O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VI | Volume 18 | Nº 53 | Boa Vista | 2024

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.11871750

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

CONVERGÊNCIA ESPACIAL DA SOJA NA AMAZÔNIA LEGAL: UMA ANÁLISE ENTRE 2000 E 2022

Walberti Saith[1]

Sabrina de Matos Carlos[2]

Resumo

A expansão da soja na Amazônia Legal é um importante fenômeno a ser estudado. A importância reside no fato de que a ocupação ocorre em detrimento da área de floresta. Esse estudo tem como objetivo principal verificar os padrões de distribuição espacial da soja na Amazônia Legal entre os anos de 2000 e 2022. Além disso, foi avaliada a manifestação do fenômeno de convergência espacial, ou seja, se há aumento relativo da soja na região em estudo. A variável estudada foi a área municipal plantada da soja em todos os municípios da Amazônia Legal, totalizando 772 observações por ano. Empregou-se métodos estatísticos que consideram os efeitos geográficos sobre a variável e modelos de regressões com parâmetros que captam diferentes efeitos espaciais. Os resultados mostram que, de fato, existe o fenômeno da autocorrelação espacial, e que tal correlação vem aumentando ao longo do tempo. Os modelos econométricos mostraram a existência de convergência espacial da soja na Amazônia Legal, indicando que os municípios com pouca área plantada de soja, estão crescendo a taxas maiores do que os municípios com grande área plantada. Esse fato ocorre porque existe um facilitamento da produção, por meio de transferência de tecnologia, infraestrutura e de escoamento da produção.

Palavras-chave: Amazônia Legal; Clusters; Convergência Espacial; Produção de Soja.

Abstract

The expansion of soybean in the Legal Amazon is an important phenomenon to be studied. The importance lies in the fact that the occupation occurs to the detriment of the forest area. The main objective of this study is to verify the patterns of spatial distribution of soybeans in the Legal Amazon between the years 2000 and 2022. In addition, the manifestation of the phenomenon of spatial convergence was evaluated, that is, whether there is a relative increase in soybeans in the region under study. The variable studied was the municipal planted area with soybeans in all municipalities in the Legal Amazon, totaling 772 observations per year. Statistical methods were used that consider the geographic effects on the variable and regression models with parameters that capture different spatial effects. The results show that, in fact, there is the phenomenon of spatial autocorrelation, and that such correlation has been increasing over time. The econometric models showed the existence of spatial convergence of soybeans in the Legal Amazon, indicating that municipalities with little planted area of soybeans are growing at higher rates than municipalities with large planted areas. This fact occurs because there is a facilitation of production, through technology transfer, infrastructure and production flow.

Keywords: Clusters; Legal Amazon; Soy Production; Spatial Convergence.

[1] Professor da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: walberti@unir.br

[2] Pesquisadora do Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia Fundação Getúlio Vargas (FGV). Doutora em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: sabrina.carlos@fgv.br

INTRODUÇÃO

A partir dos anos de 2010 a produção de soja tem ocupado um importante papel na pauta de exportação brasileira, sendo uma das principais *commodities* produzidas no país. Os volumes expressivos exportados impulsionaram a produção na região Centro-Oeste, que tem apresentado safras crescentes. Para suprir os altos volumes exportados, em especial para a China, observou-se uma expansão vertiginosa da área plantada. Após o esgotamento das áreas disponíveis para cultivo na região Centro-Oeste, predominada pela vegetação do tipo cerrado, passou-se a buscar terras para o cultivo de soja nas fronteiras entre a região Centro-Oeste e Norte, onde predomina o bioma amazônico.

A floresta amazônica se estende por nove países, embora 60% esteja em território brasileiro. No Brasil, grande parte da região Norte é ocupada por esse tipo de vegetação. Dentre as inúmeras especificidades e problemáticas associadas ao bioma amazônico, recentemente, muitos estudos têm evidenciado o crescimento da produção agropecuária na Amazônia Legal. A amplitude desse crescimento tem levado essa região a ser conhecida como nova fronteira agrícola, por representar as novas terras para o cultivo.

Uma das discussões mais proeminentes entre pesquisadores diz respeito ao papel das culturas agrícolas em regiões de floresta. Em especial, tem-se procurado entender as regiões onde essas culturas têm se concentrado e, marcadamente, quais as implicações sobre a localidade na qual estão se inserindo. Isso porque a expansão da agricultura depende das formas e uso da terra, apresentando um efeito geográfico de difusão. Deste modo, a difusão espacial faz com que a expansão da produção agrícola ocorra para as regiões mais próximas, que se beneficiam da infraestrutura já existente. Portanto, ao se analisar a produção agropecuária é fundamental considerar o efeito do espaço geográfico sobre essa variável, principalmente quando se examina a área plantada.

A soja, assim como as demais *commodities*, apresenta efeitos de dependência espacial geográfica. A evolução de sistemas de geoprocessamento permitiu o monitoramento mais detalhado e constante da distribuição espacial, não só do cultivo da soja, mas também da produção agrícola como um todo. Nesse contexto, torna-se importante conhecer a dinâmica da distribuição espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal, como forma de melhor entender a direção e tendências geográficas de ocupação de áreas plantadas. A identificação dessa dinâmica nos permite ter acesso à trajetória da produção de soja na região nas dimensões espacial e temporal.

Desse modo, a produção da soja na Amazônia Legal pode estar atrelada a efeitos espaciais, além de fatores econômicos. O crescimento, em especial, pode ter efeitos de difusão geográfica, apresentando concentrações de produção. Essa condição torna, portanto, fundamental a verificação da existência do

efeito de convergência espacial na produção da soja na Amazônia Legal. O conhecimento desse fenômeno pode ser uma importante ferramenta na formulação de políticas públicas de combate ao desmatamento, uma vez que por meio dessa análise é possível conhecer as regiões onde a produção agrícola é mais intensa e, consequentemente, requer maior atenção.

A utilização de métodos de estimação estatística permite a verificação do problema de pesquisa e o dimensionamento do fenômeno analisado. Especificamente, serão utilizados modelos de inferência estatística que consideram de forma explícita o efeito do espaço geográfico. Portanto, esse estudo será capaz de primeiro verificar a existências de aglomerações na produção de soja na Amazônia Legal e em um segundo momento medir a intensidade espacial do crescimento dessa produção.

Tendo em vista as considerações feitas anteriormente, esse trabalho tem como objetivo principal analisar a distribuição espacial da soja na Amazônia Legal entre os anos de 2000 e 2022. Especificamente, pretende-se verificar a existência de padrões de aglomerações da produção e como essa dinâmica se altera ao longo do tempo. A caracterização dos padrões de aglomerações no cultivo de soja na área considerada também permitirá avaliar a manifestação do fenômeno de convergência espacial, ou seja, se há aumento relativo da soja na região em estudo. Caso se verifique a ocorrência de convergência da plantação de soja, será possível estimar a velocidade em que isso ocorre.

