No eixo vertical, observa-se a defasagem espacial da variável de interesse; no horizontal, está o valor da variável de interesse que corresponde à produtividade da cana-de-açúcar.

A Figura 5 mostra a existência de autocorrelação espacial positiva da produtividade

**Tabela 1.** As dez mesorregiões brasileiras com as maiores e menores produtividades em 2006 e 2017.

Mesorregiões com as maiores produtividades em 2006	Produtividade (t/ha)	Mesorregiões com as maiores produtividades em 2017	Produtividade (t/ha)
Centro Ocidental Paranaense, PR	91,83	Vale do Paraíba Paulista, SP	108,8
Sudoeste de Mato Grosso do Sul, MS	87,43	Metropolitana de São Paulo, SP	100
Itapetininga, SP	86,41	Vale São-Franciscano da Bahia, BA	99,41
Campinas, SP	85,83	Itapetininga, SP	85,4
Norte Pioneiro Paranaense, PR	85,32	Centro Oriental Paranaense, PR	84,31
São José do Rio Preto, SP	84,70	São José do Rio Preto, SP	83,2
Araçatuba, SP	84,22	Distrito Federal, DF	83
Ribeirão Preto, SP	84,12	Campinas, SP	82,8
Vale São-Franciscano da Bahia, BA	83,58	Leste Goiano, GO	82,09
Presidente Prudente, SP	82,65	Ribeirão Preto, SP	81,86
Mesorregiões com as menores produtividades em 2006	Produtividade (t/ha)	Mesorregiões com as menores produtividades em 2017	Produtividade (t/ha)
Baixo Amazonas, PA	26,13	Extremo Oeste Baiano, BA	23,59
São Francisco Pernambucano, PE	23,86	Nordeste Mato-grossense, MT	22,08
Marajó, PA	23,38	Sul de Roraima, RR	21,15
Centro Oriental Rio-grandense, RS	23,15	Sertões Cearenses, CE	21,13
Serrana, SC	20,37	Oeste Potiguar, RN	20,4
Sudeste Rio-grandense, RS	18	Marajó, PA	20
Sudoeste Amazonense, AM	17,37	Sertão Pernambucano, PE	16
Sudoeste Paraense, PA	6,39	Nordeste Baiano, BA	12,25
Norte de Roraima, RR	2,72	Vale do Acre, AC	5,74
Sul de Roraima, RR	2,09	Norte de Roraima, RR	4,68

Fonte: elaborado com dados do IBGE (2019a, 2019b).



**Figura 5.** Diagrama de dispersão da produtividade da cana-de-açúcar para 2006 e 2017.

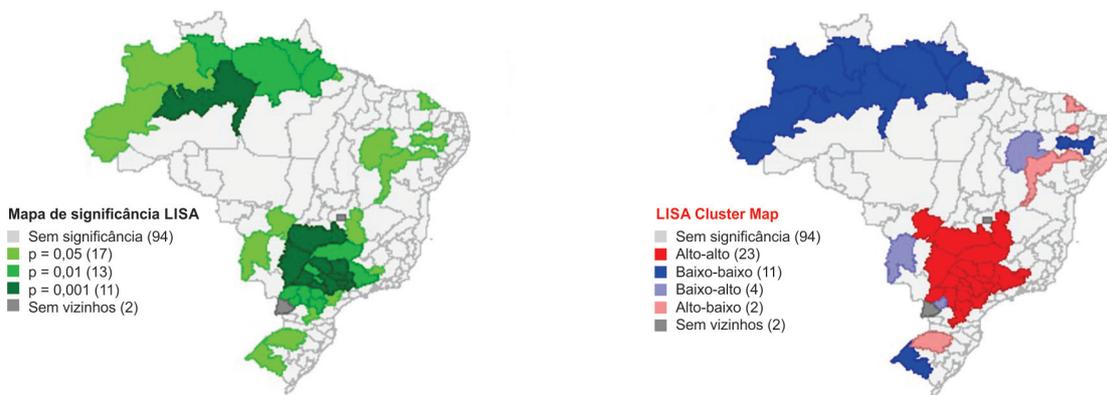
Fonte: elaborado com dados do IBGE (2019a, 2019b).

