

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA SOJA NO PARÁ ENTRE 2003 E 2023

Caroline da Silva

Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PGSER), Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas 1758, São José dos Campos - SP, 12227-010. caroline.silva@inpe.br

RESUMO

A produção de soja tem se destacado como uma das principais atividades agrícolas no Brasil, impulsionando o desenvolvimento econômico, mas também gerando impactos ambientais significativos, especialmente no bioma amazônico. Neste contexto, este estudo analisa a distribuição espaço-temporal da soja no estado do Pará entre 2003 e 2023. Utilizando dados do Global Land Analysis & Discovery (GLAD) e ferramentas de análise espacial, como os índices Global e Local de Moran e estatística de varredura *Scan* espaço-temporal, foi possível identificar padrões de concentração e expansão da cultura. Os resultados apontam um crescimento expressivo de 1162% na área, totalizando 592 mil hectares em 2023. A expansão ocorre de forma concentrada, especialmente nas regiões nordeste e sudeste do estado, destacando municípios como Paragominas, Dom Eliseu e Santana do Araguaia. O trabalho evidencia a tendência de interiorização do cultivo e a consolidação *clusters* de produção no estado.

Palavras-chave – Análise Espacial, Soja, Pará, Índice de Moran, Estatística Scan.

ABSTRACT

Soybean production has emerged as one of the main agricultural activities in Brazil, driving economic development but also generating significant environmental impacts, especially in the Amazon biome. In this context, this study analyzes the space-time distribution of soybeans in the state of Pará between 2003 and 2023. Using data from the Global Land Analysis & Discovery (GLAD) and spatial analysis tools such as the Global and Local Moran indices and the space-time Scan statistic, it was possible to identify patterns of concentration and expansion of the crop. The results show a remarkable 1162% increase in area, totaling 592,000 hectares in 2023. The expansion occurs in a concentrated manner, particularly in the northeastern and southeastern regions of the state, highlighting municipalities such as Paragominas, Dom Eliseu, and Santana do Araguaia. The study reveals the trend of interiorization of the crop and the consolidation of production clusters in the state.

Keywords – Spatial Analysis, Soybean, Pará, Moran Index, Scan Statistic.

1. INTRODUÇÃO

A soja é atualmente o principal produto de exportação do Brasil. Sua produção no país na safra de 2022/2023 foi de 154,6 milhões de hectares, com área plantada de 44,08 milhões de hectares [1]. Apesar de sua importância econômica, essa atividade agrícola tende a transformar paisagens, substituindo culturas diversificadas que sustentam pequenas propriedades rurais. Essa transformação não exerce pressão somente sobre agricultores de pequena escala e povos tradicionais, mas também provoca um aumento no desmatamento, contaminação da água e solo, erosão, perda de biodiversidade, entre outros processos que degradam o meio ambiente [2].

Um processo recente de expansão da fronteira agrícola tem ocorrido no norte do país, no bioma amazônico [3]. O estado do Pará apresentou entre 2008 a 2018 um aumento de 694,61% na área plantada de soja, contra 63,89% do Brasil, avançando frequentemente sobre áreas de vegetação nativa [4]. Evidências de campo coletadas pelo Laboratório de Investigação em Sistemas Socioambientais, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, entre 2023 e outubro de 2024, indicam o movimento de introdução da soja na região nordeste do Pará, nos municípios de Cametá e Mocajuba. Questionários aplicados para produtores locais expõem o processo de compra de terras, desmatamento de grandes áreas de vegetação secundária e a calagem do solo. Além disso, imagens de drone coletadas revelam extensas áreas desmatadas, incomum na região, corroborando com evidências que indicam a introdução da soja na região.

Nesse contexto, dado o impacto da expansão da soja no bioma amazônico e sua interiorização no Pará, este trabalho propõe analisar a distribuição espaço-temporal dessa cultura no estado. O objetivo é identificar a existência de possíveis padrões espaciais na expansão dessa monocultura e compreender em qual direção ela tem avançado nos últimos anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Para determinar qual a área de soja em cada município no período analisado, foi utilizado o mapeamento da soja na América do Sul, realizado pelo *Global Land Analysis & Discovery* (GLAD) [5]. O GLAD é um laboratório do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade de Maryland, nos Estados Unidos, que realiza pesquisas acerca de métodos, causas e impactos da mudança global do uso e cobertura da terra [6].