Este trabalho está organizado em seis seções, em que se inclui esta introdução. A segunda seção caracteriza, de forma geral, a produção agrícola na Amazônia Legal. A terceira seção evidencia a metodologia que será utilizada para atender aos propósitos desse estudo, bem como as fontes de dados consideradas. Na quarta seção é feita uma discussão dos resultados obtidos em termos da distribuição da soja na região em estudo, tendo como foco as dimensões espacial e temporal. Na quinta seção é analisada a ocorrência do fenômeno de convergência espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal. Por fim, na sexta seção são destacadas as conclusões desse trabalho, bem como as considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, o que se pode observar é que a agricultura se distribui de forma desigual entre as regiões. A soja, em especial, tem se concentrado fortemente na região Centro-Oeste. Todavia, a expansão da soja, tem alcançado regiões da Amazônia Legal, na fronteira com a região Centro-Oeste (FEARNSIDE, 2006). Uma das maiores forças motrizes desse crescimento é a demanda internacional, em especial, da China. Fuchs (2020) destaca que a demanda chinesa tem efeitos diretos na fronteira agrícola da Amazônia, impulsionando a extensão da área cultivada de soja.

O aumento da demanda internacional gera uma pressão na produção brasileira que se traduz na busca por meios de aumento da produção. Esse aumento ocorre principalmente pela expansão da área plantada. A Amazônia Legal se constitui na maior parte dessas novas áreas ocupadas por plantação de soja. A perspectiva é de que a demanda por soja continue aumentando, gerando maior crescimento da produção da *commodity* (DOMINGUES; BERMANN, 2012; GARCIA; VIEIRA FILHO, 2016; COLUSSI; SCHNITKEY, 2021).

Esse crescimento da soja não é particular ao Brasil, embora seja mais intenso no país, como destaca Song *et al.* (2021), a área plantada de soja mais que dobrou na América do Sul, sendo que a maior expansão ocorreu na Amazônia brasileira, principalmente na região entre cerrado e Amazônia. Uma das principais preocupações com a expansão da soja é o seu impacto sobre o desmatamento, tais como mostrado pela moratória da soja (implementada em 2006), um acordo entre comerciantes de grãos para não comprar soja cultivada em terras recentemente desmatadas em especial na região do arco do desmatamento (HEILMAYR *et. al*, 2020; AMARAL *et al.,* 2021).

Os efeitos espaciais na agricultura provêm da dependência de condições climáticas, solo, preço da terra, infraestrutura de escoamento, *etc*. Como destaca Almeida, Perobelli e Ferreira (2008), os efeitos da interdependência manifestam-se por meio de ordenação geográfica, difusão espacial, influência de vizinhos e expansão de fronteira agrícola. Os efeitos da distribuição espacial da agricultura tornam-se ainda mais importantes na Amazônia Legal, pois o crescimento dessas áreas implica em ocupação de regiões de floresta. Santos *et. al.* (2021), por sua vez, analisaram a variabilidade espacial do desmatamento na Amazônia (2010–2019) usando Regressão Geograficamente Ponderada (GWR). Os autores mostraram que o setor pecuário no sul da Amazônia é o principal agente econômico que pressiona grandes áreas de desmatamento, assim como a existência de *cluster* na porção sul do arco do desmatamento.

A soja não é diferente e também apresenta efeitos de dispersão, em parte porque a adoção da produção de uma determinada *commodity* depende de transferência de tecnologia para o plantio, colheita e escoamento da produção (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014; ODERICH *et al*., 2019). Desse modo, existe incentivo econômico para a concentração agrícola, gerando efeitos espaciais na produção e no crescimento da área plantada de soja. Amaral (2021) mostra a necessidade de se considerar os efeitos espaciais na análise da distribuição da soja, embora o autor tenha considerado apenas uma amostra dos municípios (287) da Amazônia Legal.

A dinâmica de mudança no uso da terra, ocorre com o desmatamento para implantação de pastagens, que posteriormente dão lugar às plantações de soja, principalmente nas regiões de fronteira entre os estados do Mato Grosso, Rondônia e Pará (BARBOSA, 2003). A concentração da produção da

soja tem impacto não somente no desmatamento, mas também em aspectos sociais e demográficos. No estado do Pará, por exemplo, a concentração da produção de soja cria concentração de terra, gerando conflitos agrários (SAUER, 2018).

Existem na literatura diversos estudos dedicados ao crescimento da soja na Amazônia, dentre os quais pode-se destacar o de Oliveira (2015), que evidenciou a expansão da soja em direção ao cerrado na região Centro-Oeste e Nordeste do país. Esse movimento foi impulsionado pelo crescimento das exportações, fenômeno que alterou a distribuição da produção no Brasil. Tanure et. al. (2020) mostram que pode haver uma queda nos indicadores econômicos na Amazônia Legal, implicando em perda no PIB real da ordem de 1,18% em 2049 devido à diminuição da produção e do emprego no setor agrícola. Além disso, os autores destacam que o desmatamento poderia aumentar devido à substituição gradual de áreas de pastagens por campos de cultivo, afetando mais os estados do Mato Grosso, Tocantins e Pará.

Domingues e Bermann (2012) avaliam que a expansão da soja está, em parte, associada diretamente ao desmatamento da floresta amazônica. Isso ocorre devido ao avanço para a região Central e Norte do Brasil. No mesmo sentido, Santos (2010) destaca, por meio de modelos econométricos, que a soja tem se expandido na Amazônia Legal, entre os anos de 2002 e 2007 e tem sido, junto com a pecuária, uma das mais importantes culturas na região.

Em sua maioria, os estudos têm como foco regiões específicas, tais como o estudo de Gollnow *et al.* (2020) que examinou os efeitos diretos e indiretos da expansão da soja sobre o desmatamento em Mato Grosso, o principal estado produtor de soja no Brasil. O estado de Rondônia foi analisado por Costa (2017) que mostrou que a incursão das plantações de soja em terras desmatadas para outros usos (sendo o principal a pecuária) está contribuindo para o deslocamento de pastagens, das áreas plantadas mais antigas para áreas mais remotas de fronteira do bioma amazônico. Por outro lado, Sauer (2018) estudou as relações entre a expansão das plantações de soja e os conflitos por terras em Santarém, particularmente no pós-2001. O autor conclui que a relação entre essas variáveis teve impacto sobre direitos de propriedade, preço da terra e segurança.

