
PANORAMA RECENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: ASPECTOS DA CONVERGÊNCIA ESPACIAL NA PRODUTIVIDADE

*Recent panorama of sugarcane in Brazil:
aspects of spatial convergence in productivity*

Lucas Siqueira de Castro

Economista. Doutor em Economia Aplicada (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Economia,
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil. lucancastro@hotmail.com

Resumo: Introduzida no século XVI no Brasil, através da Região Nordeste, a cultura da cana foi e continua sendo importante para o crescimento econômico nacional, alcançando diferentes regiões ao longo do tempo, a exemplo do Centro-Oeste na década de 2000. Importante como fonte de alimento em detrimento do açúcar, a cana também exerce grande influência no mercado de combustíveis através do seu subproduto do etanol. Dessa maneira, o presente trabalho propõe analisar a distribuição espacial da cana-de-açúcar no Brasil, por meio da convergência espacial da produtividade da terra desta cultura, em nível microrregional, entre os anos de 1980 e 2019. Os resultados mostram a existência da β convergência espacial para o período proposto. No entanto, foi detectado um movimento de desaceleração da produtividade, evidência que foi corroborada pelas diminuições das velocidades e taxas de convergência.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Produtividade da terra; β convergência espacial.

Abstract: Introduced in the sixteenth century through the northeastern Brazilian region, the sugarcane crop was and remains important for national economic growth, raising different regions over time as the Midwest in the decade of 2000. Important as a food source (sugar), sugarcane also exerts great influence in the fuel market, through its by-product ethanol. Thus, this study aims to analyze the spatial distribution of sugarcane in Brazil, through the spatial convergence of land productivity of this crop in the micro-regional level, between the years 1980 and 2019. Results show the existence of spatial β convergence for the proposed period. However, a slowdown in productivity was detected, evidence that was corroborated by the decreases in speeds and convergence rates.

Keywords: Sugar cane; Land productivity; Spatial β convergence.

JEL: R12, Q10, C31.

1 INTRODUÇÃO

Com origem na Nova Guiné, a cana-de-açúcar é um produto agrícola que já foi alvo de diversas disputas entre nações. Introduzida ao Ocidente no século X, nas regiões do Egito e da Espanha, tal cultura foi trazida para as Américas (República Dominicana), por Cristóvão Colombo, em 1493, chegando ao Brasil apenas no ano de 1532 por intermédio de Martim Affonso de Souza (EMBRAPA, 2019).

Dados disponibilizados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO mostram que no ano de 1961 a cultura da cana-de-açúcar foi praticada por 99 países no mundo, contando com uma área colhida de 8.911.879 hectares. Por sua vez, em 2019, a cultura alcançou 106 países, que registraram 28.199.696 hectares plantados, o que representa um crescimento de 182,76% no plantio da cana em aproximadamente 60 anos (FAO, 2021).

Importante fonte alimentar, em detrimento do açúcar, a cana também exerce grande influência no mercado de combustíveis, por meio do seu subproduto etanol. Este pode ser utilizado como combustível independente, etanol hidratado ou ainda como percentual da gasolina, etanol anidro. No Brasil, por exemplo, o percentual de etanol anidro misturado à gasolina é de 27% (ANP, 2018).

Maior produtor mundial da cana-de-açúcar, o Brasil contou com 35,75% deste mercado no ano de 2019. Além disto, o país também figura em primeiro lugar nas produções de açúcar e de etanol (FAO, 2021).

Historicamente, a cana-de-açúcar foi de extrema importância para o crescimento e para o desenvolvimento econômico brasileiro. Possuindo elevado valor no mercado europeu, a plantação da cana espalhou-se rapidamente pelo litoral nordestino durante o século XVI, devido ao clima tropical propício (BAER, 2009).

Após perder espaço para a Mineração, no século XVIII, e para o plantio do Café, no final do século XIX e início do XX, a cultura do açúcar voltaria a ser estimulada principalmente com o fim do ciclo cafeeiro, visando abastecer o mercado interno, agora, focado na Região Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) (GIAMBIAGI *et al.*, 2011).

No século XX, com a criação do Instituto do Açúcar e Alcool, em 1933, o setor agora “regulado” buscou manter determinado controle sobre usinas e refinarias, no intuito de zelar pela qualidade e quantidade do açúcar brasileiro (GIAMBIAGI *et al.*, 2011).

Por sua vez, as crises do Petróleo de 1973 e 1979, que abalaram a economia brasileira, também estimularam a aplicação de uma ideia, que havia surgido em 1972, como tentativa de dinamizar a produção da cana-de-açúcar: utilizar a cultura na produção do álcool combustível (etanol). Caso esse que ocorreu não só no Brasil, mas em todo mundo, refletindo a necessidade da busca por outras fontes alternativas frente ao petróleo e seus derivados (MAGALHÃES *et al.*, 1991).

Mesmo com a recuperação dos preços do petróleo, na década de 1980, foi aberta aos usineiros uma nova possibilidade de negócio. A produção da cana-de-açúcar seria, agora, baseada na tomada de preços entre açúcar e etanol (OLIVEIRA, 2002).