O mapeamento anual da soja do GLAD foi realizado com um classificador de árvore de decisão e imagens Landsat, com resolução espacial de 30 metros, treinado com amostras coletadas em campo e em imagens Landsat e Sentinel-2. Além disso, foram utilizadas métricas fenológicas baseadas em Landsat e MODIS e atributos topográficos baseados no SRTM. Os dados utilizados para o presente estudo foram referentes aos anos de 2002 a 2023, reprojatados

para a projeção equidistante de Albers, e recortados para a malha municipal do Pará.

2.2. Métodos

2.2.1. Índice Global de Moran

O Índice de Moran (I) é um dos métodos de análise espacial mais difundidos para verificar a existência de autocorrelação espacial entre variáveis de áreas vizinhas. Essa medida é expressa no intervalo de -1 a 1, onde valores positivos correspondem a uma autocorrelação direta, valores negativos correspondem a uma autocorrelação inversa, e $I = 0$ corresponde à ausência de correlação espacial [7, 8]. O Índice Global de Moran foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

Onde:

n corresponde ao número de áreas;

y_i é o valor do atributo considerado na área i ;

$\bar{y}$ representa o valor médio do atributo na região de estudo;

w_{ij} são os pesos atribuídos conforme a conexão entre as áreas i e j .

O cálculo do Índice de Moran Global foi realizado no *software* TerraView, versão 5.6.5 [9]. Como matriz de pesos espaciais foi utilizada a matriz de contiguidade de primeira ordem, que considera a adjacência direta entre áreas, representadas por municípios nesse estudo. Para o teste de significância, foi utilizado a pseudosignificância com 999 permutações, utilizada para a estimativa do valor-p obtida através de permutações dos dados, gerando uma distribuição empírica da estatística de teste, visto que a distribuição original é desconhecida.

2.2.2. Índice Local de Moran

Ao utilizar indicadores de autocorrelação global, obtém-se uma única medida de associação espacial para a área de estudo, o que pode mascarar padrões espaciais locais para uma variável. Desta maneira, podem ser utilizados indicadores locais de autocorrelação espacial (LISA), que produzem um valor específico para cada área do local de estudo. Esses valores locais permite a identificação de *clusters*, *outliers* e a presença de mais de um regime espacial [10]. Para esse estudo, foi empregado, além do índice global, o Índice Local de Moran (I_i), obtido a partir da Equação 2.

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (2)$$

Onde:

n corresponde ao número de áreas;

y_i é o valor do atributo considerado na área i ;

y_j é o valor do atributo para a área j , que é uma área vizinha de i ;

$\bar{y}$ representa o valor médio do atributo na região de estudo;

w_{ij} são os pesos atribuídos conforme a conexão entre as áreas i e j .

Valores positivos sugerem agrupamentos de unidades com valores de atributos semelhantes, sejam elas de altos baixos. Em contrapartida, valores negativos refletem a proximidade entre áreas com diferenças acentuadas. Dessa forma, o I_i atua como um indicador da uniformidade ou variabilidade dos dados em termos espaciais.

Para representar espacialmente o Índice Local de Moran foi utilizado o Moran Map. Ele baseia-se no diagrama de espalhamento de Moran Local, onde os quadrantes são definidos com base no valor médio global do atributo normalizado (Figura 1). No eixo horizontal, a reta $[z_i = 0]$ e no eixo vertical, a reta $[\sum_j w_{ij} z_j = 0]$, representando o valor médio global do atributo normalizado nos polígonos vizinhos de cada polígono i . Os quatro quadrantes representam as possíveis combinações entre o valor do atributo no polígono i e o valor médio do atributo nos polígonos vizinhos [11].

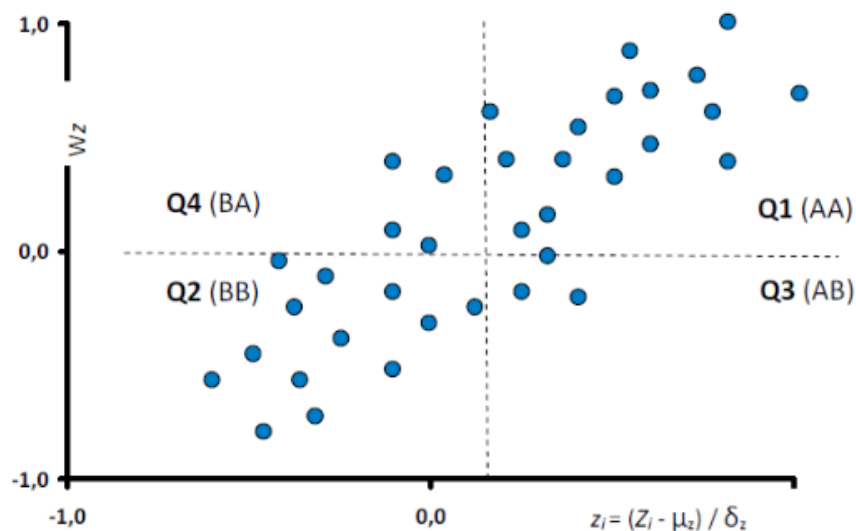


Figura 1: Diagrama de espalhamento de Moran Local [11].