Esse estudo avança em dois aspectos principais, primeiramente por considerar na análise todos os munícipios da Amazônia Legal e segundo por incorporar os efeitos espaciais da produção de forma explícita. Espera-se contribuir para literatura com a ampliação da dinâmica espaço temporal da produção de soja e com a identificação dos padrões de concentrações das áreas cultivadas.

METODOLOGIA

Quanto ao método de pesquisa, pode-se classificar esse estudo como uma pesquisa quantitativa de cunho estatístico inferencial. De modo que, por meio de testes de probabilidade é possível determinar

as hipóteses levantadas. Desse modo, essa pesquisa tem como base o positivismo corroborado por métodos matemáticos e estatísticos padronizados e descritos na próxima seção, possibilitando a descrição do fenômeno de convergência espacial da soja.

Estatística espacial

Existem diversas formas de se analisar a concentração e distribuição espacial de uma variável. Nesse estudo, empregamos a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). O objetivo principal dessa abordagem é verificar a existência de autocorrelação espacial. Essa estatística é verificada pelo cálculo do índice *I* de Moran Global, dado pela seguinte fórmula:

$$I = \frac{\Sigma_i \Sigma_j w_{ij}(z_i - \underline{z})(z_j - \underline{z})}{\sum_i^n (z_i - \underline{z})^2} \qquad (1)$$

Em que:

I representa o índice de correlação espacial de Moran;

w_{ij} é a matriz de pesos espaciais considerada;

n representa o número de regiões estudadas;

Z_i é o valor da variável estudada na área *i*,

$\underline{Z}$ é o valor médio da variável em uma determinada área.

Quando analisamos os efeitos espaciais existentes sobre uma determinada variável, estamos considerando o efeito que municípios vizinhos têm sobre uma determinada região. A quantidade de vizinhos a ser considerada é definida pelo tipo de matriz de pesos espaciais escolhida. Normalmente são empregadas as matrizes do tipo rainha ou torre, que possuem esses nomes por escolherem a quantidade de vizinhos conforme os movimentos feitos por essas peças no jogo de xadrez. Além disso, também podemos considerar os *n* vizinhos com maior área de fronteira.

O *I* de Moran é um índice de correlação, de modo que valores positivos desse indicador evidenciam que os municípios vizinhos ao município considerado no estudo seguem a mesma direção da variável analisada. Deste modo, se, por exemplo, observa-se um aumento em determinada variável no munícipio em estudo, também será observado um aumento dessa mesma variável em municípios vizinhos. O oposto é válido para valores negativos.

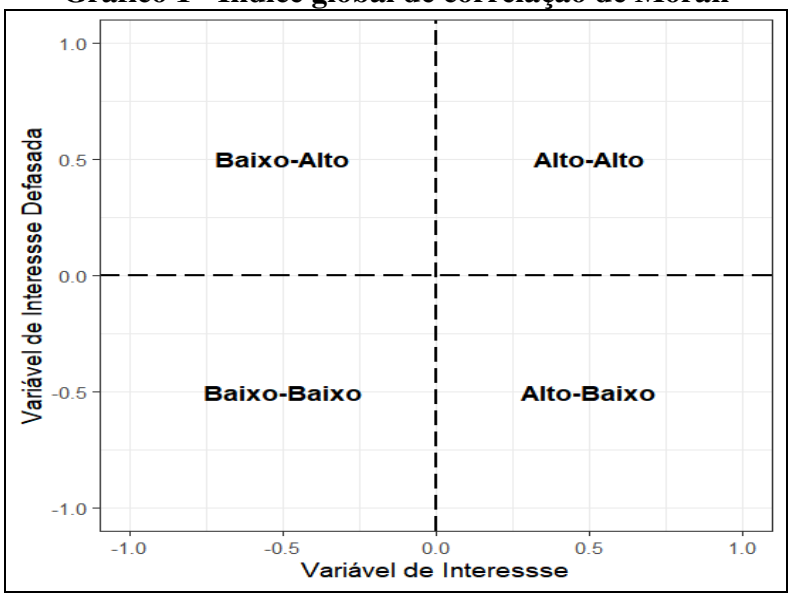
O índice *I* de Moran, por ser uma estatística global, pode mascarar padrões espaciais locais de uma variável. Uma forma de contornar essa limitação, é conduzir uma análise local, o que pode ser feito por meio do *Local Indicator of Spatital Analysis (LISA)*:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^{j} w_{ij} Z_i \qquad (2)$$

As variáveis que compõem a equação do LISA são as mesmas da Equação 1, a diferença aqui é que o I_i vai variar de acordo com a região objeto da análise. Um fator importante a considerar é que a soma dos indicadores locais deve ser proporcional ao indicador global. Esse indicador irá mostrar para cada observação, uma indicação de *clusters* espaciais significativos estatisticamente.

Umas das formas mais comuns de apresentar os resultados do *LISA* é por meio de um plano cartesiano, que apresente o índice de Moran global e as suas contrapartes locais. Os resultados são normalmente apresentados através de um diagrama de dispersão, tal como mostrado no gráfico 1:

Gráfico 1 - Índice global de correlação de Moran



Fonte: Elaboração própria.

Como pode-se observar através do gráfico 1, o plano cartesiano com o diagrama de dispersão de Moran apresenta quatro padrões de associação local. Os quatro quadrantes são os seguintes: Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto, indicando a associação entre a variável de interesse (eixo das abscissas) e a mesma variável nos vizinhos (eixo das ordenadas), ponderada pela matriz de pesos espaciais.

O primeiro e o terceiro quadrante, indicam a presença de autocorrelação espacial positiva. Enquanto o segundo e o quarto quadrante, mostram a autocorrelação espacial negativa, com regiões de valores contrários.

Convergência espacial

O conceito de convergência surge com o trabalho de Baumol (1986), que verificou a existência de convergência de renda entre alguns países. A ideia básica do trabalho era a de que os países com menores níveis de renda *per capita* tendem a apresentar maiores taxas de crescimento, sendo tais taxas maiores do que as observadas em países com maiores níveis de renda *per capita*. Esse processo faria com que ao longo do tempo a diferença entre os dois grupos se reduzisse.

O princípio da convergência também pode ser aplicado à produção agrícola, tal como nos trabalhos de Almeida, Perobelli e Ferreira (2008) e Antunes (2021). No caso do presente estudo, é aplicado o conceito de convergência no qual procura- se verificar se as diferenças nas áreas plantadas de soja nos municípios da Amazônia Legal estão em processo de diminuição ao longo do tempo.