da cana-de-açúcar, indicando relação espacial entre as mesorregiões. Os valores da produtividade das mesorregiões se agrupam, mais expressivamente, no primeiro e terceiro quadrantes, em ambos os gráficos. Desse modo, tem-se, em média, que localidades com alta produtividade são vizinhas daquelas também com alta produtividade; do mesmo modo, localidades com baixa produtividade são vizinhas daquelas também com baixa produtividade. Shikida et al. (2011) já haviam apontado, por meio de uma análise de capacidades tecnológicas, a influência que um determinado cluster de agroindústrias canavieiras avançadas exerce sobre outros.

A disparidade regional, quanto à produtividade da cana-de-açúcar, pode ser observada

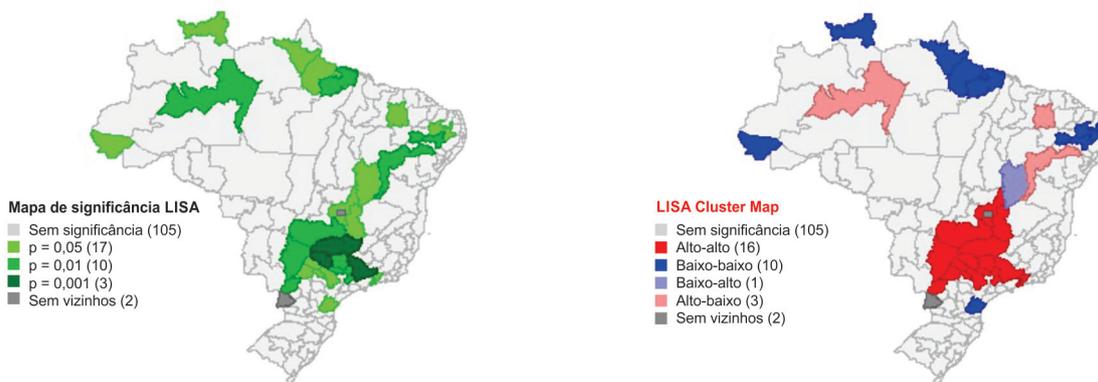
por meio da análise do mapa de significância Lisa e de cluster para 2006 (Figura 6). Notam-se dois grandes clusters: um BB, no Norte, e outro AA, no Centro-Sul. Nas mesorregiões dos estados que abrangem o recente avanço da cultura canavieira, observam-se duas mesorregiões para o nível de 5% de significância, uma delas cercada por vizinhos BA e a outra, por vizinhos AB.

A Figura 7 mostra os mapas de significância Lisa e de Cluster para 2017. Nota-se a redução do cluster BB da região Norte e a permanência do cluster AA no Centro-Sul. Esse resultado evidencia o fato de as mesorregiões do Centro-Sul – por serem as maiores produtoras do País e concentrarem o maior número de usinas – influenciarem a produtividade uma das outras.



**Figura 6.** Mapa Lisa e de cluster de produtividade da cana-de-açúcar nas mesorregiões brasileiras em 2006.

Fonte: elaborado com dados do IBGE (2019a).



**Figura 7.** Mapa Lisa e de cluster de produtividade da cana-de-açúcar nas mesorregiões brasileiras em 2017.

Fonte: elaborado com base nos dados do IBGE (2019b).

Apesar da concentração da produção e dos altos níveis de produtividade no Centro-Sul, percebe-se leve mudança no cluster AA. A redução da produtividade exerceu maior impacto nos principais estados produtores dessa região: Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo, com quedas de 15,4%, 9,8%, 5,5% e 4,3%, respectivamente. No Paraná, estado de maior queda para o período, as produtividades das mesorregiões Norte Pioneiro, Noroeste e Norte Central caíram 32,23%, 20,8% e 8,25%, respectivamente, de 2006 para 2017, deixando de fazer parte desse cluster.