Este índice também foi calculado no *software* TerraView e representado através de um Moran Map para cada quadriênio analisado. O *software* retorna o valor do quadrante correspondente do diagrama de espalhamento para cada polígono que foram considerados significantes com um intervalo de confiança de 95%, baseado no teste de pseudosignificância com 9999 permutações. Cada quadrante representa:

- AA - Alto-Alto: o valor do atributo para o polígono é acima da média e seus vizinhos também apresentam valores acima da média. Indica a existência de *clusters* de valores altos.
- BB - Baixo-Baixo: o valor do atributo para o polígono é abaixo da média e seus vizinhos também apresentam valores abaixo da média. Indica a existência de *clusters* de valores baixos.
- AB - Alto-Baixo: o valor do atributo para o polígono é acima da média, enquanto seus vizinhos apresentam valores abaixo da média. Indica a existência de áreas de transição.
- BA - Baixo-Alto: o valor do atributo para o polígono é abaixo da média, enquanto seus vizinhos apresentam valores acima da média. Indica a existência de áreas de transição.

2.2.3. Varredura Scan

Para complementar a análise de padrões espaciais vistos previamente, que considerava somente *clusters* espaciais, foi aplicada a estatística de varredura *Scan*, com a finalidade de encontrar *clusters* espaço-temporais. Essa estatística foi desenvolvida por Kulldorff [12] e era originalmente aplicada em estudos epidemiológicos para a detecção de agrupamentos com formação temporal, espacial ou espaço-temporal. Neste estudo, a estatística *Scan* foi adaptada para analisar a incidência de áreas de soja no estado do Pará entre os anos de 2003 e 2023, baseada na Equação 3.

$$\text{Incidência de soja} = \left(\frac{\text{Área nova de soja}}{\text{Área total em risco no município de se tornar soja}} \right) \times 10^6 \quad (3)$$

Onde:

- Área nova de soja: Corresponde à área convertida para o cultivo de soja em um determinado ano;
- Área total em risco no município: Considerou-se o cenário no qual toda a área do município é potencialmente convertida para o cultivo de soja;
- 10^6 : Fator de padronização para ajustar a comparação entre municípios de diferentes tamanhos.

Essa taxa foi calculada anualmente para todos os anos de 2003 a 2023. Essa abordagem possibilitou identificar *clusters* espaço-temporais com taxas de incidência de soja positivas ou negativas, ou seja, destacando *clusters* onde a velocidade de expansão ou retração foi elevada. Os resultados fornecem informações sobre o surgimento e persistência de padrões de expansão ou retração da soja ao longo do tempo e do espaço.

Para obter estatística de varredura *Scan* foi utilizado o *software* SatScan, versão 10.2.5 [13], configurado com distribuição estatística normal, no modo espaço-temporal. Foi utilizada a

janela temporal de um ano, permitindo identificar agrupamentos de alta ou baixa incidência anuais e a busca de aglomerados na análise retrospectiva, com o objetivo de detectar tanto os agrupamentos que deixaram de existir quanto os que persistiram até o fim do período analisado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a evolução da área de soja no estado do Pará entre 2003 e 2023. Durante o período analisado, houve um crescimento expressivo de 1162%, totalizando um aumento de 540 mil hectares. De 2003 a 2007, a área cresceu 68%, passando de 50.929 hectares em 2003 para 85.333 hectares em 2007. Esse aumento inicial foi seguido por uma expansão mais moderada de 39% entre 2007 e 2011, quando a área passou para 118.336 hectares. O período de 2011 a 2015 foi marcado por um crescimento significativo de 161%, com a área subindo para 309.130 hectares, refletindo um grande impulso no cultivo de soja no estado. Entre 2015 e 2019, a expansão desacelerou um pouco, com um aumento de 31%, de 405.580 hectares. Finalmente, entre 2019 e 2023, o crescimento foi de 46%, com a área de soja atingindo 591.793 hectares.