Se existir tal fenômeno, então as regiões com menores áreas plantadas de soja estão se expandindo a uma taxa de crescimento maior que as regiões com maiores áreas plantadas de soja. Empiricamente, a convergência é verificada estatisticamente por meio de uma regressão linear baseada na formulação matemática que pode ser definida da seguinte forma:

$$Crescimento_i = \beta_1 + \beta_2 ln\left(Soja_{2000,i}\right) + u_i \qquad (3)$$

Em que $Crescimento_i$ é a taxa de crescimento da área plantada de soja no município *i* calculada como: $ln\left(Soja_{2022,i}\right)$- $ln\left(Soja_{2000,i}\right)$. Sendo a variável independente $ln\left(Soja_{2000,i}\right)$, o início do período analisado; β_i são os parâmetros a serem estimados. A estimação da equação (3) é usualmente feita através do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A convergência é captada pelo parâmetro β_2 e é dita absoluta quando esse parâmetro apresenta um sinal negativo. Esse resultado indicaria que a diferença entre municípios com grandes áreas plantadas de soja e municípios com pequenas áreas plantadas está diminuindo.

A equação (3) pressupõe que os termos de erros são independentes, o que pode não ser observado empiricamente, uma vez que o município *i* pode estar influenciando o município *j*. Em outras palavras, pode haver um efeito espacial que deveria ser considerado na estimação da regressão. Se a variável de interesse depender da localização de forma a influenciar as observações, então deveria ser

estimado um modelo de erro espacial. O efeito espacial é captado pelo termo de erro u_i modificado da equação (3), da seguinte forma:

$$u_i = \lambda W_i u_i + \epsilon_i \quad (4)$$

Em que λ é o coeficiente de erro espacial, e o termo de erro original u_i agora é ponderado pela matriz de pesos espaciais W_i. Se não houver correlação espacial entre os erros, então $\lambda = 0$, mas se $\lambda \neq 0$, então existe efeito espacial na distribuição da área plantada de soja.

A dependência espacial também pode se manifestar na forma de defasagem em uma regressão que pode ser modelada de forma semelhante a um processo autoregressivo em séries temporais. Matematicamente, o modelo de defesagem espacial pode ser definido como:

$$u_i = \rho W_i Crescimento_j + \epsilon_i \quad (5)$$

Em que ρ é o parâmetro a ser estimado, que indica a existência de correlação espacial; $W_i Crescimento_j$ é a variável dependente espacialmente defasada pela matriz de pesos espaciais. Se não houver dependência espacial e o $Crescimento_i$ não depender dos valores vizinhos do $Crescimento_j$, então $\rho = 0$. Se, por outro lado, ρ apresentar um valor positivo, isso indica que se espera que municípios tenham grandes áreas plantadas de soja se, em média, os seus vizinhos tiverem grandes áreas plantadas de soja.

Fonte de dados

Delimitamos a região de estudo para a Amazônia Legal, que corresponde a totalidade dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão. O nível de análise escolhido foi o municipal, o mais desagregado possível.

Para se trabalhar com dados geoespaciais são necessários mapas no formato de *shapefile*. Esse formato de arquivo contém dados do Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como SIG. Nessa pesquisa foi empregado o *shapefile* do mapa da Amazônia Legal obtido junto ao IBGE (2024), contendo os dados espaciais em geometrias de polígonos.

A variável de estudo utilizada nesse trabalho é a área municipal plantada da soja em todos os municípios da Amazônia Legal, totalizando 772 observações por ano. Essa variável é medida em hectares. Os dados foram coletados na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2024) e abrangem

o período de 2000 e 2022 (último ano disponível para análise). Portanto, essa pesquisa utiliza dados secundários oficiais, disponibilizados pelo IBGE no formato de Excel.

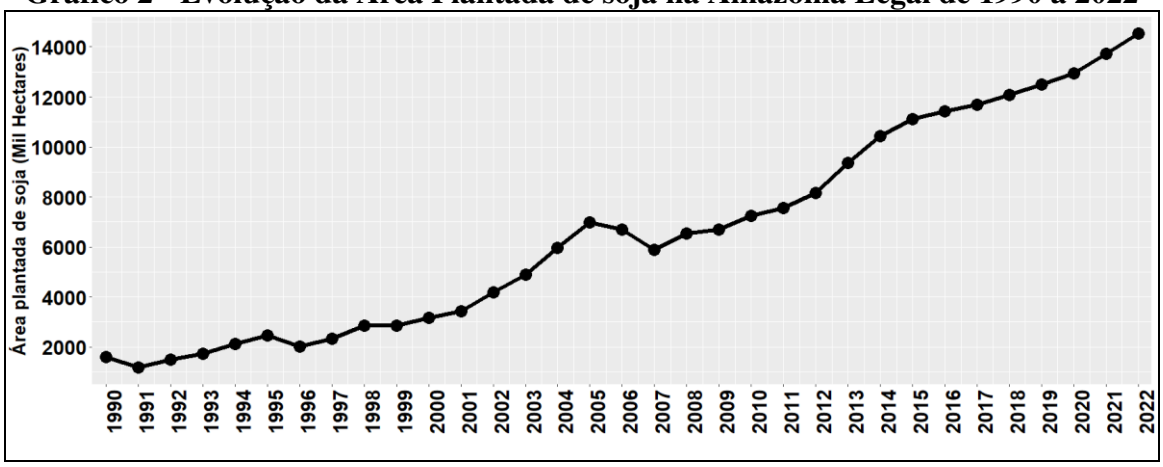
As estimações têm como base o uso de informações geográficas, assim a variável área municipal plantada da soja foi inserida na base de dados do *shapefile* por meio do programa R Core Team (2024). O R é um programa estatístico livre que pode ser utilizado para tratamento, estimativas e análise dos dados. Com os dados da área plantada inseridas no *shapefile* procedeu-se à estimação dos modelos econométricos de convergência, apresentados nas equações (3), (4) e (5).

Especificamente dentro do R usamos pacotes voltados a análise estatística espacial, empregando o pacote *sp (spatial data): Classes and Methods for Spatial Data* (PEBESMA; BIVAND, 2005) para representação dos dados no formato de mapas, seleção espacial, *etc*. O pacote *sf* (*Simple Features*) (PEBESMA, 2018) suporta recursos simples, principalmente uma forma padronizada de codificar dados vetoriais espaciais, permitindo operações geométricas, além de representar estatísticas geográficas nos mapas. As matrizes de pesos espaciais e as estimações dos modelos foram feitas com a utilização do pacote *spdep: Spatial Dependence: Weighting Schemes, Statistics* (BIVAND; WONG, 2018) que possui uma coleção de funções para criar objetos de matriz de pesos espaciais a partir de contiguidades de polígonos e também testes para autocorrelação espacial, incluindo o *I Moran* global.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O que tem se observado desde os anos 2000 é um aumento vertiginoso da área plantada de soja em todo o Brasil, tendo como finalidade principal a exportação. Quando se considera a evolução da área plantada na região da Amazônia Legal, o avanço da soja fica ainda mais evidente. O gráfico 2 apresenta a evolução área plantada total de soja, em hectares, de 1990 a 2022.