Essa redução de produtividade está atrelada à crise vivenciada pelo setor sucroenergético a partir de 2008. Santos et al. (2015) mencionaram que houve um aporte de capital elevado para a ampliação das unidades produtivas, motivada pelas expectativas favoráveis no mercado do etanol antes de 2008. Entretanto, cenários adversos, como a crise financeira mundial, a contenção de preços da gasolina e quebras de safras, afetaram negativamente as expectativas do segmento, com queda no número de usinas – de 418 em 2008 para 381 em 2017. Em 2019, o número de usinas cadastradas no Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (Sapcana) do Mapa, caiu para 376 (Brasil, 2019).

Outra questão interessante a ser destacada é a expansão da canavieira para regiões não tradicionais, dentro do bioma Cerrado, conforme a Figura 4, que mostra a mudança da distribuição da produtividade da cana-de-açúcar de 2006 para 2017. Ressaltando resultados da literatura citada, embora tenham analisado períodos distintos, Gonçalves (2009), Castro et al. (2010) e Shikida (2013) evidenciaram o avanço dessa cultura para o Centro-Oeste e, no caso de Abreu & Nascimento (2016), especificamente para o Tocantins.

## Considerações finais

Foi objetivo deste trabalho analisar a distribuição espacial da produtividade da cana-

-de-açúcar no Brasil em 2006 e 2017, anos de realização de censos agropecuários.

A expansão da área cultivada com cana-de-açúcar cresceu expressivamente a partir do Proálcool. O incremento das áreas agricultáveis possibilitou o deslocamento da canavieira para o do Centro-Oeste, e a alteração da distribuição geográfica da produção canavieira ocorreu por meio de compra e arrendamento de terras pelos usineiros e fornecedores, de modo que a distância entre a área colhida e a usina apresentasse uma relação custo-benefício logístico vantajosa. Esse fator reforçou a concentração da produção no Centro-Sul, pois adensou também as usinas de processamento da matéria-prima.

Para a análise da distribuição espacial da produtividade da cana-de-açúcar nas mesorregiões brasileiras, fez-se, em termos metodológicos, uma Aede na qual o I de Moran exibiu sinal positivo, indicando a existência de autocorrelação espacial para os dois períodos de análise. Os mapas de significância Lisa apresentaram diferenças de 2006 para 2017, bem como os mapas de clusters. A distribuição espacial da cana-de-açúcar se alterou do censo de 2006 para o de 2017, principalmente nas mesorregiões do Centro-Sul.

Embora tenha ocorrido aumento tanto da área colhida em hectare (43%) quanto da quantidade produzida (59%), de 2006 para 2017, o rendimento da produção, de um período para o outro, caiu 3,46%. O impacto dessa redução de produtividade foi maior nos principais estados produtores do Centro-Sul: Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e São Paulo. Um fator que está fortemente atrelado com a queda do desempenho canavieiro é a crise conjuntural que afeta o setor desde 2008.

As causas que explicam a crise podem ser resumidas nas seguintes variáveis: a influência do clima pouco favorável; os baixos retornos provocados pela interrupção do processo de maturação dos investimentos feitos antes de 2008; e o impacto do controle do preço da gasolina em detrimento da oferta de etanol ocorrido em

determinado momento. O cenário econômico que se estabeleceu depois de 2008 perdura até a atualidade, caracterizando-se por usinas desativadas, outras em processo de recuperação judicial e muitas com alto grau de endividamento.

O estímulo à cadeia produtiva da cana-de-açúcar envolve o fomento à pesquisa, o desenvolvimento tecnológico, a assistência técnica, as linhas de financiamento, a tributação incidente nos combustíveis líquidos – que está diretamente relacionada à competitividade do etanol hidratado diante da gasolina – e a regulação ambiental com a restrição de áreas como a Amazônia, a Mata Atlântica, o Pantanal e reservas indígenas, além de áreas com declividade que dificultam a introdução do cultivo mecanizado. Doravante, esforços devem ser concentrados na elevação da produtividade, conforme apontado por Moraes & Bacchi (2015), pois os ganhos de rendimento, aliados à redução dos custos de produção (agrícolas e industriais), são os principais responsáveis para que haja a substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia alternativas como o etanol.