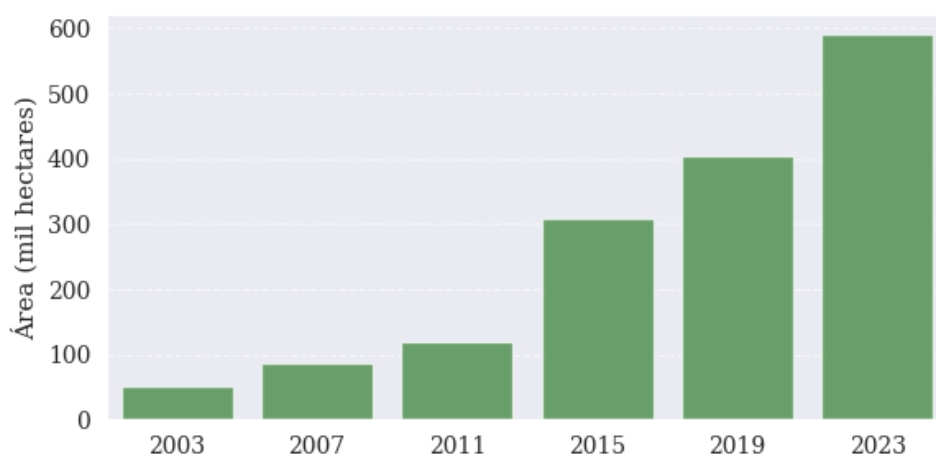


Figura 2: Área de soja total no Pará em mil hectares por quadriênio de 2003 a 2023.

Tendo em vista o grande crescimento na produção de soja nos 20 anos avaliados, é importante compreender como é a distribuição espaço-temporal da área dessa cultura e quais os principais municípios produtores. A Figura 3 apresenta a evolução da área de soja por municípios do Pará, de 2003 a 2023. O número de municípios produtores da cultura com áreas acima de 1000 ha passou de 6 em 2003 para 22 em 2023, sendo Paragominas o município com a maior área de plantio de soja e mantendo-se com a maior área produtora ao longo de quase toda a série histórica avaliada.

Os primeiros município a apresentarem áreas superiores a 5 mil ha de plantio de soja, no ano de 2003, se localizam na porção nordeste do Pará, fazendo fronteira com o estado do Maranhão. Para o ano de 2003 há também municípios produtores de soja na porção sudeste do Pará, mas com área reduzida, os quais, para o quadriênio de 2003-2007, apresentam diminuição na área

de soja, com áreas inferiores a mil hectares em 2007. Nesse ano, apenas os municípios de Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu apresentaram áreas com soja maiores que mil hectares.