Gráfico 2 - Evolução da Área Plantada de soja na Amazônia Legal de 1990 a 2022



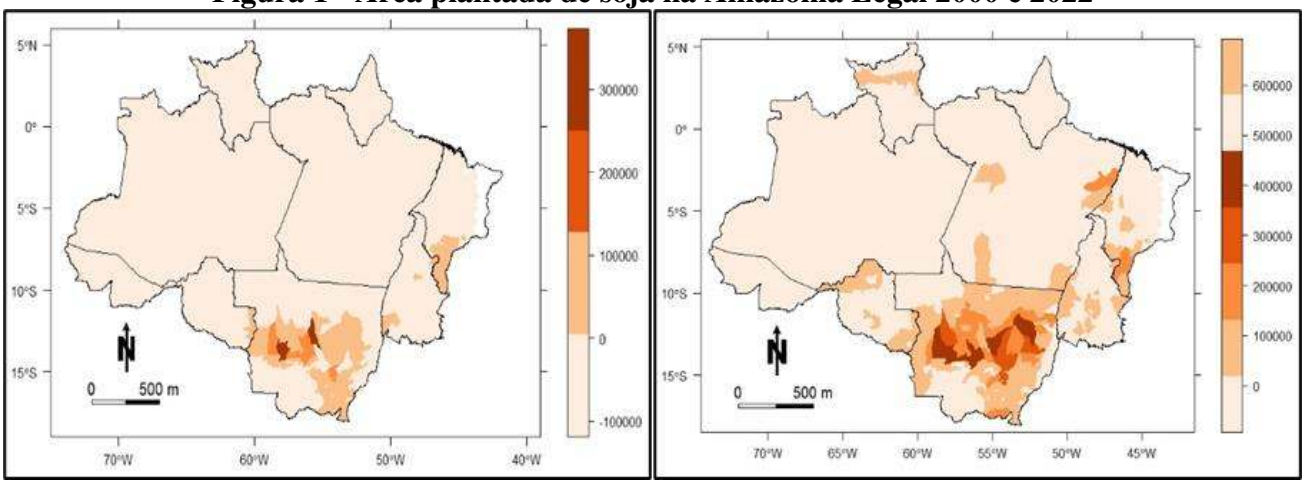
Fonte: Elaboração própria.

Como podemos observar, no início dos anos 2000 há uma tendência positiva de aumento da área plantada de soja na Amazônia Legal, corroborando os estudos que evidenciam o avanço da fronteira agrícola. A maior parte destes trabalhos, tem se dedicado a ocupação da soja na Amazônia, tornando incipiente os estudos da dinâmica dentro da região.

Desse modo, uma questão importante pode ser levantada: Onde se concentra a produção de soja na Amazônia? Para responder a essa questão é necessário, inicialmente, entender como analisar o processo de distribuição espacial de uma variável.

Iniciamos a nossa análise apresentando a distribuição espacial da área plantada de soja na Amazônia Legal. Foi calculada a média da área plantada, e em seguida, foram criados quatro intervalos baseados no desvio padrão. Esses intervalos são representados na figura 1, indicando a intensidade do cultivo da soja em cada município considerado. As cores mais escuras indicam os municípios com maior área plantada.

Figura 1 - Área plantada de soja na Amazônia Legal 2000 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

Quando são comparados os anos de 2000 e 2022, a figura 1 torna mais evidente o crescimento da área plantada de soja nos municípios próximos à região Centro-Oeste. Enquanto no ano de 2000 a soja ocupava grande parte do estado do Mato Grosso, com pequenas áreas produzidas no Tocantins, na fronteira com o Mato Grosso, e no Sul do Maranhão, nos estados restantes, quase não existia área plantada. Já no ano de 2022, esse cenário se altera significativamente com o aumento considerável da área plantada de soja, principalmente, no estado de Rondônia, mais especificamente no Cone Sul do estado.

O estado do Tocantins teve um aumento considerável da área plantada em 2022, com maior intensidade na fronteira com o Mato Grosso. Além disso, a produção no estado do Mato Grosso,

também aumentou notavelmente. É igualmente relevante observar áreas plantadas nos estados do Pará e Roraima, onde não existia produção em 2000.

Essa dinâmica reflete o avanço da chamada fronteira agrícola em direção ao Norte do país, ou seja, rumo a Amazônia Legal. A figura 1 apresenta forte evidência do avanço da soja na região amazônica. Além disso, indica que esse avanço ocorre do Sul da região em direção ao Norte.

Análise global

Para verificarmos de forma mais rigorosa a distribuição espacial da área plantada de soja, estimamos o *I* de Moran para os anos de 2000 e 2022. Foram testados vários tipos de matrizes de contiguidade; rainha e torre, assim como cinco e seis vizinhos mais próximos. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Matrizes de pesos espaciais

Matrizes de pesos	Soja em 2000	Soja em 2022
Rainha	0,412***	0,640***
Torre	0,412***	0,643***
5 Vizinhos	0,304***	0,562***
6 Vizinhos	0,320***	0,555***

Fonte: Elaboração própria.
Nota: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Como evidencia a tabela 1, o *I* de Moran é muito parecido em termos de sinais e magnitude em todos os tipos de matrizes. Além disso, mostraram-se estatisticamente significativos em todos os casos. A matriz de contiguidade do tipo rainha e torre foram as que melhor captaram os efeitos espaciais. Neste estudo será empregada a matriz do tipo torre para a análise da correlação espacial e também para as estimações dos modelos de convergência espacial.