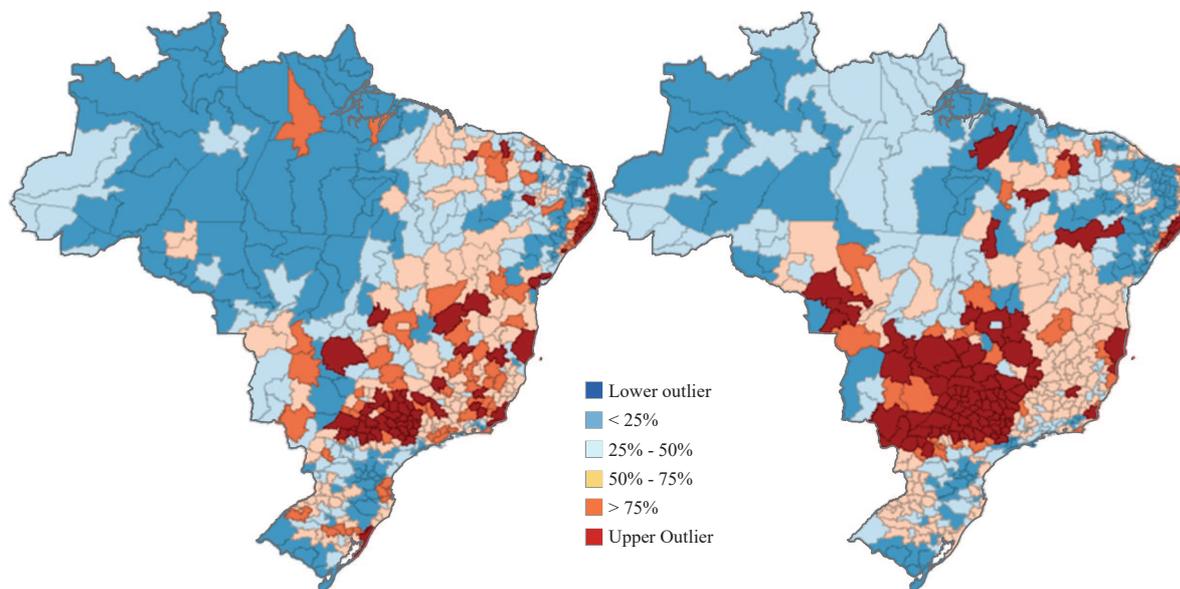
Assim, com a criação da tecnologia bicombustível (*flex fuel*), o papel do etanol volta à tona com grande importância, tornando o Brasil centro de referência internacional para estudos de combustíveis, a partir do lançamento do carro *flex* no ano de 2003 (BAER, 2009).

Os estímulos advindos da cotação do açúcar, *commodity*, bem como da possibilidade de utilizar o etanol como combustível – além das implicações técnicas do plantio da cana-de-açúcar – fizeram com que esta cultura rompesse uma nova fronteira territorial na década de 2000, a região Centro-Oeste, disputando espaço com a soja, especialmente, em Mato Grosso do Sul e em Goiás (EMBRAPA, 2019).

A expansão do plantio da cana no Brasil pode ser vista na Figura 1 a seguir. Pela gradação das cores, quanto mais “viva” for a cor, maior será a área plantada de cana-de-açúcar. Dessa forma, é possível observar uma grande concentração de áreas avermelhadas na parte central do mapa,

comparando os anos de 2019 e 1980, principalmente na região Centro-Oeste. É possível observar também a redução da área plantada no interior da Região Nordeste.

Figura 1 – Expansão espacial da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil entre os anos de 1980 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dado esse panorama brasileiro, surge o problema de pesquisa. Mesmo sendo plantada em diferentes regiões, com climas e variedades de terra diferentes, ao longo dos anos, existe convergência na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Brasil?

O objetivo geral deste trabalho, portanto, é analisar a presença da convergência na produtividade média da terra em relação a cana-de-açúcar no Brasil. De maneira secundária, será investigada a velocidade de convergência deste processo, caso exista. Como hipótese, acredita-se que haja convergência espacial na produtividade da cana.

Referente ao intervalo de análise, optou-se por iniciar o estudo no ano de 1980, finalizando o período em 2019, último ano com dados disponíveis. Também foram feitas divisões nesse intervalo de tempo, em que os subperíodos foram de: 1980 até 1989; 1990 até 1999; 2000 até 2009; e 2010 até 2019. Dessa forma, será possível investigar como foi dado o comportamento da cana-de-açúcar frente: à recuperação do preço do petróleo e diminuição do preço da gasolina; pós-crise em 1979; as variações do preço da *commodity* açúcar; e, ainda, a utilização do álcool como combustível, reforçado pelo desenvolvimento da tecnologia *flex fuel* nos anos 2000; além dos aspectos da crise econômica de 2008.

Afora esta introdução, o trabalho é constituído por mais quatro partes. A próxima compõe uma discussão sobre a convergência da produtividade agrícola da terra. Seguindo, tem-se uma seção sobre a metodologia e a fonte dos dados, outra sobre a discussão dos resultados e, finalmente, as considerações finais acerca do problema.

2 CONVERGÊNCIA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DA TERRA

Tratando-se de convergência, a literatura registrou os primeiros estudos com enfoque no parâmetro da renda, seja esta analisada entre países, seja esta analisada em regiões, estados ou municípios. Trabalhos seminais – como os de Solow (1956, 1957), Romer (1986), Lucas (1988), Barro e Sala-i-Martin (1990, 1991 e 1992) e Mankiw *et al.* (1992) – exploraram de diferentes maneiras o enfoque de tal convergência.

Em especial, o trabalho de Baumol (1986), buscou identificar tal processo para 16 países industrializados no período de 1870 a 1979. A forma como construída a sua análise foi considerada por muitos autores simples e coesa, sendo esta:

$$\ln(Y/N)_{i,t} - \ln(Y/N)_{i,t-1} = \alpha + \beta \ln(Y/N)_{i,t-1} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que $\ln(Y/N)$ equivale ao logaritmo da renda per capita; ε ao termo de erro; i aos diversos países; t período temporal avaliado; α e β aos parâmetros a serem estimados.

Existindo a β convergência absoluta, o sinal esperado de tal parâmetro seria negativo. Essa relação informa que, para o estudo de Baumol, países possuidores de rendas iniciais maiores imprimiriam menores taxas de crescimento, quando comparados a países menos desenvolvidos e, com o avançar dos anos, haveria uma tendência para que as rendas convergissem a um mesmo patamar.

Em termos de convergência da produtividade agrícola da terra, Lopes (2004) comenta que existem no mínimo três características que reforçam a necessidade de tal enfoque. A primeira é tida como mudanças estruturais no processo produtivo, sejam estas inovações tecnológicas, sejam estas na forma como são aplicadas as políticas públicas. Já a segunda enfoca a propagação dos ganhos obtidos com a tecnologia, sendo estes representados por novas sementes, seja estes representados por sistemas de plantio, implementos agrícolas etc. Por fim, tem-se a diminuição de entraves ao crescimento produtivo, exemplificado por questões ambientais, financeiras, dentre outras.