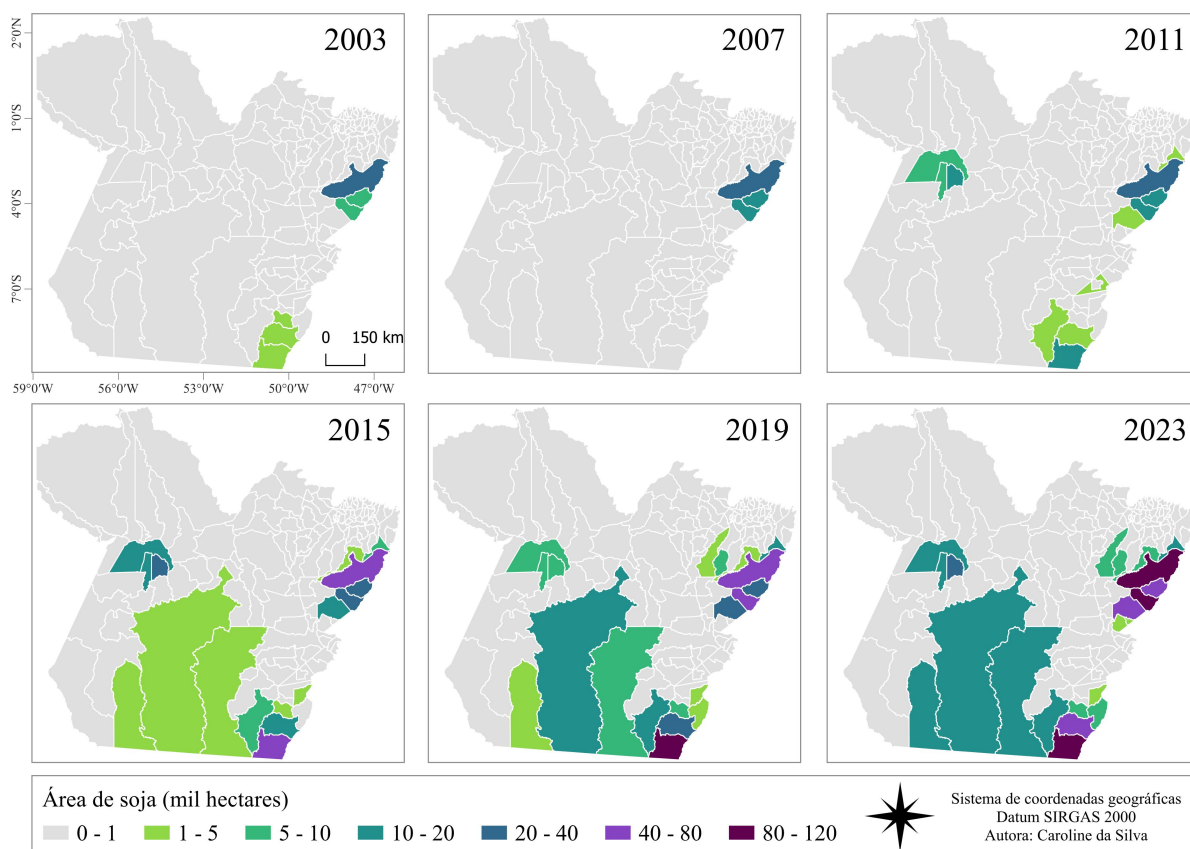


Figura 3: Área de soja por municípios do Pará em mil hectares, de 2003 a 2023.

A partir do quadriênio 2007-2011 os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campo, localizados a oeste do Pará, surgem como novos municípios produtores, com área de soja acima de 5 mil ha. Essa região, apresenta o complexo portuário de Santarém, na hidrovia do rio Tapajós, que facilita a exportação dos grãos e, provavelmente, possuiu grande influência sobre o início do plantio de soja nesses municípios [14]. Com relação aos municípios fronteiriços a estados produtores de soja, houve aumento da produção em municípios do sudeste do Pará, que antes tiveram sua área de soja reduzida. Também houve um aumento do número de municípios próximos a Paragominas, a nordeste, município com maior área plantada, que começaram a apresentar áreas com soja superiores a mil hectares em 2011. No total, 12 municípios apresentam áreas maiores que mil hectares para de soja em 2011.

De 2011 para 2015 há o aumento da área de soja nos municípios já produtores, com destaque para Paragominas e Santana do Araguaia, os únicos que passaram com área entre 40-80 mil hectares. Há o aumento do plantio na região de Santarém e dos demais municípios que já produziam soja em mais de mil hectares no ano de 2011. Além disso, os municípios de Altamira, São Félix do Xingu e Novo Progresso iniciam o processo de expansão da soja para

os municípios ao sul do Pará, que fazem fronteira com o Mato Grosso, ocupando quase toda extensão dessa fronteira.

De 2015 para 2019 três novos município passaram a apresentar área de soja acima dos mil hectares, totalizando 21 municípios, onde houve uma interiorização no sudeste do estado. A quantidade de área aumenta ou se mantém na mesma faixa em todos os municípios, com destaque para destaque para Santana do Araguaia, no sudeste do estado, único município com área acima de 80 mil hectares. De 2019 para 2023 apenas mais um município apresenta área de soja acima dos mil hectares, totalizando 22 municípios em 2023. A maioria dos municípios com área de soja em 2019 apresentaram aumento significativo em 2023, onde os municípios de Paragominas e Dom Eliseu, a nordeste, e Santana do Araguaia, a sudeste, foram os que apresentaram maior quantidade de área de soja para esse ano.

A expansão da soja no estado do Pará tem se intensificado, com o aumento da área concentrando-se principalmente nas regiões que fazem fronteira com estados produtores e na estratégica região de Santarém. Embora a porção norte do estado ainda apresente áreas incipientes de produção, observa-se uma tendência de difusão do cultivo para novos municípios, além do crescimento contínuo nos municípios que já possuem áreas superiores a mil hectares plantados. Essa dinâmica sugere tanto a ampliação da soja para novas áreas quanto o aumento da produção nas áreas consolidadas.

3.1. Análise global

A Tabela 1 apresenta os valores do Índice Global de Moran e os respectivos p-valores para o período de 2003 a 2023, evidenciando a autocorrelação espacial na distribuição da soja no estado do Pará. Esses valores permitem analisar como a distribuição da soja evoluiu ao longo dos anos, observando se o padrão de concentração ou dispersão espacial do cultivo se intensificou ou alterou com o tempo.