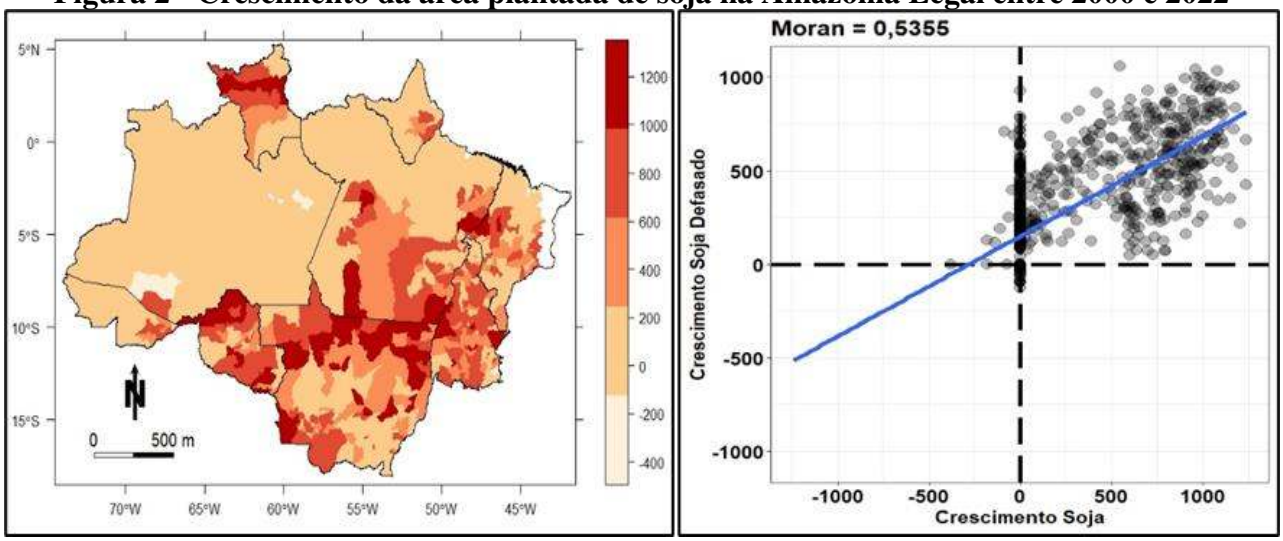
Considerando os anos de 2000 e 2022, observa-se que, em ambos os anos, a área plantada de soja apresentou correlação espacial positiva e estatisticamente significativa. Esse resultado indica que existe uma tendência de que municípios com uma grande área plantada de soja, sejam cercados por também municípios com grande área plantada. No ano de 2000, o nível de correlação espacial era de 41,2%, enquanto em 2022, essa correlação foi de 64,3%, ou seja, um aumento de 23,1 pontos percentuais no intervalo de 22 anos.

Esses resultados corroboram o encontrado na seção anterior, uma vez que mostram um aumento substancial da concentração espacial da área plantada de soja. Há, portanto, evidências de que a soja, não só tem avançado sobre a Amazônia, mas como também está se concentrando e apresentando um padrão espacial de difusão.

Crescimento espacial

Seguindo a análise da dinâmica da distribuição espacial do cultivo de soja na Amazônia Legal, também representamos a taxa de crescimento (equação 3) da área plantada em um mapa. Além disso, é calculado o índice de Moran global para o crescimento, ambos são representados na figura 2. O índice global de Moran foi estatisticamente significativo ao nível de 53,5%, indicando a existência de autocorrelação espacial do crescimento da soja. Em outras palavras, quase metade dos municípios estão cercados por também municípios com alta taxa de crescimento do cultivo de soja. Novamente, essa dinâmica indica como a soja tem crescido de forma consistente na Amazônia Legal.

Figura 2 - Crescimento da área plantada de soja na Amazônia Legal entre 2000 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

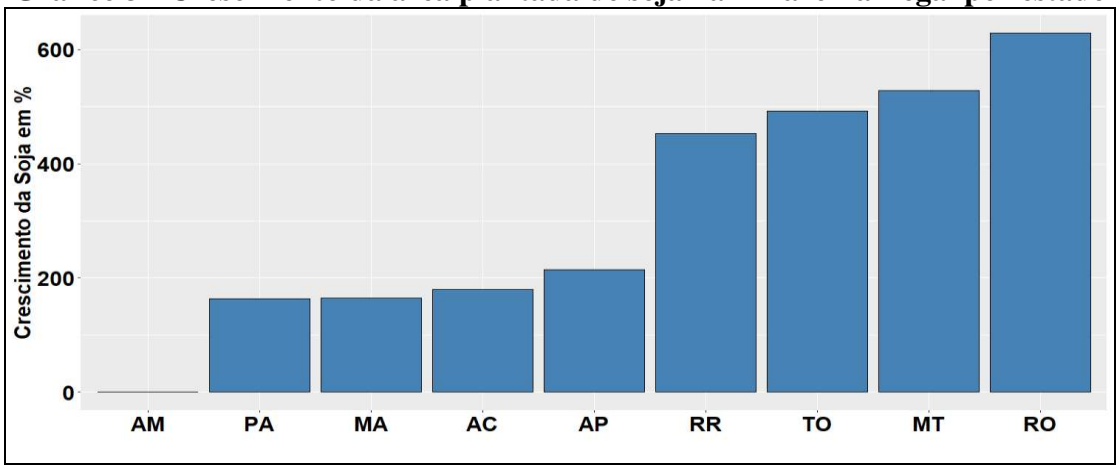
A figura 2 mostra que a grande maioria dos municípios apresentou uma taxa de crescimento extremamente elevada, sendo a média geral da taxa de crescimento igual à 314,8%, corroborando a pujante expansão da soja na Amazônia Legal. O maior crescimento foi apresentado pelo município de São Félix do Araguaia no Mato Grosso que cresceu 1239%, seguido de perto por Ipiranga do Norte, também localizado no Mato Grosso, em que a taxa de crescimento do cultivo de soja foi de 1237%. Quando consideradas as dez maiores taxas de crescimento, oito desses municípios estão localizados no estado do Mato Grosso, enquanto os outros dois (Dom Eliseu e Santana do Araguaia) localizam-se no estado do Pará.

Algumas regiões apresentaram uma taxa de crescimento negativa, porém, em sua maioria, são municípios que em 2000 possuíam uma pequena área plantada. Desse modo, como são áreas em que o cultivo de soja era muito pequeno, as barreiras para o aumento da produção levam a uma redução

considerável da área plantada. Por exemplo, o município de Itacoatiara, localizado no estado do Amazonas, possui uma área plantada de soja de 45 hectares em 2000 e nenhuma em 2022. Os maiores decréscimos observados foram de municípios do estado do Amazonas, tendo cinco entre as dez maiores reduções. Os outros municípios entre os dez estavam em Tocantins (três) e Mato Grosso (dois). Políticas ambientais mais severas ou intensivas, além de um maior nível de fiscalização, podem ser apontados como algumas das razões para essa diminuição.

Pode-se também analisar o crescimento médio por estado, para entender melhor em quais regiões o crescimento tem sido mais acentuado. Calculamos o crescimento médio por estado entre os anos de 2000 e 2022, sendo os resultados apresentados no gráfico 3.

Gráfico 3 - Crescimento da área plantada de soja na Amazônia Legal por estado



Fonte: Elaboração própria.