## Referências

- ABREU, Y.V. de; NASCIMENTO, H.R. A produção da cana-de-açúcar e de etanol nas novas fronteiras agrícolas: o estado do Tocantins. **Revista Liberato**, v.17, p.49-63, 2016. DOI: <https://doi.org/10.31514/rliberato.2016v17n27.p49>.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2016/2017: quarto levantamento, v.3, n.4, abr. 2017. 76p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 9 fev. 2019.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas: Alínea, 2012.
- ALMEIDA, E.S. de; PEROBELLI, F.S.; FERREIRA, P.G.C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.46, p.31-53, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000100002>.
- ALVES, L.R.A. **Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**. 2002. 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**: 2019. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 9 fev. 2019.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association - LISA. **Geographical Analysis**, v.27, p.93-115, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- ANSELIN, L.; BERA, A.K. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In: ULLAH, A.; GILES, D.E. (Ed.). **Handbook of Applied Economic Statistics**. New York: Marcel Dekker, 1998. p.237-289.
- BACCHI, M.R.P.; CALDARELLI, C.E. Impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre 2005 e 2009. **Nova Economia**, v.25, p.209-224, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2168>.
- BIOETANOL de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília, 2007. 139p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Usinas e destilarias cadastradas**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao.action?sglAASAplicacaoPrincipal=sapcana>. Acesso em: 21 mar. 2019.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M.S.; CRUZ, O.G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- CASTRO, S.S. de; ABDALA, K.; SILVA, A.A.; BÔRGES, V.M.S. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, v.30, p.171-191, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v30i1.11203>.
- DINIZ, S.S. **Análise espacial da produtividade da Laranja dos municípios do estado de São Paulo**: 2002 a 2010. 2013. 118p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- GONÇALVES, D.B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, v.39, p.70-82, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006 – Segunda apuração**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 9 mar. 2019a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**Censo Agropecuário 2017 - Resultados definitivos.**

Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>>. Acesso em: 9 mar. 2019b.

MATHIAS, M. **Matopiba**: na fronteira entre a vida e o capital. 2017. Disponível em: <<http://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/matopiba-na-fronteira-entre-a-vida-e-o-capital>>. Acesso em: 9 nov. 2018.

MORAES, M.L. de; BACCHI, M.R.P. Integração entre os estados brasileiros produtores de etanol. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.53, p.607-626, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005304003>.

MUNHOZ, W. de F. **Efeito econômico espacial da indústria sucroalcooleira na região da Grande Dourados**. 2017. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo.

RUAS, D.G.G.; FERREIRA, E.R.; BRAY, S.C. (Org.). **A agroindústria sucroalcooleira nas áreas canavieiras de São Paulo e Paraná**. Rio Claro: UNESP/IGCE Pós-Graduação em Geografia, 2014. 213p.

SANTOS, G.R. dos; GARCIA, E.A.; SHIKIDA, P.F.A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. **Radar**, n.39, p.27-38, 2015.

SATOLO, L.; BACCHI, M. Impacts of the recent expansion of the sugarcane sector on municipal per capita income in

São Paulo State. ISRN **Economics**, v.2013, art.ID 828169, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/828169>.

SHIKIDA, P.F.A. **A evolução diferenciada da agroindústria canvieira no Brasil de 1975 a 1995**. 1997. 191p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SHIKIDA, P.F.A. Evolução e fases da agroindústria canvieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, ano23, p.43-57, 2014.

SHIKIDA, P.F.A. Expansão canvieira no Centro-Oeste: limites e potencialidades. **Revista de Política Agrícola**, ano22, p.122-137, 2013.

SHIKIDA, P.F.A.; AZEVEDO, P.F. de; VIAN, C.E. de F. Desafios da agroindústria canvieira no Brasil pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.49, p.599-628, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032011000300004>.

SZMRECSÁNYI, T.; MOREIRA, E.P. O desenvolvimento da agroindústria canvieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados**, v.11, p.57-79, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141991000100006>.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 9 fev. 2019.

VIAN, C.E. de F. **Agroindústria canvieira**: estratégias competitivas e modernização. Campinas: Átomo, 2003.