Ano	Moran Global	p-valor	Descrição
2003	0.456401	0.06	Não significativo ($p > 0.05$)
2007	0.560996	0.012	Significativo a 5% ($p \leq 0.05$)
2011	0.562919	0.003	Significativo a 1% ($p \leq 0.01$)
2015	0.510416	0.007	Significativo a 1% ($p \leq 0.01$)
2019	0.503696	0.007	Significativo a 1% ($p \leq 0.01$)
2023	0.5729	0.001	Altamente significativo a 1% ($p \leq 0.01$)

Tabela 1: Índice Global de Moran, p-valor e descrição de significância para o período de 2003 a 2023

Os resultados da análise do índice para o período de 2003 a 2023 indicam a presença de autocorrelação espacial na distribuição da soja no estado do Pará. O índice, que variou entre

0,456 e 0,573 ao longo dos anos, sugere que a distribuição espacial da soja não ocorre de maneira aleatória, mas sim com uma tendência de agregação, onde áreas com alta ou baixa concentração de cultivo tendem a se agrupar geograficamente.

Os p-valores associados a esses índices foram significativamente baixos a partir de 2007, confirmando que os padrões observados são estatisticamente significativos e não explicados por acaso. Em 2023, o índice alcançou seu valor mais alto, indicando uma intensificação da autocorrelação espacial, o que pode ser interpretado como um fortalecimento da concentração espacial das áreas de soja no estado. Estes resultados sugerem que, ao longo do tempo, a soja tem se expandido de forma concentrada no território paraense.

3.2. Análise local

A Figura 4 apresenta o Índice de Moran Local, representando os padrões de associação espacial identificados ao longo do período de estudo. Esses padrões destacam os agrupamentos estatisticamente significativos a um intervalo de confiança de 95%, permitindo a identificação de áreas com associações espaciais distintas e mudanças na concentração territorial ao longo do tempo.

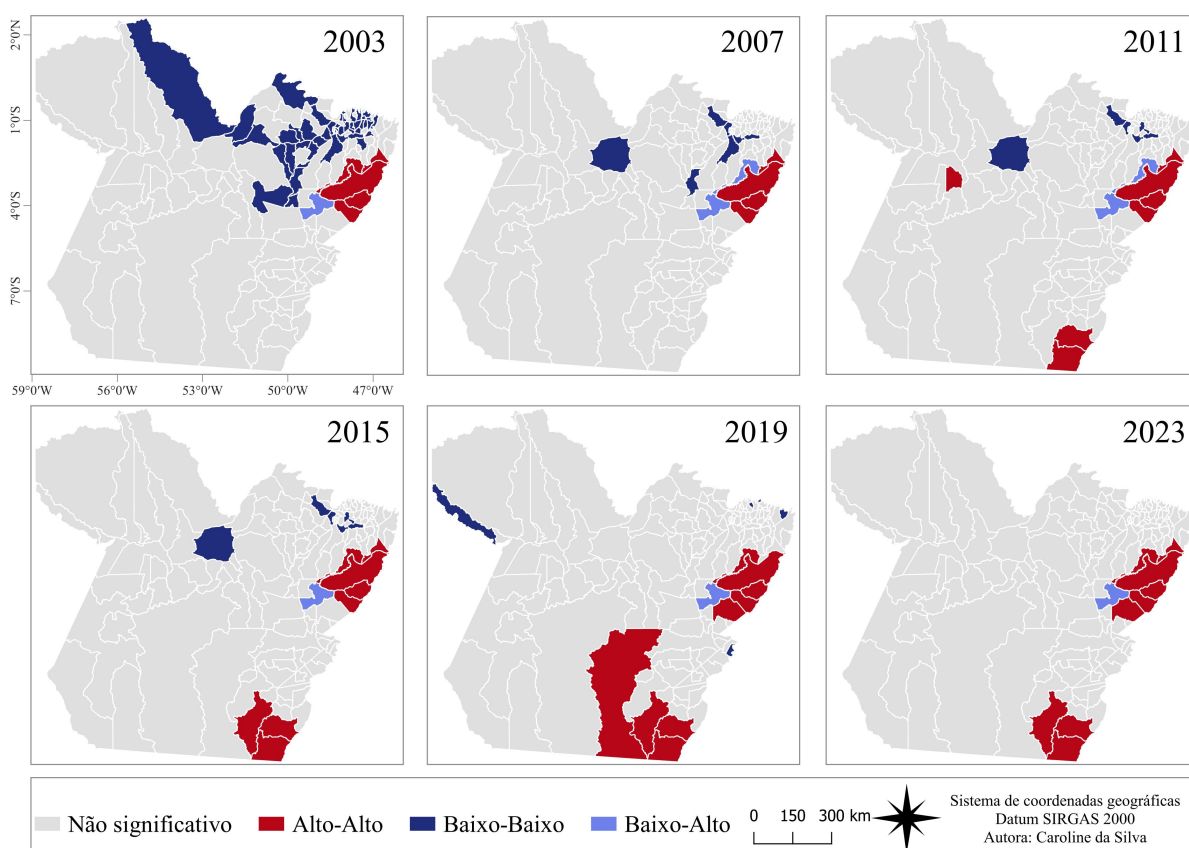


Figura 4: Moran Map para os anos de 2003 a 2023, por quadriênio.

A análise da figura evidencia que, no ano de 2003, no estado do Pará, *clusters* do tipo

Alto-Alto estavam concentrados principalmente na região nordeste, indicando áreas de maior concentração de municípios com área de soja elevada. Ao mesmo tempo, alguns *clusters* do tipo Baixo-Baixo foram identificados de forma dispersa, principalmente no norte do estado, enquanto uma grande parte do território permanecia sem significância estatística. Em 2007, o *cluster* Alto-Alto a nordeste persiste, enquanto há uma diminuição significativa dos *clusters* do tipo Baixo-Baixo a norte do estado.

Em 2011 surgem duas novas regiões com *clusters* do tipo Alto-Alto, um a sudeste, incluindo o município de Santana do Araguaia, um dos maiores produtores do Pará, e outro a sudoeste, na região de Santarém, que em 2015, no entanto, se torna com ausência de significância estatística. Em 2019 há o aumento de *clusters* Alto-Alto a sudeste do Pará, agora incluindo o município de Félix do Xingu que, em 2023, não apresenta mais significância estatística.

As regiões nordeste e sudeste são, em 2023, as únicas com *clusters* do tipo Alto-Alto, onde parte dos municípios pertencentes a esses *clusters* persistiram ao longo de quase toda a série histórica. Essa persistência ao longo dos anos destaca um padrão de concentração da soja no estado do Pará nessas regiões.

3.3. Análise da varredura *Scan*

O método de varredura *Scan* espaço-temporal identificou um *cluster* no período analisado para o ano de 2014. Esse *cluster* está localizado no nordeste paraense, incluindo os municípios de Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu (Figura 5).

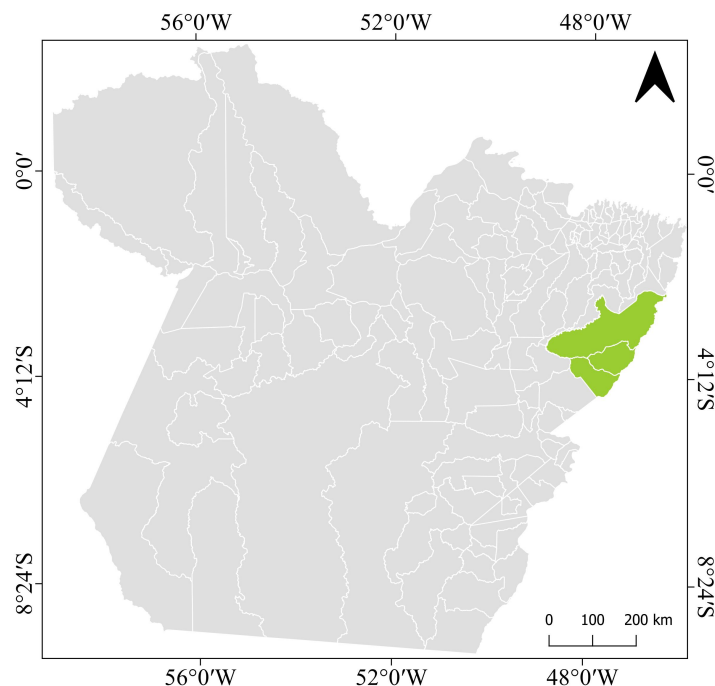


Figura 5: Cluster identificado pela varredura *Scan* com alta taxa de incidência de soja para 2014.

Esses municípios obtiveram, para o ano de 2014, uma incidência de soja média de 49.188,

enquanto os vizinhos apresentaram uma média de 238, o que representa que, para esse ano, esses municípios apresentaram uma taxa alta de crescimento na área de soja em relação aos vizinhos. Com um p-valor de 0.004, é possível concluir que esse *cluster* apresentou significância estatística, indicando que sua ocorrência não foi aleatória. Esse resultado corrobora com as análises anteriores, evidenciando a existência de um importante aglomerado região nordeste paraense relacionado ao cultivo da soja.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo analisou a distribuição espaço-temporal da soja no estado do Pará entre os anos de 2003 e 2023, identificando padrões significativos de concentração e expansão da cultura. Os resultados indicaram um alto crescimento da área plantada, com aumento de 1162% no período analisado, totalizando aproximadamente 592.000 hectares em 2023. A análise do Índice Global de Moran revelou a existência de autocorrelação espacial positiva ao longo dos anos, com valores estatisticamente significativos a partir de 2007, evidenciando que a expansão da soja ocorreu de maneira não aleatória, mas sim concentrada em áreas específicas.

A análise local, representada pelo Índice Local de Moran, destacou a persistência de *clusters* do tipo Alto-Alto na região nordeste do estado desde o início do período analisado e, mais recentemente, na região sudeste. Esses resultados apontam para uma forte concentração da produção de soja em municípios como Paragominas, Dom Eliseu e Santana do Araguaia, que se consolidaram como polos de produção ao longo da série histórica. Além disso, o método de varredura *Scan* identificou um *cluster* estatisticamente significativo em 2014, localizado no nordeste paraense, reforçando a importância dessa região como um ponto estratégico de crescimento da cultura.

Dessa maneira, a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que nos últimos anos a soja tem se expandido para a região centro-sul e para o interior do nordeste do Pará, evidenciando uma tendência de interiorização do cultivo. Essa expansão demonstra não apenas o avanço para novas áreas, mas também a consolidação da produção nos municípios já estabelecidos como polos de cultivo.

5. REFERÊNCIAS

- [1] CONAB. Safra histórica de grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>, 2024. Acesso em: 02 out. 2024.
- [2] Cecília Siman Gomes. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. *Cadernos do Leste*, 19(19), 2019.
- [3] Valdemar João Wesz Junior, Karina Kato, Andréa Rente Leão, Sandro Augusto Leão, and Maria do Socorro Bezerra de Lima. Dinâmicas recentes do agronegócio no oeste do pará (brasil): expansão da soja e estruturação de corredores logísticos. *Mundo agrario*, 22(50):174–174, 2021.
- [4] Renno de Abreu Araújo. Amazônia brasileira: um estudo do agronegócio da soja no pará no período de 2008 a 2018. *Educação Ambiental em ação*, 19(73), 2021.
- [5] Xiao-Peng Song, Matthew C Hansen, Peter Potapov, Bernard Adusei, Jeffrey Pickering, Marcos Adami, Andre Lima, Viviana Zalles, Stephen V Stehman, Carlos M Di Bella, et al. Massive soybean expansion in south america since 2000 and implications for conservation. *Nature sustainability*, 4(9):784–792, 2021.
- [6] Global Land Analysis and Discovery (GLAD). About us. Disponível em: <https://glad.umd.edu/aboutus>, 2024. Acesso em: 3 set. 2024.
- [7] Patrick AP Moran. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2):243–251, 1948.
- [8] Erveton P Pinto, Marcelo A Pires, Robert S Matos, Robert RM Zamora, Rodrigo P Menezes, Raquel S Araújo, and Tiago M de Souza. Lacunarity exponent and moran index: A complementary methodology to analyze afm images and its application to chitosan films. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 581:126192, 2021.
- [9] TerraLib Project Team. Terralib and terraview. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php>, 2015. National Institute for Space Research (INPE), Brazil. Acesso em: 14 dez. 2024.
- [10] Luc Anselin. Local indicators of spatial association—lisa. *Geographical analysis*, 27(2):93–115, 1995.
- [11] Antonio José Rocha Luzardo, Rafael March Castañeda Filho, and Igor Brum Rubim. Análise espacial exploratória com o emprego do índice de moran. *GEOgraphia*, 19(40):161–179, 2017.
- [12] Martin Kulldorff. A spatial scan statistic. *Communications in Statistics-Theory and methods*, 26(6):1481–1496, 1997.
- [13] M. Kulldorff. SaTScan v10.2.5: software for the spatial and space-time scan statistics. SaTScan™, 2024. Disponível em: <https://www.satscan.org>. Acesso em: 20 nov. 2024.

- [14] Ariovaldo Umbelino de Oliveira. A amazônia e a nova geografia da produção da soja. *Terra livre*, 1(26):13–43, 2006.