Na figura 3, o crescimento é apresentado em ordem crescente. O único estado em que houve diminuição da área plantada foi o Amazonas (AM), sendo essa redução de -0,33%. Por sua vez, o estado com maior taxa média de crescimento foi Rondônia com 629%, seguido de perto pelos estados do Mato Grosso e Tocantins, com taxas de crescimento de 528% e 492%, respectivamente. Esse fato, mais uma vez, evidencia o crescimento da fronteira agrícola, uma vez que os estados que fazem fronteira com o Centro-Oeste são aqueles que apresentam as maiores taxas de crescimento da área plantada destinada à produção de soja.

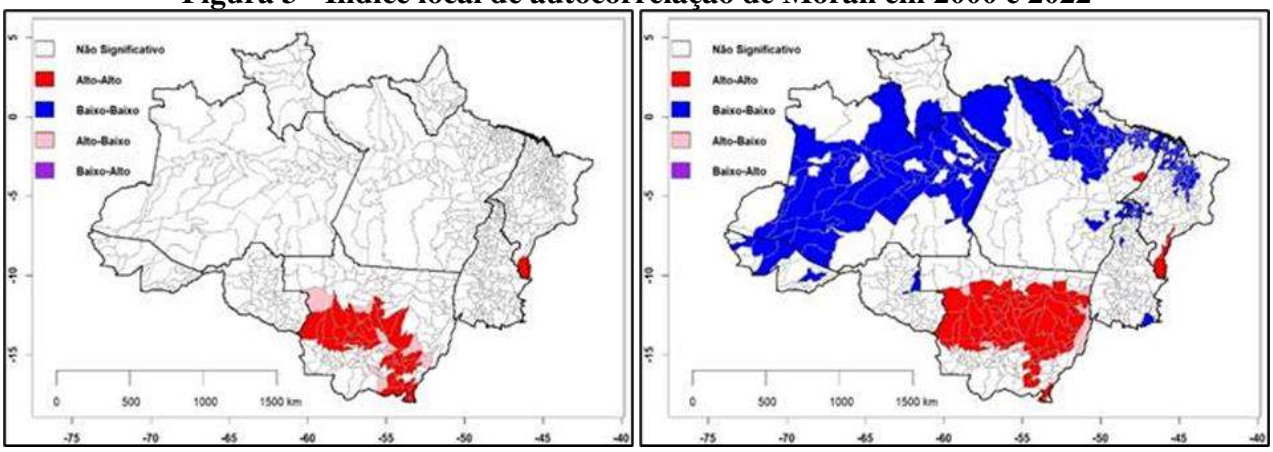
Análise local

Até o momento, os padrões de associação espacial da área plantada de soja foram apresentados de forma global. Nas seções anteriores foram apresentadas evidências de que de fato a produção de soja

na Amazônia Legal apresenta um efeito de difusão espacial. Todavia, é necessário verificar se os mesmos padrões também são observados localmente.

Utilizando o diagrama de dispersão de Moran mostrado no gráfico 1, podemos representar os padrões de associação local (os quadrantes do plano cartesiano) por meio de um mapa, em que são descritos os quatro tipos de associações. Os resultados são apresentados na figura 3.

Figura 3 - Índice local de autocorrelação de Moran em 2000 e 2022



Fonte: Elaboração própria.
Nota: p-valor estimado por 999 permutações aleatórias.

Através da figura 3, nota-se que no ano de 2000 existia um grande *cluster* do tipo Alto-Alto no estado do Mato Grosso, e um pequeno ao sul do Maranhão. Além disso, também é possível observar alguns municípios em fase de transição do tipo Alto-Baixo, no estado do Mato Grosso.

No ano de 2022, contudo, pode-se observar uma grande transformação na área plantada de soja em toda a região. O *cluster* do tipo Alto-Alto aumentou consideravelmente no Mato Grosso, ocupando a maior parte do estado. Ao sul do estado do Maranhão ainda se observa um *cluster* desse mesmo tipo. A mudança mais significativa pode ser vista nos estados do Pará, Amazonas e Acre. No ano de 2000 não era possível notar nenhum padrão de aglomeração espacial nesses estados. No entanto, já em 2022 pode-se observar padrões do tipo Baixo-Baixo. Embora seja um *cluster* Baixo-Baixo, esse padrão indica claramente que a soja está se aglomerando na Amazônia Legal, uma vez que padrões espaciais de aglomerações estão sendo observados em regiões que anteriormente não apresentavam nenhum tipo de representatividade. Desse modo, essa cultura tem se tornado forte, no sentido de estar aglomerando espacialmente, nessa região.

Convergência espacial

Considerando as evidências apresentadas nas seções anteriores, observa-se um forte crescimento da soja na Amazônia Legal e com a intensificação da correlação espacial, uma pergunta que emerge nesse contexto é: Existe convergência espacial da produção de soja na Amazônia Legal?

Para responder a essa questão, estimou-se um modelo de convergência espacial através do método de MQO. Além disso, também foram estimados dois modelos considerando explicitamente os efeitos espaciais. Em um deles foi considerado o efeito do erro espacial e no outro o efeito da defasagem espacial.

No modelo em que consideramos o erro espacial, os efeitos espaciais estão presentes no termo u_i da equação 3, para captar esse efeito é estimado um parâmetro λ. Já no modelo em que é considerada a defasagem espacial, assume-se que o efeito espacial e os efeitos geográficos estão presentes na variável $Soja_{2000,i}$. Nesse caso, é incluído o parâmetro ρ no modelo. Os resultados dos três modelos estimados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Modelos de convergência estimados

	MQO	Erro	Defasagem
β_1	3.322***	3,320***	1,006***
	(0,153)	(0,505)	(0,138)
β_2	-0,145***	-0,641***	-0,244***
	(0,047)	(0,041)	(0,035)
Λ		0,826***	
		(0,022)	
P			0,765***
			(0,025)
AIC	4317	3718	3867
Moran	0,576***		
Wald teste		1020***	921,3***
Observações	772	772	772

Fonte: Elaboração própria.
Nota: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

A tabela 2 evidencia que todos os parâmetros estimados foram estatisticamente significativos ao nível de 1% de significância. Após a estimação do modelo MQO, verificou-se a existência de efeito espacial sobre os erros da regressão, conforme mostra o teste de Moran que foi de 0,576, indicando que o modelo de convergência deve considerar o efeito espacial. Outro aspecto importante é a significância estatística dos parâmetros que captam o efeito espacial, ambos com valores consideráveis. Esses resultados reforçam as evidências da necessidade de considerar de forma explícita os efeitos geográficos nos modelos de regressão de variáveis agropecuárias.