Trabalhos internacionais – como os de Lusigi e Thirtle (1998), Fan *et al.* (1999), Suhariyanto e Thirtle (2001) e Janvry e Sadoulet (2010) – reforçaram que a produtividade da terra se comportou como uns dos principais componentes associados à Produtividade Total dos Fatores (PTF). Além disso, alguns resultados evidenciam que ganhos na produtividade agrícola foram importantes para o desenvolvimento e também na redução da pobreza das regiões investigadas.

Nacionalmente, tem-se trabalhos como o de Gasques *et al.* (2004), que mostrou a importância da produtividade da terra, quando esta cresceu 15,76% a mais do que a PTF entre os anos de 1975 e 2002. Há a inovação metodológica de Almeida e Haddad (2004), com o Modelo Econométrico Espacial de projeções de Culturas Agropecuárias (MEECA), para a simulação de cenários econômicos de longo prazo para *commodities* brasileiras.

Perobelli *et al.* (2007) buscaram verificar os efeitos espaciais, que influenciaram a produtividade agrícola brasileira da terra entre os anos de 1991 e 2003. Contando com dados microrregionais da produção agrícola total e da área plantada total, os autores constataram que a produtividade agrícola esteve autocorrelacionada espacialmente de maneira positiva e identificaram dois *clusters* do tipo alto-alto: o primeiro entre São Paulo e a Região Centro-Oeste e o segundo ao longo do litoral da Região Nordeste.

Na perspectiva da convergência espacial, Almeida *et al.* (2008) captaram a convergência espacial da produtividade agrícola geral para o Brasil, novamente, entre 1991 a 2003. Castro *et al.* (2015) analisaram o contexto da soja nas regiões Centro-Oeste e Sul do mesmo país no período de 1994 a 2013. Os resultados destes dois últimos trabalhos evidenciaram a presença de autocorrelação espacial para a produtividade da terra, bem como a existência da β convergência absoluta.

Raiher *et al.* (2016) investigaram o desenvolvimento da produtividade da agropecuária da Região Sul brasileira, apoiados pelos dados censitários de 1995/1996 e de 2006, em nível microrregional. Foram encontrados, como resposta, evidências da convergência absoluta e da condicional da produtividade da agropecuária nestas microrregiões. Castro (2020) pesquisou a respeito da convergência espacial da produtividade do leite nos municípios brasileiros, com suporte dos censos de 2006 e 2017. O autor comprovou aspectos da β convergência condicional em sua análise, contudo, também foi verificada a desaceleração das taxas de convergência.

3 METODOLOGIA

Previamente à análise da convergência da produtividade agrícola da cana-de-açúcar, é necessário explorar os dados de forma espacial. Testes de Moran para autocorrelação, sejam globais (I), sejam locais (LISA), serão usados para cumprir esse objetivo. Caso seja encontrada a autocorrelação espacial, o modelo a ser desenvolvido deve levar em consideração formas de eliminar tal problema a partir das interações espaciais.

3.1 Análise da Convergência

A estimação da convergência da produtividade agrícola da cana-de-açúcar será dada a partir de adaptações feitas na equação para a convergência de renda de Baumol (1986)¹:

$$\ln\left(\frac{Pme_{2019}}{Pme_{1980}}\right) = \alpha + \beta \ln(Pme_{1980}) + \theta DR_i + u_i \quad (2)$$

em que $\ln\left(\frac{Pme_{2019}}{Pme_{1980}}\right)$ é o logaritmo natural da razão entre as produtividades agrícolas nos intervalos analisados; $\beta \ln(Pme_{1980})$ é o logaritmo natural da produtividade agrícola no intervalo inicial; DR_i remete à *dummies* de interação regionais; e u_i corresponde ao termo de erro aleatório.

Visando encontrar o melhor modelo espacial possível, Florax *et al.* (2003) e Almeida (2012) recomendam a realização de alguns procedimentos, para, assim, aprimorar os resultados da β convergência espacial. Como exemplos de tais procedimentos são tidos: o clássico; o robusto; o híbrido; o de Hendry; o de Tyszler; e o completo.

Para este trabalho, foi escolhido o procedimento completo. Os passos de tal procedimento abordam que:

- i) Estima-se o modelo clássico proposto através da análise de regressão linear por MQO;
- ii) Testa-se a hipótese de ausência de autocorrelação espacial dos resíduos por testes difusos como o I de Moran Global;
- iii) Obtidos os resultados, por suposição que os testes não sejam significativos, utiliza-se o modelo clássico (MQO) para a estimação. Refutada a afirmativa anterior, segue-se o procedimento posterior;
- iv) Estimam-se variados modelos espaciais, como o SAR, SEM, SLX, SDM e SDEM etc.
- v) A melhor especificação de modelo precisa atender a dois critérios sequenciais, em que o primeiro fala que o modelo não pode apresentar autocorrelação espacial em seus resíduos, e o segundo reforça que a escolha do modelo deve prezar pelo menor critério de informação.

3.2 Impactos Total, Direto e Indireto

Estimando-se um modelo de regressão linear clássico, tem-se o conhecimento de que os coeficientes das variáveis independentes apontam a correlação parcial com a variável dependente ou regressando. Todavia, ao observar que o processo gerador de dados engloba a influência de áreas/observações contíguas, a interpretação dos estimadores e coeficientes se torna mais elaborada.

¹ A literatura aborda que adoção do método de análise da β convergência absoluta pode vir a implicar na possibilidade do viés de omissão de variáveis relevantes. Todavia, como neste artigo procura-se apresentar um panorama geral sobre o plantio da cana-de-açúcar no país, acredita-se que o método seja suficientemente válido para responder tal questão.

LeSage e Pace (2009) atribuem esta nova característica ao fato de a variável dependente e/ou dependente defasada ser capaz de afetar, no caso deste trabalho, uma microrregião, bem como as microrregiões vizinhas.

Já a alternativa existente, capaz de incluir e mensurar informações de regiões contíguas, é dada pelos modelos de regressão espaciais. Esses modelos – além de fornecerem os coeficientes de correlação parcial, entre variáveis independentes e a dependente, levando em conta os aspectos espaciais – também são capazes de dividir tais coeficientes em impactos diretos, indiretos e totais, quando a dependência espacial é observável, como em modelos SAR, SDM², o que eleva a qualidade de informações.

Segundo LeSage e Pace (2009), o Impacto Direto Médio configura uma média dos impactos de uma região qualquer i sobre ela mesma. Algebricamente, essa relação é dada pela média do traço da diagonal principal da matriz de defasagens (W), representada pelos autores por $S_r(W)$:

$$\bar{M}(r)_{direito} = n^{-1}tr(S_r(W)) \quad (5)$$

em que $S_r(W) = (1 - W\rho)^{-1}\theta$, sendo o modelo um SAR e $S_r(W) = W(l_n - \rho W)^{-1}\tau + \theta(l_n - \rho W)^{-1}$, sendo um SDM; n é o número de observações; tr é o traço da matriz e $\bar{M}(r)_{direito}$ é o impacto direto médio.

No que diz respeito ao Impacto Total Médio, este busca mensurar o impacto médio de todas as regiões associadas a W , sobre uma região qualquer i , incluindo o seu respectivo impacto. A sua expressão é dada por:

$$\bar{M}(r)_{total} = n^{-1}l_n^r S^r(W) l_n \quad (6)$$

em que l_n representa um vetor coluna unitário e $\bar{M}(r)_{total}$ o impacto total médio.

Por último, o Impacto Indireto Médio, é responsável por determinar a influência de uma região i qualquer sobre as j regiões vizinhas. Este é obtido pela diferença entre os impactos Total e Direto:

$$\bar{M}(r)_{indireto} = \bar{M}(r)_{total} - \bar{M}(r)_{direto} \quad (7)$$

3.3 Velocidade de Convergência

A velocidade de convergência será obtida com como base na proposição de Florax *et al.* (2003):

$$\psi = -\frac{\ln(-\beta)}{k} \quad (8)$$

em que: k remete ao intervalo de tempo utilizado em cada observação.

2 Os modelos do tipo SEM e SDEM incorporam a dependência espacial por meio do termo de erro da regressão. Em outras palavras, pode ser dito que o padrão espacial revelado no termo de erro, destes modelos, é dado por efeitos não modelados, em função da falta adequada de medida. Por consequência, não é possível obter a divisão dos impactos para estes modelos. Maiores informações sobre a divisão dos impactos, consultar LeSage e Pace (2009).

3.4 Fonte de Dados

Os dados utilizados para a realização deste trabalho estão presentes na base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Foram compilados dados sobre o valor da produção agrícola e a área plantada total da cana-de-açúcar para os anos de 1980 e 2019.

Inicialmente, foi vista a possibilidade de trabalhar com a desagregação dos dados em nível municipal. Entretanto, como no período de 40 anos proposto houve o desmembramento ou emancipação de alguns municípios e do Estado do Tocantins, optou-se por utilizar dados microrregionais.

Dessa forma, para o intervalo de tempo a ser estudado (1980/2019) e seus quatro subperíodos (1980/1989, 1990/1999, 2000/2009 e 2010/2019), foram estabelecidas 558 microrregiões (52 do Centro-Oeste; 188 do Nordeste; 64 do Norte; 94 do Sul; 160 do Sudeste), o que corresponde ao total de 558 observações para as variáveis de cada ano de análise pretendida. Já para as *dummies* de interação regionais, optou-se por designar a Região Norte do Brasil como grupo base de comparação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória de dados espaciais realizada sobre a produtividade agrícola da terra da cana-de-açúcar, como proposta, foi dividida em global e local. Para tanto, foi necessário determinar tipos matrizes de ponderações espaciais para tais análises. A escolha dessas matrizes foi baseada no procedimento de Baumont (2004)³, que visa reduzir a existência de qualquer tipo de viés associado a forma de como estas são selecionadas para as análises em questão.

Para o *I* de Moran Global, as matrizes de ponderação espacial utilizadas foram as do tipo *k* vizinhos mais próximos (Tabela 1). Em termos de significância do teste, a mesma tabela ainda mostra que todos foram estatisticamente significativos e diferentes de zero para o período estudado. Esse resultado informa que, para os dados da produtividade agrícola da terra da cana, há a presença de algum tipo de padrão espacial.

Tabela 1 – *I* de Moran global para a produtividade agrícola da terra da cana-de-açúcar

Matriz	Ano	Valor	Média	Desvio Padrão	Z	P-valor
<i>k1</i>	1980	0.3952	-0.0020	0.0529	7.5045	0.0000***
<i>k1</i>	1989	0.4866	-0.0020	0.0529	9.2314	0.0000***
<i>k1</i>	1990	0.5272	-0.0020	0.0529	9.9986	0.0000***
<i>k1</i>	1999	0.4866	-0.0020	0.0529	9.2316	0.0000***
<i>k1</i>	2000	0.4283	-0.0020	0.0529	8.1292	0.0000***
<i>k1</i>	2009	0.6136	-0.0020	0.0529	11.6327	0.0000***
<i>k1</i>	2010	0.5295	-0.0020	0.0529	10.0425	0.0000***
<i>k2</i>	2019	0.4449	-0.0020	0.0390	11.4627	0.0000***

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: * Significativo a 10%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 1%.

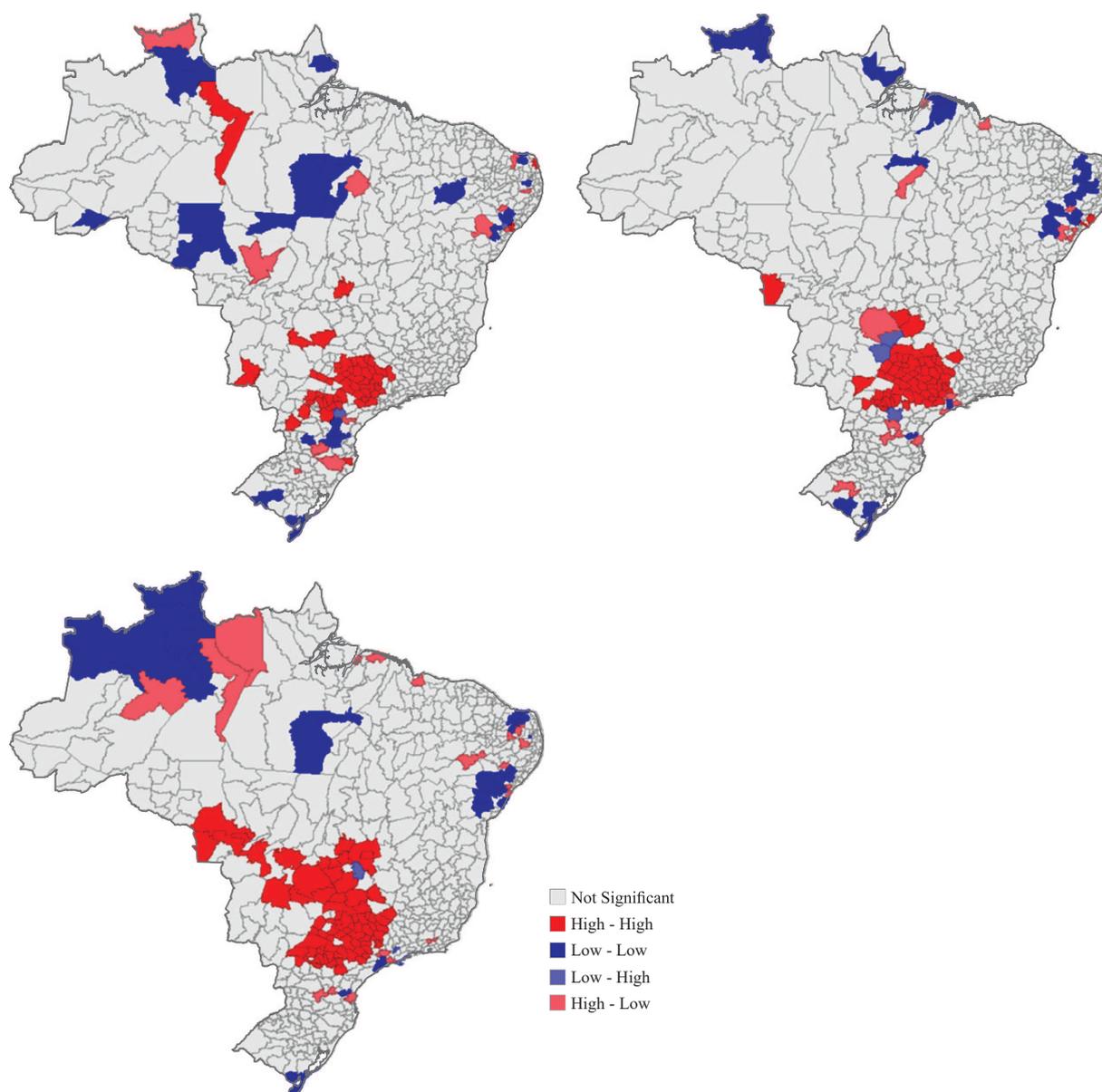
Além do padrão espacial descoberto, pode-se inferir ainda que, pelos coeficientes apresentarem sinais positivos, o tipo de autocorrelação espacial existente é a positiva. Dessa maneira, há uma tendência de concentração das microrregiões analisadas, em que as que apresentarem elevada produtividade média da cultura farão divisa com outras microrregiões que apresentaram o mesmo padrão de produtividade. A interpretação para as regiões que apresentam baixa produtividade é a mesma, uma vez que estas serão vizinhas de regiões com produtividade semelhante.

3 O procedimento consiste na realização de testes, como o *I* de Moran, sobre os resíduos do MQO, em que a determinação da matriz será feita com base no resultado que apresentar a maior autocorrelação espacial estatisticamente significativa.

Por sua vez, a análise local através dos mapas LISA (Figura 2), mostra a disposição dos *clusters* formados. De maneira geral, é possível observar, ao longo dos anos, a formação e a evolução de um grande cluster do tipo alto-alto, condensando microrregiões dos estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

Mesmo não obtendo *clusters* do tipo alto-alto, as regiões Norte, Nordeste e Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) apresentaram *clusters* do tipo alto-baixo, baixo-alto ou baixo-baixo, mostrando que a cultura da cana-de-açúcar também está presente nessas regiões e que também há a presença da autocorrelação espacial.

Figura 2 – Mapa de *clusters* LISA para a produtividade agrícola da terra da cana-de-açúcar no Brasil, considerando matrizes k_2 vizinhos mais próximos, entre os anos de 1980, 1990, 2000, 2010 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor.

Partindo para a modelagem, foram estimados cinco modelos por Mínimos Quadrados Ordinários (Tabela 2). Em relação à escolha das matrizes de ponderação espacial, a de $k4$ vizinhos foi utilizada no subperíodo de 1990/1999. Para os demais períodos investigados, fez-se o uso da matriz $k1$ vizinho mais próximo.

Tabela 2 – Estimação dos modelos por MQO

	1980/1989	1990/1999	2000/2009	2010/2019	1980/2019
Constante	0.0122 (0.0269)	0.0128 (0.0267)	0.0034 (0.0227)	0.1285*** (0.0220)	0.1089*** (0.0230)
β	-0.7820*** (0.0328)	-0.8623*** (0.0307)	-0.8250*** (0.0247)	-0.1199*** (0.0234)	-0.0691** (0.0280)
DCO	-0.0845** (0.0386)	0.0360 (0.0338)	-0.0139 (0.0264)	0.0319 (0.0252)	0.1232*** (0.0330)
DNE	-0.0620** (0.0310)	0.0214 (0.0285)	-0.0268 (0.0220)	-0.0102 (0.0215)	0.0543** (0.0265)
DS	-0.0400 (0.0344)	-0.0051 (0.0312)	-0.0235 (0.0240)	0.0398* (0.0237)	0.1092*** (0.0294)
DSE	-0.0402 (0.0306)	0.0051 (0.0283)	-0.0160 (0.0217)	0.0151 (0.0213)	0.0756*** (0.0262)
SC	136.0180	89.8645	-165.7550	-128.5400	-39.2144
Jarque-Bera	7099.3588	11641.3740	29303.7738	884.0047	1103.7924
p -valor	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
Koenker-Bassett	7.3078	6.9360	2.7335	46.2872	13.2777
p -valor	0.1987	0.2254	0.7410	0.0000***	0.0209**
I de Moran	0.1860	0.1601	0.1285	0.3509	0.3725
p -valor	0.0002***	0.0000***	0.0095***	0.0000***	0.0000***
ML_p	4.2482	11.3103	14.4992	0.8065	0.0604
p -valor	0.0393**	0.0008***	0.0001***	0.0148***	0.0859*
ML_λ	2.2825	9.3730	0.0111	5.9402	0.8874
p -valor	0.1308	0.0022***	0.9160	0.3692	0.3462
Matriz W	$k1$	$k4$	$k1$	$k1$	$k1$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota 1: Desvio-padrão entre parênteses.

Nota 2: * Significativo a 10%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 1%.

Os testes de diagnósticos realizados – pelo teste Jarque-Bera – indicaram resíduos não normais. Foi visto também a presença de heterocedasticidade para o subperíodo de 2010/2019 e o período de 1980/2019, de acordo com a estatística de Koenker-Bassett.

A princípio, a estatística global de Moran indicou presença de autocorrelação espacial em todos os modelos. Essa informação foi corroborada após a aplicação de testes considerados mais específicos, como as versões robustas do multiplicador de Lagrange para a defasagem (ML_p) e para o erro autoregressivo (ML_λ). Portanto, com resíduos contaminados pela autocorrelação espacial, a interpretação dos coeficientes estimados de maneira padrão por MQO fica viesada.

Seguindo com o procedimento completo, foram realizadas novas estimações (Tabela 3). Os modelos dos tipos SAR foram responsáveis por corrigir os problemas da autocorrelação espacial e da heterocedasticidade, por meio de matrizes robustas de White. Esta Tabela 3 mostra que os impactos diretos, indiretos e totais de β foram estatisticamente significativos para todos os períodos considerados. Tal resultado sustenta a importância da cultura como fonte de renda aos produtores brasileiros, mesmo considerando os percalços existentes.

Após o aumento da convergência entre 1980/1989 e 1990/1999, percebe-se um movimento de desaceleração da produtividade, sobretudo, entre os subperíodos de 2000/2009 e 2010/2019. Tem-se o mesmo entendimento, analisando as velocidades de convergência na Tabela 3.

A desaceleração também é reforçada pelas *dummies* regionais. Tendo como base o subperíodo de 1990/1999, é possível observar a diminuição gradativa da magnitude de β , quando somadas às variáveis binárias. Examinando a última coluna da Tabela 3, percebe-se que, apesar de nacionalmente ainda haver convergência de produtividade no período 1980/2019, para as regiões Centro-Oeste e Sul, há traços de divergência.

Esses resultados foram similares aos encontrados por Gasques *et al.* (2016). Isso porque, para esses autores, os níveis da produtividade agrícola brasileira têm apresentado padrões de supostas desacelerações, devido à incidência de eventos climáticos extremos (secas, excesso de chuvas, enchentes, as geadas, dentre outros), que infligem perdas na produção. Alterações em políticas econômicas relacionadas ao setor, como em políticas de subsídios, investimentos em pesquisas e tecnologias, por exemplo, também podem impactar negativamente na produtividade.

Tabela 3 – Estimações com controles espacial e heterocedástico

	SAR ¹				
	1980/1989	1990/1999	2000/2009	2010/2019	1980/2019
Constante	0.0606** (0.0292)	0.1335*** (0.0333)	0.0517** (0.0248)	0.1230*** (0.0210)	0.0890*** (0.0219)
β	-0.7721*** (0.0323)	-0.8328*** (0.0301)	-0.7991*** (0.0246)	-0.1144*** (0.0223)	-0.0701*** (0.0264)
DCO	-0.0682* (0.0380)	0.0734** (0.0331)	-0.0014 (0.0258)	0.0284 (0.0239)	0.1126*** (0.0312)
DNE	-0.0433 (0.0306)	0.0537* (0.0278)	-0.0165 (0.0215)	-0.0019 (0.0204)	0.0568** (0.0250)
DS	-0.0214 (0.0339)	0.0296 (0.0305)	-0.0175 (0.0234)	0.0328 (0.0225)	0.1017*** (0.0279)
DSE	-0.0160 (0.0305)	0.0491* (0.0282)	-0.0033 (0.0213)	0.0192 (0.0202)	0.0776*** (0.0247)
WTX	0.0801*** (0.0206)	0.1785*** (0.0309)	0.0832*** (0.0175)	0.2088*** (0.0312)	0.2150*** (0.0318)
β Impactos²					
Direct	-0.7753*** [-22.7700]	-0.8382*** [-26.1457]	-0.8028*** [-33.7078]	-0.1176*** [-4.9305]	-0.0719*** [-2.7977]
Indirect	-0.0647*** [-3.9481]	-0.1756*** [-5.1133]	-0.0694*** [-4.2894]	-0.0272*** [-3.8418]	-0.0173** [-2.4766]
Total	-0.8400*** [-20.7531]	-1.0138*** [-21.4469]	-0.8722*** [-29.9932]	-0.1447*** [-4.8995]	-0.0892*** [-2.7774]
Estatísticas do modelo					
ML	1.8861	6.6257	0.0421	0.4016	2.2168
<i>p</i> -valor	0.1696	0.1005	0.8374	0.5263	0.1365
Velocidade de convergência					
	-0.0772	-0.0833	-0.0799	-0.0114	-0.0018

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota1: Desvio-padrão entre parênteses.

Nota2: Estatística Z entre colchetes

Nota3: * Significativo a 10%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 1%.

A perspectiva histórica também ajuda a explicar o comportamento da convergência da produtividade da cana brasileira. Em meados da década de 1980, dois foram os contratempos enfrentados pelos atuantes no setor canavieiro. O primeiro contou com crises existentes no setor do açúcar,

resultantes das variações de preço da *commodity* na época (1982 e 1983). Por sua vez, o segundo foi estabelecido a partir da terceira fase do programa Proálcool⁴.

Denominada como momento de desaceleração, princípio de crise ou desabastecimento, a terceira fase do Proálcool transcorreu entre os anos de 1986 a 1995. O fator que motivou todo o desenvolvimento do PNA e de sua tecnologia não estava mais contribuindo para a continuidade desse processo. Desse modo, a queda internacional do preço do petróleo (o preço do barril de óleo bruto caiu de US\$ 40 dólares para US\$ 20 dólares, aproximadamente), associada ao aumento da produção interna pela Petrobras (o Brasil havia descoberto grandes jazidas de petróleo, diminuindo o montante de importações), fez com que a preferência pelo etanol voltasse a ser debatida pelo país (BAER, 2009).

A queda do preço da gasolina foi acompanhada também pela desvalorização do preço do álcool no mercado interno. Na tentativa de ainda manter o etanol atrativo ao consumidor, o governo colocava o álcool a preços bem inferiores aos da gasolina, o que gerava necessidades cada vez maiores de subsídios para manutenção dos produtores no mercado devido aos baixos preços pagos; subsídios esses que não eram mais distribuídos com tanta facilidade.

O baixo preço do etanol, assegurado pelo governo em função da manutenção da competitividade frente à gasolina, fez com que a demanda pelo combustível nacional se mantivesse a mesma. O problema foi que a oferta não acompanhou a demanda devido ao desestímulo da produção por parte dos baixos preços pagos aos produtores. Esse contexto fez com que no final da década de 80 ocorresse a crise de abastecimento (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Para superar essa crise, de acordo com Oliveira (2002), o governo esforçou-se em abaixar a concentração de álcool anidro à gasolina de 22% para 18% e depois 13%. Não suficiente. Tentou, em seguida, introduzir o uso da mistura MEG (33% de metanol, 60% de etanol e 7% de gasolina), não obtendo o sucesso esperado, mas amenizando o problema.

Para Magalhães *et al.* (1991), além do fato de o governo ter optado por diminuir o montante de investimentos no Proálcool, visto o número de projetos que eram aprovados, ocorreu também uma perda na safra de 1986/87 de aproximadamente 1,3 bilhão na produção de cana-de-açúcar, no Centro-Sul, em virtude da ausência de chuvas no período.

Associado ao fator externo, a economia interna sentia alguns problemas ainda relacionados à crise do endividamento de 1983 (auxiliados pelo aumento da taxa de juros internacional e pela recessão mundial, principalmente, dos Estados Unidos). Giambiagi *et al.* (2011) comentam que, apesar do esforço para o controle da inflação – por meio de políticas fiscais e monetárias, que refletissem sobre a demanda agregada –, a economia brasileira caminhou para uma fase de estagnação.

Outro fator complicador foi a abertura comercial vivida no início da década de 90, que fez com que fossem importados veículos consumidores de gasolina ou diesel. Para não perder mercado, a indústria automobilística interna optou por alinhar-se de acordo com a produção internacional (uma vez que a produção nacional estava crescendo e exportar era preciso para aliviar o *déficit* da balança comercial). Por isso o motor à gasolina era mais vantajoso e a demanda internacional da época era por motores à gasolina e diesel.

Como fechamento dessa fase, o governo optou por desregulamentar o mercado de açúcar e álcool, deixando que a livre concorrência com suas variações de oferta e demanda determinassem o devido preço desses produtos (BELIK, 1998).

A partir de 1995 surge uma fase de redefinição do Proálcool, que vigora até o presente momento. Com a criação da tecnologia bicombustível ou *flex fuel*, estimulada pela maior conscientização mundial sobre a necessidade de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa – Protocolo de Kyoto – o papel do etanol, antes estagnado, voltaria à tona com grande importância, tornando

4 Proálcool ou Plano Nacional do Álcool (PNA) foi um programa do Governo Federal, que visava reduzir a grande dependência brasileira do petróleo e de um dos seus principais derivados: a gasolina. Esse fato ocorreria através do desenvolvimento de modernas técnicas, que aperfeiçoariam insumos para a produção do etanol, desde 1975.

o Brasil centro de referência internacional para estudos de combustíveis, a partir do lançamento do carro *flex*, no ano de 2003.

Estimulado pelo cenário de elevação interna do consumo de etanol e pelo crescimento externo do consumo de açúcar em países emergentes, o setor realizou altos investimentos em suas safras, chegando ao auge da produção em 2007. Todavia, esses investimentos se tornariam endividamentos a partir da crise econômica de 2008. Dada a variação dos mercados internacionais, o açúcar, por ser uma *commodity*, foi impactado negativamente pela variação do preço do barril de petróleo, afetando consideravelmente o setor sucroalcooleiro brasileiro (NEVES *et al.*, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo em questão visou detectar a existência de convergência absoluta na produtividade média da cana-de-açúcar no Brasil. Os resultados proporcionaram evidências sobre a evolução da produtividade agrícola de tal cultura no país.

Em relação ao período base (1980/2019), foi visto que houve convergência absoluta da produtividade agrícola da cana. Assim sendo, pode-se dizer que a mesma está convergindo para a média, mesmo que a uma taxa considerada pequena.

Outro ponto que deve ser destacado diz respeito ao movimento de desaceleração da produtividade, sobretudo, entre os subperíodos de 2000/2009 e 2010/2019. Alterações em políticas econômicas relacionadas ao setor, bem como a incidência de eventos climáticos extremos podem estar afetando negativamente a produtividade média da terra em relação a cana-de-açúcar no Brasil. Esse resultado é reforçado pela avaliação das velocidades de convergência estabelecidas.

Por esta razão, no longo prazo, espera-se que com a reversão desse quadro as disparidades regionais existentes em relação à cana-de-açúcar possam diminuir; ou seja, que as microrregiões consideradas com menor produtividade cresçam mais, alcançando as que possuem maior produtividade.

Futuramente, pretende-se testar a presença a convergência β condicional para o setor, por intermédio da inserção de diferentes variáveis de controle como fatores edafoclimáticos, oscilação da demanda internacional da cana-de-açúcar, estoques de capitais físico e humano, dentre outras. Dessa maneira, com a expansão da análise, espera-se controlar a possibilidade de existência do viés de variável relevante omitida presente na β convergência absoluta.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. S.; HADDAD, E. A. MEECA: Um Modelo Econométrico Espacial Para Projeção Consistente de Culturas Agropecuárias. In: **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 3, p. 507-527, 2004.

ALMEIDA, E. S.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G. C. Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil? In: **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 1, p. 31-52, 2008.

ALMEIDA, E. S. In: **Econometria Espacial Aplicada**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-versao-impressao.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.

BAER, W. **A Economia Brasileira**. 4.ed. São Paulo: Editora Nobel, 2009.

- BARRO, R.; SALA-i-MARTIN, X. **Economic growth and convergence across the United States**. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1990.
- BARRO, R.; SALA-i-MARTIN, X. Convergence across the states and regions. In: **Brookings Papers on Economic Activity**, v. 1, n. 1991, p. 107-158, 1991.
- BARRO, R.; SALA-i-MARTIN, X. Convergence. In: **Journal of Political Economic**, v. 100, n. 2, p. 223-251, 1992.
- BAUMOL, W. J. Productivity growth, convergency, and welfare: What the long-run show. In: **American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 1072-1085, 1986.
- BAUMONT, C. **Spatial Effects in housing price models: do house prices capitalize urban development policies in the agglomeration of Dijon (1999)?** Mimeo., Université de Bourgogne, 2004.
- BELIK, W. Mudanças institucionais e seus impactos nas estratégias dos capitais do complexo agroindustrial canavieiro no centro-sul do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural (SOBER)**, 36., 1998, Poços de Caldas, Minas Gerais, 1998.
- CASTRO, L. S.; ALMEIDA, E. S.; LIMA, J. E. A convergência espacial da produtividade de soja no Brasil: o caso das regiões Centro-Oeste e Sul. In: **Revista Espacios**, v. 36, n. 21, p. 1-20, 2015.
- CASTRO, L. S. Aspectos espaciais do leite brasileiro no século XXI. Congresso Brasileiro de **Economia e Sociologia Rural (SOBER)**, 58., 2020, Foz do Iguaçu, Paraná, 2020.
- EMBRAPA – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Brasil, a doce terra – História do Setor**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fh_c62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf. Acesso em: 18 ago. 2019.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistics Division**, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 14 jun. 2021.
- FAN, S.; HAZELL, P.; THORAT, S. **Linkages Between Government Spending, Growth, and Poverty in Rural India**. Research report 110. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C., 1999.
- FLORAX, R. J. G. M.; FOLMER, H.; REY, S. J. Specification searches in spatial econometrics: The relevance of Hendry's methodology. In: **Regional Science and Urban Economics**, v. 33, n. 5, p. 557-79, 2003.
- GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. P. R.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Condicionantes da Produtividade da Agricultura Brasileira**, Texto para Discussão 1017, Instituto de Economia Aplicada, Brasília, 2004.
- GASQUES, J. G.; BACCHI, M. P. R.; RODRIGUES, L.; BASTOS, E. T.; VALDEZ, C. Produtividade da agricultura brasileira: A hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.) **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, p. 143-163, cap. 5, 2016.
- GIAMBIAGI, F.; VILLELA, A. CASTRO, L. B.; HERMANN, J. **Economia Brasileira Contemporânea (1945- 2010)**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2011.
- JANVRY, A.; SADOULET, E. The global food crisis and Guatemala: what crisis and for whom. In: **World Development**, v. 38, n. 9, p. 1328-1339, 2010.

- LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to Spatial Econometrics**, CRC Press, 2009.
- LOPES, J. L. **Avaliação do processo de convergência da produtividade da terra na agricultura brasileira no período de 1960 a 2001**. 2004. 208 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 2004.
- LUCAS, R. On the mechanics of economic development. In: **Journal of Monetary Economic**, v. 22, p. 3-42, 1988.
- LUSIGI, A.; THIRTLE, C. Convergence of per capita incomes and agricultural productivity in thirty-two African countries. In: **Journal of International Development**, v. 10, n. 1, p.105-15, 1998.
- MAGALHÃES, J. P. A.; KUPERMAN, N.; MACHADO, R. C. **Proálcool: Uma Avaliação Global**. Rio de Janeiro: Editora Xenon, 1991.
- MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. Contribution on the empirics of economic growth. In: **Quarterly Journal of Economics**. v. 107, n. 2, p. 407-35, 1992.
- NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; KALAKI, R. B.; RODRIGUES, J. M.; GERBASI, T.; SIMPRINI, E. S.; GUINA, F. T. C.; ROVANHOL, P.; CONSOLI, M. H. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Marcos Fava Neves, 2014. 46p.
- OLIVEIRA, J. A. P. The policymaking process for creating competitive assets for the use of biomass energy: the Brazilian alcohol programme. In: **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 6, n. 1-2, p. 129-140, 2002.
- PEROBELLI, F. S. ALMEIDA, E. S.; ALVIM, M. I. S. A.; FERREIRA, P. G. C. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. In: **Nova Economia (UFMG)**, v. 17, n. 1, p. 65-91, 2007.
- RAIHER, A. P.; OLIVEIRA, R. A.; CARMO, A. S. S.; STEGE, A. L. Convergência da Produtividade Agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. In: **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 517-536, 2016.
- ROMER, P. M. Increasing returns and long run growth. In: **Journal of Political Economic**, v. 94, n. 5, p. 1002-1037, 1986.
- SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. In: **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.
- SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. In: **Review of Economic and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312-320, 1957.
- SUHARIYANTO, K.; THIRTLE, C. Asian agricultural productivity and convergence. In: **Journal of Agricultural Economics**, v. 52, n. 3, p. 96-110, 2001.