Os parâmetros λ e ρ indicam que a localização e proximidade é fundamental na expansão da soja na Amazônia Legal. Esse efeito pode ser explicado em parte pela transferência de tecnologias na agricultura e o aproveitamento de infraestrutura necessária para o escoamento da produção. Muito produtores decidem o que plantar baseado no que está sendo produzida na região, gerando o efeito de difusão espacial. A principal consequência desse fenômeno é a concentração da produção e no segundo momento a expansão sobre novas áreas, como evidenciado através dos resultados.

A existência da convergência espacial pode ser verificada pelo sinal negativo do parâmetro β_2, apresentado em todos os modelos. Isso porque o valor negativo indica que municípios com menores áreas plantadas de soja estão crescendo a uma taxa maior do que os municípios com grandes áreas plantadas. Ademais, a tabela 2 mostra que em todos os modelos estimados é verificada a existência da convergência espacial absoluta da soja na Amazônia Legal. Esse resultado indica que além de haver um avanço da soja sobre a região amazônica, há também um aumento da área plantada em munícipios que possuem pouca produção de soja. Desse modo, começam a surgir na Amazônia regiões *clusters* que concentram a área plantada da soja.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo buscou-se mostrar a existência de padrões de aglomerações espaciais da área plantada da soja na Amazônia Legal por meio de métodos estatísticos que consideram os efeitos do espaço geográfico. Pode-se observar que de fato existe o fenômeno da autocorrelação e que tal correlação vem aumentando ao longo do tempo. Essa dinâmica é um forte indicativo de que a expansão da soja sobre as regiões de floresta vem ocorrendo a taxas cada vez maiores.

Os mapas apresentados fornecem uma representação visual desse avanço da soja sobre a Amazônia Legal. As formações de *clusters* de municípios com grandes áreas plantadas tem surgido principalmente nos estados que fazem fronteira com o Centro-Oeste, comprovando o efeito de dispersão espacial. O crescimento da soja também apresentou forte efeito de autocorrelação, mostrando que a dinâmica dentro da própria região já é de espalhamento entre os munícipios.

Também foi verificado, por meio de modelos econométricos, a existência de convergência espacial da soja na Amazônia Legal. Esse resultado mostra que os efeitos de espalhamento vindo de outras regiões também são observados dentro da Amazônia. Isso representa uma dinâmica de crescimento da área plantada em municípios que em 2000 possuíam pouca soja, a taxas maiores do que os municípios com grande área plantada. Esse fato ocorre porque existe um facilitamento da produção, por meio de transferência de tecnologia, infraestrutura e de escoamento da produção.

Uma sugestão de pesquisa para estudos posteriores é verificar como cada estado tem lidado com esse crescimento interno da área de soja e como políticas de proteção à floresta amazônica tem impactado a expansão da soja na Amazônia Legal.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. S. D.; PEROBELLI, F. S.; FERREIRA, P. G. C. "Existe convergência espacial da produtividade agrícola no brasil?" **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 46, n. 1, 2008.

ANTUNES, L. A. **Convergência da produtividade agropecuária**: uma análise considerando regimes espaciais por biomas entre os anos de 1995 e 2017 (Dissertação de Mestrado em Economia). Ponta Grossa: UEPG, 2021.

BARBOSA, F. R. G. M. *et al*. "Land-Use Dynamics for Agricultural and Livestock in Central-West Brazil and its Reflects on the Agricultural Frontier Expansion". **Cleaner and Circular Bioeconomy**, vol. 4, 2023.

BAUMOL, W. J. "Productivity Growth, Convergence and Welfare: What the Long-Run Data Show". **American Economic Review**, vol. 76, n. 5, 1986.

BIVAND, R.; WONG, D. W. S. "Comparing implementations of global and local indicators of spatial association". **TEST**, vol. 27, n. 3, 2018.

COLUSSI, J.; SCHNITKEY, G. "Brazil likely to remain world leader in soybean production". Farm**doc Daily**, n. 11, 2021.

COSTA, O. B. *et al*. "Spatiotemporal mapping of soybean plantations in Rondônia, Western Brazilian Amazon". **Acta Amazonica**, vol. 47, 2017.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. "O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja". **Ambiente e Sociedade**, vol. 15, n. 8, 2012.

FEARNSIDE, P. M. "O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira". **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**, vol. n. 1, 2006.

FUCHS, V. B. "Chinese-driven frontier expansion in the amazon: four axes of pressure caused by the growing demand for soy trade". **Civitas-Revista de Ciências Sociais**, vol. 20, 2020.

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. "Reflexões sobre o papel da política agrícola brasileira para o desenvolvimento sustentável". **Texto para Discussão – Ipea**, n. 1936, 2014.

GOLLNOW, F. *et al*. "Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil". **Land Use Policy**, vol. 78, 2018.

HEILMAYR, R. *et al*. "Brazil's Amazon soy moratorium reduced deforestation". **Nature Food**, vol. 1, n. 12, 2020.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Brasília: Embrapa, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso 15/04/2024.

ODERICH, E. H. *et al*. "Expansão do agronegócio no Brasil: Diferentes discursos e dinâmicas socioeconômicas no Rio Grande do Sul". **Revista de Desarrollo Económico Territorial**, n. 16, 2019.

OLIVEIRA, A. U. "A Amazônia e a nova geografia da produção da soja". **Terra Livre**, vol. 1, n. 26, 2015.

PEBESMA, E. "Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data". **The R Journal**, vol. 10, n. 1, 2018

PEBESMA, E. J.; BIVAND, R. S. "Classes and methods for spatial data in R". **R News**, vol. 5, n. 2, 2005.

R CORE TEAM. "R: A Language and Environment for Statistical Computing". **R Core Team** [2024]. Disponível em: <www.R-project.org>. Acesso 30/04/2024.

SANTOS, A. M. *et al*. "Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: assessing new spatial predictors". **Journal of Environmental Management**, vol. 294, 2021.

SANTOS, R. P. **Os Principais Fatores do Desmatamento na Amazônia (2002-2007)**: Uma análise econométrica e espacial (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Sustentável). Brasília: UnB, 2010.

SAUER, S. "Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts". **Land Use Policy**, vol. 79, 2018.

SONG, X. P *et. al*. "Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation". **Nature Sustainability**, vol. 4, n. 9, 2021.

TANURE, T. M. P. *et al*. "The impacts of climate change on agricultural production, land use and economy of the legal amazon region between 2030 and 2049". **Economia**, vol. 21, n. 1, 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R. "Expansão da fronteira agrícola no Brasil: Desafios e perspectivas". **Texto para Discussão – Ipea**, n. 2223, 2016.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VI | Volume 18 | Nº 53 | Boa Vista |2024

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima