

**PRODUÇÃO DE SOJA E DESMATAMENTO NO PIAUÍ:  
ANÁLISE DA DINÂMICA ENTRE 2000, 2010 e 2020**

**SOYBEAN PRODUCTION AND DEFORESTATION IN  
PIAUI: AN ANALYSIS OF THE DYNAMICS BETWEEN 2000,  
2010, AND 2020**

**PRODUCCIÓN DE SOJA Y DEFORESTACIÓN EN PIAUÍ:  
ANÁLISIS DE LA DINÁMICA ENTRE 2000, 2010 Y 2020**

DOI 10.33360/geonordeste.v37i.18645

**Reginaldo Muniz Soares**

Mestre em Desenvolvimento Socioeconômico pelo Programa de Pós-graduação em  
Desenvolvimento Socioeconômico (PPGDSE) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

remusoares@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9937-3031>

**RESUMO**

O objetivo do trabalho foi analisar a relação espacial entre a produção de soja e o desmatamento no Piauí com recorte temporal para os anos de 2000, 2010 e 2020. Utilizou-se a metodologia de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) com a utilização do software de estatística espacial GeoDa, através do Índice de Moran Univariado Local. A Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) apontou uma forte associação espacial entre os municípios integrantes dos clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí e os municípios integrantes do cluster (Alto-Alto) de produção de soja nos anos de 2000, 2010 e 2020. No ano de 2000, um total 25% dos municípios que integravam os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí também integravam o cluster (Alto-Alto) de produção de soja. Nos anos de 2010 e 2020, um total de 78% dos municípios que integravam os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí também integravam o cluster (Alto-Alto) de produção de soja.

**Palavras-chave:** Correlação Espacial. Soja. Desmatamento. Piauí.

**ABSTRACT**

The objective of this work was to analyze the spatial relationship between soy production and deforestation in Piauí with a time frame for the years 2000, 2010 and 2020. The methodology of Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) was used with the use of the spatial statistics software GeoDa, through the Local Univariate Moran Index. The Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) pointed to a strong spatial association between the municipalities that are part of the clusters (High-High) of deforestation in Piauí and the municipalities that are part of the cluster (High-High) of soy production in the years 2000, 2010 and 2020. In 2000, a total of 25% of the municipalities that integrated the clusters (High-High) of deforestation in Piauí also integrated the cluster (High-High) of soy production. In the years 2010 and 2020, a total of 78% of the municipalities that integrated the clusters (High-High) of deforestation in Piauí also integrated the cluster (High-High) of soy production.

**Keywords:** Spatial correlation. Soybean. Deforestation. Piauí

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue analizar la relación espacial entre la producción de soja y la deforestación en Piauí con un marco temporal para los años 2000, 2010 y 2020. Se utilizó la metodología de Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) con el uso del software de estadísticas espaciales GeoDa, a través del Índice de Moran Local Univariante. El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) señaló una fuerte asociación espacial entre los municipios que forman los clusters (Alto-Alto) de deforestación en Piauí y los municipios que forman el cluster (Alto-Alto) de producción de soja en los años 2000, 2010 y 2020. En 2000, un total de 25% de los municipios que integraban los clusters (Alto-Alto) de deforestación en Piauí también integraban el cluster (Alto-Alto) de producción de soja. En los años 2010 y 2020, un total de 78% de los municipios que integraron los clusters (Alto-Alto) de deforestación en Piauí también integraron el cluster (Alto-Alto) de producción de soja.

**Palabras clave:** Correlación espacial. Soja. Deforestación. Piauí.



## INTRODUÇÃO

A regiões Centro-Oeste e Sul concentram as maiores produções de soja do Brasil, sendo que no ano de 2020, as duas regiões foram responsáveis por 81% de toda a produção de soja brasileira (IBGE, 2021). Sobretudo a partir dos anos 2000, o Nordeste tem conseguido destaque na produção de soja no Brasil. No ano de 2020, a produção de soja no Nordeste representou 10% da produção brasileira de soja. No Nordeste a produção de soja se concentra principalmente nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí, estados que no ano de 2020 foram responsáveis por 98% da soja produzida no Nordeste.

O primeiro registro oficial do cultivo da soja, como atividade econômica no Piauí, ocorreu em 1982, com apenas 10 hectares de área cultivada (FROTA; CAMPELO, 1999). A partir dos anos 2000, a produção de soja no Piauí intensificou-se, evoluindo de uma produção de 100.963 toneladas no ano de 2000 para um total de 2.447.620 toneladas no ano de 2020. Em relação aos municípios produtores de soja no Piauí, se destacam os municípios integrantes da região do Matopiba, como os maiores produtores do estado.

No Piauí, a região do Matopiba engloba 33 municípios do bioma Cerrado, se caracterizando por ser uma região que se destaca pela produção de grãos como o milho, o algodão e a soja, através do uso intensivo de insumos modernos e uma produção agrícola de alta produtividade (PEREIRA, et al., 2018). A região do Matopiba representa uma importante fronteira agrícola em processo de consolidação, devido aos amplos estoques de terras com aptidão agrícola, cobertos com vegetação nativa, apresentando um expressivo desmatamento ocasionado pela expansão da sojicultura (RUDORFF; AGUIAR; RISSO, 2025).

A produção de soja no Piauí se restringe aos municípios que compõem o bioma Cerrado, que cobre uma área de 11,2 milhões de hectares, o que representa 46% do território do estado. Os dois maiores produtores de soja do Piauí (Baixa Grande do Ribeiro e Uruçuí), foram responsáveis por 45% de toda a produção de soja do Piauí no ano de 2020, estando entre os 50 municípios maiores produtores de soja do Brasil.

No ano de 2020, o Piauí foi o 11º maior produtor de soja brasileiro e o 3º maior produtor de soja do Nordeste, superado pelos estados da Bahia e do Maranhão. A produção de soja do Piauí representou 21% de toda a soja produzida no Nordeste no ano de 2020. A área plantada de soja no Piauí também tem apresentado uma grande evolução nos últimos anos, passando de 40.004 hectares no ano de 2000 para 757.978 hectares no ano de 2020. No período de 2000 a 2020, um total de 1.583.392 hectares foram desmatados no Piauí, sendo o pico no ano de 2013, onde um total de 135.521 hectares foram desmatados.



A expansão da cultura da soja tem contribuído para o aumento das áreas desmatadas no Brasil. Estudos realizados (RIVERO, 2009; RODRIGUES; BERMANN, 2012; SILVA, et al., 2021; KUSCHNIG, et al., 2021) indicam que a produção de soja tem contribuído para impulsionar o desmatamento das áreas de Cerrado do Brasil. No ano de 2024, o Cerrado foi o bioma brasileiro com a maior área desmatada, com mais da metade do total da área desmatada do país (52,5%) totalizando 652.197 hectares (MapBiomas, 2025). A região do Matopiba é responsável pelo aumento do desmatamento no bioma Cerrado nos últimos anos, e embora represente 36% da área do bioma, foi responsável, no ano de 2023, por 75% dos desmatamentos ocorridos nos Cerrados (RUDORFF; AGUIAR; RISSO, 2025).

No Piauí, houve uma intensificação no processo de desmatamento desde os anos 2000, período de grande aumento na produção de soja no estado. Busca-se neste artigo através da análise de dados espaciais buscar evidências da relação espacial entre a produção de soja e os desmatamentos no Piauí no recorte temporal estabelecido. Este artigo objetivou-se a identificar a existência de associação espacial entre os cluster (Alto-Alto) de produção de soja e os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí através de uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). Utilizou-se o software de estatística espacial GeoDa, através do Índice de Moran Univariado Local e da produção de mapas LISA, como forma de analisar a autocorrelação espacial e identificar a formação de cluster das duas variáveis utilizadas nesta investigação (produção de soja e de desmatamento no Piauí).

Identificou-se os clusters de produção de soja e de desmatamento no Piauí, com recorte temporal para os anos de 2000, 2010 e 2020. Além da identificação dos cluster, foram identificados os municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja no Piauí e dos cluster (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí. Além desta seção introdutória, este artigo caracteriza de maneira sucinta a área de estudo, descreve a metodologia utilizada, apresenta os resultados e as discussões e, por fim, realiza as considerações finais, apresentando as limitações do estudo e perspectivas para as pesquisas futuras sobre o tema.

## ÁREA DE ESTUDO

O estado do Piauí, faz parte dos 9 estados que compõem a região Nordeste do Brasil, possuindo um total de 224 municípios, tendo como capital a cidade de Teresina. O Piauí Possui uma área territorial de 251.755.481 km<sup>2</sup>, sendo o 3º mais extenso estado nordestino, e o 10º estado brasileiro em área territorial, correspondendo a 2,9% do território nacional. A população estimada do Piauí em 2021 foi de 3.289.290 pessoas, o que corresponde ao 19º estado mais populoso do Brasil (IBGE, 2022).



O estado do Piauí situa-se entre as coordenadas geográficas de 2°44'49" e 10°55'05" de latitude sul e entre 40° 22'12" e 45°59'42" de longitude oeste. O Piauí faz limite a leste com os estados do Ceará e Pernambuco, ao sul e sudeste com o estado da Bahia, ao sudoeste com o estado de Tocantins, a oeste com o Estado do Maranhão, e ao norte onde situa-se o litoral piauiense com extensão de 66 Km, faz limite com o oceano Atlântico.

## METODOLOGIA

A pesquisa fez utilização da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) com o auxílio do software de estatística espacial GeoDa. A AEDE corresponde ao conjunto de técnicas que se dedicam ao estudo da distribuição espacial, permitindo identificar padrões de associação espacial, ou situações de inconstância espacial (ANSELIN, 1995). Utilizou-se como método de análise o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), através do Índice de Moran Univariado Local.

Para a realização da análise espacial utilizou-se para cada variável o Índice de Moran (*I* de Moran) Univariado Local, objetivando identificar a autocorrelação espacial das variáveis e a formação de agrupamentos (Cluster). Os indicadores locais se caracterizam por serem capazes de gerar um índice de associação espacial para cada área considerada, possibilitando evidenciar àquelas áreas que geram clusters (MARQUES, et al., 2010).

A análise local baseia-se na estatística Local de Moran que é visualizada sob a forma de mapas de significância e de agrupamento (ANSELIN 1995; ANSELIN, et al., 2006). Como complemento ao mapa LISA, foi gerado o Diagrama de dispersão de Moran (Moran's scatterplot) como medida da autocorrelação das variáveis utilizadas. O índice de Moran é dado por meio da equação 1:

$$I_i = \frac{Z_i \cdot WZ_i}{\sigma^2} \quad (1)$$

onde:

$I_i$  = Índice local para o objeto *i*;

$Z_i$  = valor do desvio do objeto *i*;

$WZ_i$  = valor médio dos desvios dos objetos vizinhos de *i*;

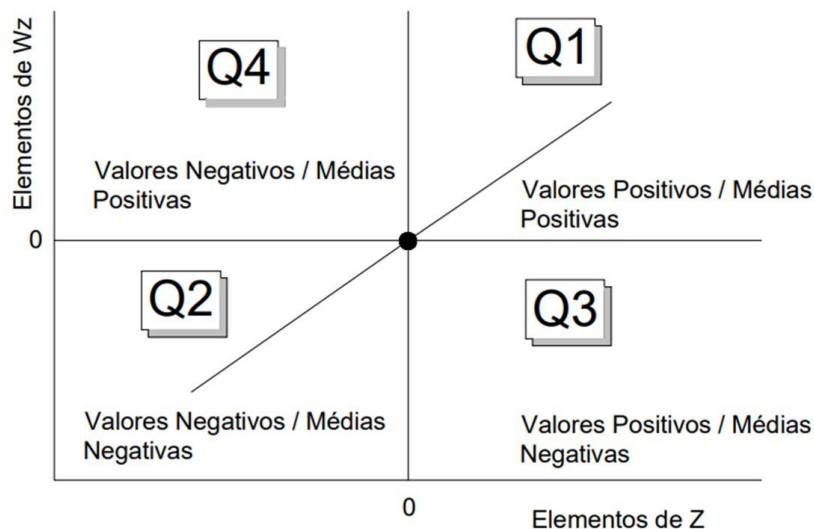
$\sigma^2$  = variância da distribuição dos valores dos desvios.

O *I* de Moran é um dos índices mais comumente utilizados para autocorrelação espacial, sendo que o diagrama de dispersão de Moran é uma forma de visualizar a dependência e comportamento da variabilidade espacial e o coeficiente de autocorrelação espacial (MORAN, 1948; LINS, et al., 2015). Conforme mostra a Figura 1, O diagrama de dispersão de Moran compara os valores normalizados do atributo numa área com a média dos seus vizinhos, produzindo um



gráfico bidimensional de valores normalizados ( $z$ ) pela média dos vizinhos ( $Wz$ ), que é dividido em quatro quadrantes, apresentando visualmente a dependência espacial e indicando os diferentes regimes espaciais presentes nos dados (ANSELIN, 1992).

**Figura 1-** Representação do diagrama de dispersão de Moran.



Fonte: Santos e Raia Júnior (2006).

Os valores Alto-Alto se situam no Q1, o Q2 representa os valores Baixo-Baixo, os valores Alto-Baixo se situam no Q3, e o Q4 representa os valores Baixo-Alto (Quadro 1). Os valores negativos indicam uma autocorrelação espacial negativa, e os valores positivos indicando autocorrelação espacial positiva, mostrando a existências de áreas com valores similares entre seus vizinhos. O Índice de Moran varia no intervalo de -1 a +1.

**Quadro 1:** Interpretação dos dados do diagrama de dispersão de Moran.

Q4	Q1
Relação entre as variáveis: Negativa	Relação entre as variáveis: Positiva
Outlier – valores negativos e abaixo da média cercados por vizinhos acima da média	Cluster – valores positivos e acima da média entre vizinhos com valores acima da média
Q2	Q3
Relação entre as variáveis: Positiva	Relação entre as variáveis: Negativa
Cluster - valores negativos e abaixo da média cercados por vizinhos abaixo da média	Outlier - valores positivos e acima da média ente vizinhos abaixo da média

Fonte: Autor (2023).



Os clusters se caracterizam por serem áreas que apresentam valores positivos do município e dos municípios de vizinhança de primeira ordem (Alto-Alto), e áreas com valores negativos do município e dos municípios de vizinhança de primeira ordem (Baixo-Baixo). Os outliers se caracterizam por serem valores anômalos ou atípicos fora dos padrões espaciais de uma determinada área. Os outliers podem ser áreas com valores positivos entre vizinhos abaixo da média (Alto-Baixo), ou podem ainda apresentar valores negativos entre vizinhos acima da média (Baixo-Alto).

Os valores determinados pelo Índice de Moran Local podem ser visualizados em um mapa denominado de LISA Map, que é a representação em forma de mapa que apresenta os valores determinados pelo Índice de Moran, através de uma matriz de vizinhança. Neste estudo, utilizou-se método contiguidade do tipo Queen, com associação das variáveis a seus vizinhos de primeira ordem. Os indicadores LISA podem ser representados através da equação 2.

$$I_i = Z_i \sum_{j=i}^j W_{ij} Z_j \quad (2)$$

O LISA map possui a função de produzir um valor específico para cada variável em análise, permitindo a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (clusters), objetos anômalos (outliers) e de mais de um regime espacial (MARQUES, et al., 2010; SANTOS; RAIÁ JÚNIOR, 2016). Segundo Anselin (1995) no LISA map as áreas são classificadas em cinco diferentes níveis de significância: sem significância; significância de 0,05 (95% de confiança); de 0,01 (99% de confiança); de 0,001 (99,9% de confiança); e de 0,0001 (99,99% de confiança).

Para a realização deste estudo, foram selecionadas duas variáveis: produção de soja no Piauí (PROD) e desmatamento no Piauí (DESM). Os dados referentes à produção de soja foram obtidos através da Produção Agrícola Municipal (PAM) do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados referentes ao desmatamento no Piauí foram obtidos a partir do Projeto MapBiomias Coleção 7.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

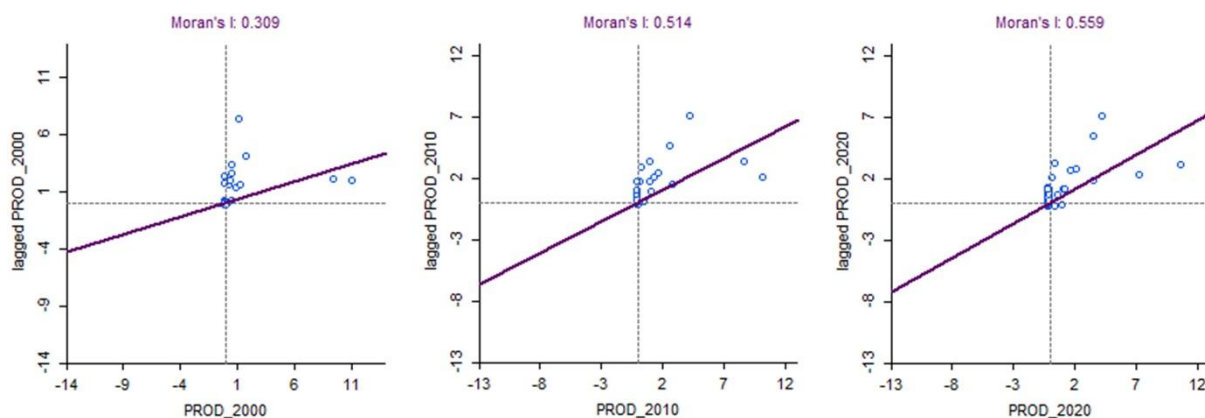
Os resultados da estatística *I* de Moran Local, indicou uma autocorrelação espacial positiva em relação a todas as variáveis selecionadas, com a utilização da matriz de pesos espacial tipo Queen de 1ª ordem (Quadro 3). Os indicadores de autocorrelação indicam que se pode rejeitar a hipótese de distribuição espacial aleatória das variáveis selecionadas, tendo em vista a obtenção de um valor-p igual a 0,001.

**Tabela 1** - Indicador de autocorrelação espacial (*I* de Moran).

Variável	Coefficiente	Média	Desvio Padrão	Z-valor	P-valor
Produção de soja 2000	0,3088	-0,0045	0,0314	9,9670	0,001
Produção de soja 2010	0,5141	-0,0045	0,0374	13,8347	0,001
Produção de soja 2020	0,5589	-0,0045	0,0354	15,9346	0,001
Desmatamento 2000	0,2939	-0,0045	0,0344	8,6617	0,001
Desmatamento 2010	0,4723	-0,0045	0,0316	15,1102	0,001
Desmatamento 2020	0,3067	-0,0045	0,0323	9,6420	0,001

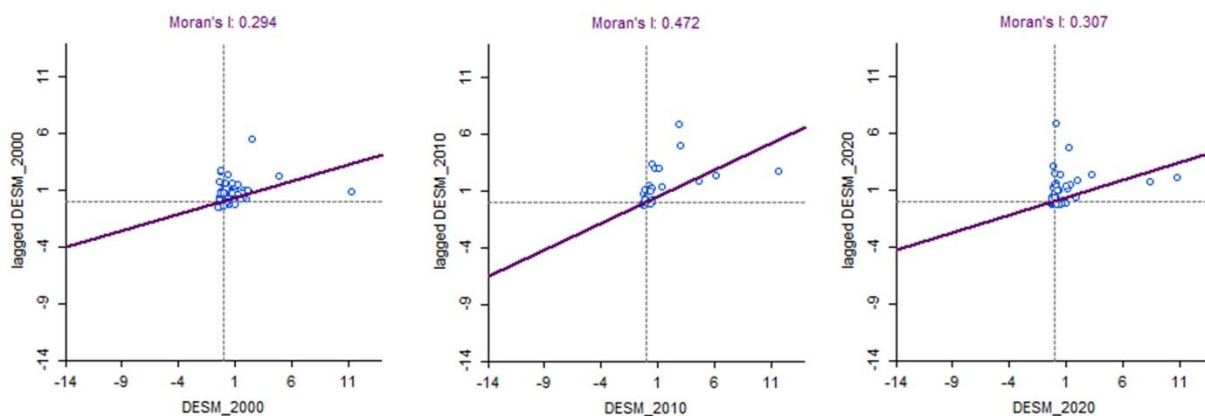
Fonte: Autor (2023).

A análise do diagrama de dispersão de Moran (Figura 2) para a variável produção de soja no Piauí, mostra que os resultados gerados indicam uma autocorrelação espacial positiva para os municípios piauienses nos anos de 2000 (0.309), 2010 (0.514) e 2020 (0.559).

**Figura 2** - Diagrama de dispersão de Moran para a variável produção de soja no Piauí (2000/2010/2020).

Fonte: Autor (2023).

Para a variável desmatamento no Piauí, os resultados gerados (Figura 3) indicam uma autocorrelação espacial positiva para os municípios piauienses nos anos de 2000, 2010 e 2020. Obteve-se o *I* de Moran de 0.294, 0.472 e 0.307, para os anos de 2000, 2010 e 2020, respectivamente.

**Figura 3**- Diagrama de dispersão de Moran para a variável desmatamento no Piauí (2000/2010/2020).

Fonte: Autor (2023).

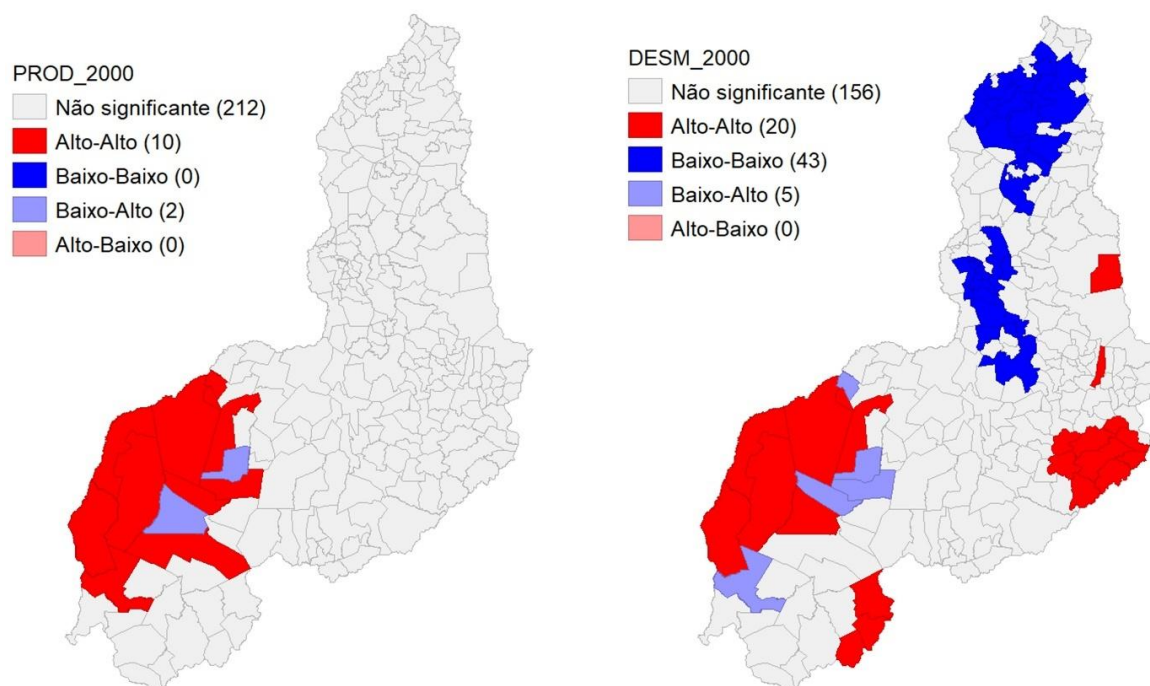


O detalhamento apresentado anteriormente através do diagrama de dispersão de Moran não permite apontar geograficamente a localização do clusters dos municípios do Piauí com índices semelhantes para as variáveis selecionadas para esta investigação. Neste sentido, torna-se necessário recorrer ao Indicador Local de Associação Espacial (LISA), necessária para a classificação dos municípios do Piauí em relação à formação de Cluster (Alto-Alto, Baixo-Baixo) e a presença de outliers (Alto-Baixo, Baixo-Alto).

Embora a produção de soja no Piauí tenha iniciado no ano de 1982, dados do IBGE (2021), mostram que a produção de soja se efetiva de maneira ininterrupta no Piauí a partir do ano de 1988. O ano de 2000 representou um momento de grande expansão na produção de soja no Piauí a partir do aumento na quantidade dos municípios produtores de soja. A produção de soja evoluiu no Piauí de 906 toneladas em 1990 para 100.963 no ano de 2000, e a área plantada de soja no Piauí, evoluiu de 1.560 hectares no ano de 1990 para 40.004 hectares no ano de 2000 (IBGE, 2021). Em relação ao desmatamento, no ano de 2000, o desmatamento no Piauí foi de 53.022 hectares, acima da média do desmatamento no estado no período de 1990 a 1999, que foi de 45.601 hectares (MapBiomass, 2022).

Em relação à análise espacial, conforme apresentado na Figura 4, o mapa LISA identificou para o ano de 2000, um cluster (Alto-Alto) de produção de soja englobando um total de 10 municípios. Em relação ao desmatamento no ano de 2000, foram identificados no Piauí 5 clusters de desmatamento (Alto-Alto) englobando um total de 20 municípios.

**Figura 4** - Mapa LISA da produção de soja e do desmatamento no Piauí (2000).



Fonte: Autor (2023).



Identificou-se um total de 5 municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e dos clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí, que foram responsáveis por 85% da produção de soja do Piauí e por 21% do desmatamento do Piauí no ano de 2000 (Tabela 2). Um total de 25% dos municípios integrantes dos clusters de desmatamento (Alto-Alto) no Piauí no ano de 2000 eram municípios que também integravam o cluster (Alto-Alto) de produção de soja.

**Tabela 2** - Municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e do clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí (2000).

Município	Produção de soja 2000 (t)	Desmatamento 2000 (ha)
Baixa Grande do Ribeiro	37.748	2.761
Ribeiro Gonçalves	4.276	1.514
Santa Filomena	6.586	401
Sebastião Leal	4.709	314
Uruçuí	32.386	6.108

Fonte: IBGE (2021); MapBiomias (2022). Organizado pelo autor (2023).

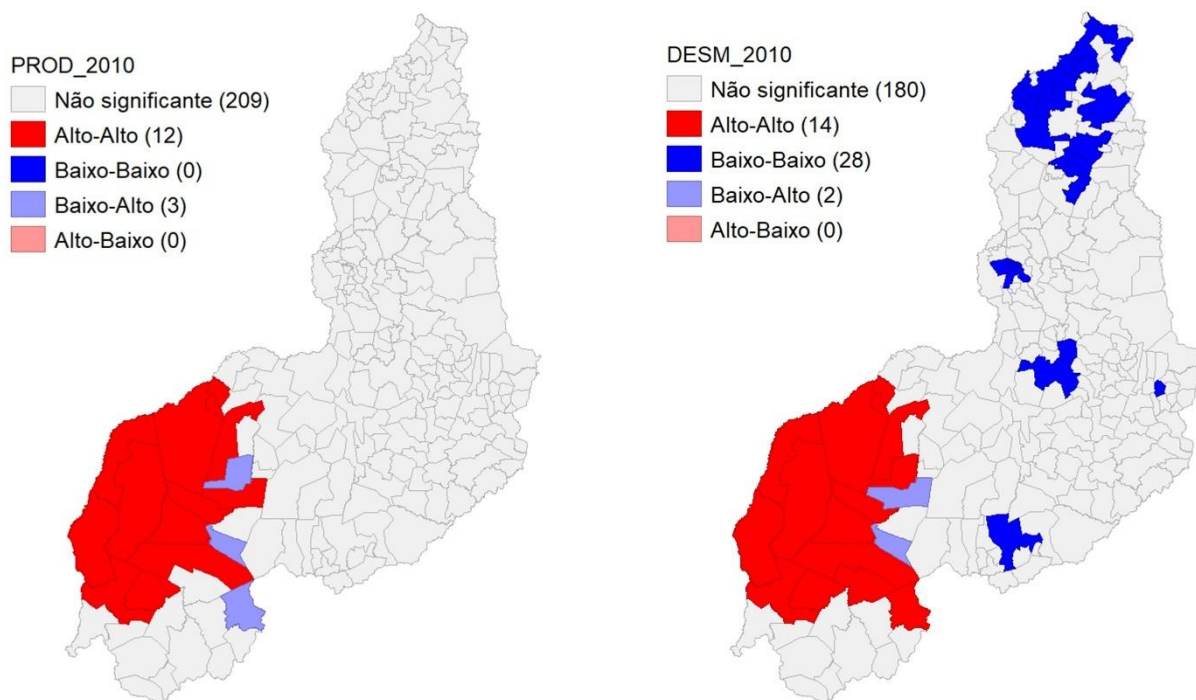
Os dois maiores produtores de soja do Piauí no ano de 2000 (Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro), foram os municípios com os maiores índices de desmatamento no Piauí no ano de 2000. Os municípios de Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro foram responsáveis por 69% de toda a produção de soja no Piauí em 2020 e por 17% da área desmatada no Piauí no ano de 2000.

A produção de soja no Piauí que em 2000 foi de 100.963 evoluiu para 868.493 toneladas em 2010. A área plantada passou de 40.004 hectares no ano de 2000 para 343.092 hectares no ano de 2010 (IBGE, 2021). No ano de 2010, a área desmatada no Piauí teve um aumento de 110,35% em relação ao ano de 2000, passando de 53.022 hectares no ano de 2000 para 111.531 hectares no ano de 2010. A média de desmatamento que foi de 45.601 hectares no período de 1990 a 1999 evoluiu para 66.902 hectares no período de 2000 a 2009 (MapBiomias, 2022).

O mapa LISA identificou para o ano de 2010 a formação de um cluster (Alto-Alto) de produção de soja formado por 12 municípios (Figura 4). Em relação ao desmatamento, observou-se a formação de um de um cluster (Alto-Alto) formado por 14 municípios.



**Figura 5** - Mapa LISA da produção de soja e do desmatamento no Piauí (2010).



Fonte: Autor (2023).

No ano de 2010, um total de 11 municípios integrava simultaneamente os cluster (Alto-Alto) de produção de soja e do cluster (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí (Tabela 3). Um total de 78% dos municípios do cluster (Alto-Alto) de desmatamento era formado por municípios integrantes do cluster (Alto-Alto) de produção de soja.

**Tabela 3** - Municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e do cluster (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí (2010).

Município	Produção de soja 2010 (t)	Desmatamento 2010 (ha)
Antônio Almeida	8.160	1.088
Baixa Grande do Ribeiro	201.385	26.701
Bom Jesus	69.390	10.869
Currais	42.328	1.529
Gilbués	32.676	2.137
Monte Alegre do Piauí	27.755	3.617
Palmeira do Piauí	24.818	3.117
Ribeiro Gonçalves	101.619	6.973
Santa Filomena	64.054	7.259
Sebastião Leal	24.168	1.446
Uruçuí	237.977	14.241

Fonte: Fonte: IBGE (2021); MapBiomas (2022). Organizado pelo autor (2023).

Os municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e do cluster (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí em 2010, foram responsáveis por 96% da produção de soja do Piauí e por 71% do desmatamento no estado. Os dois maiores produtores de soja do Piauí

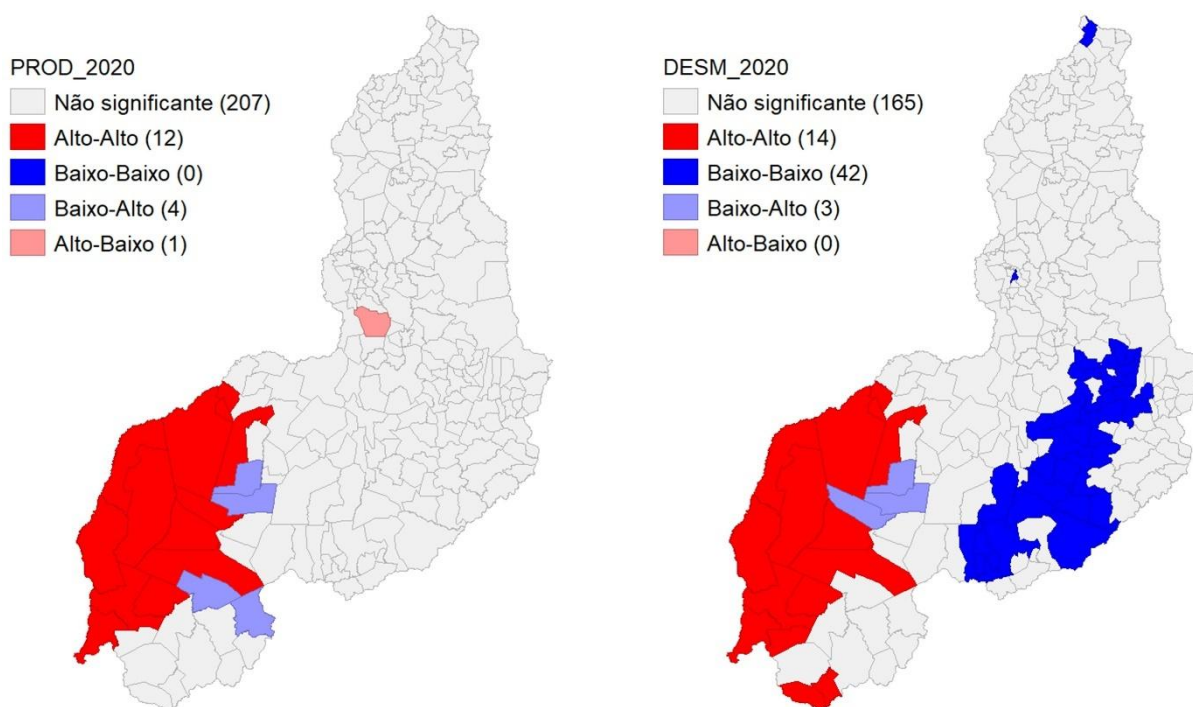


em 2010 (Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro) foram responsáveis por 51% de toda a produção de soja do Piauí e ao mesmo tempo foram os municípios que mais desmataram no estado em 2010, sendo responsáveis por 37% da área desmatada no Piauí.

A produção de soja no Piauí aumentou de 868.493 toneladas em 2010 para 2.447.620 toneladas em 2020. A área plantada de soja, evoluiu de 343.092 hectares no ano de 2010 para 757.978 hectares no ano de 2020 (IBGE, 2021). A área desmatada no Piauí no ano de 2020 foi de 14.986 hectares, apresentando uma drástica redução em relação ao ano de 2010 onde 111.531 hectares foram desmatados.

A média de desmatamento no período de 2010 a 2019 foi de 89.938, superior à média do período de 2000 a 2009 que foi de 66.902 hectares (MapBiomas, 2022). Conforme apresentado na Figura 6, para o ano de 2020, o mapa LISA identificou a formação de um cluster (Alto-Alto) de produção de soja no Piauí formado por 12 municípios. Em relação ao desmatamento, identificou-se a formação de dois clusters (Alto-Alto) formado por 14 municípios piauienses.

**Figura 6** - Mapa LISA da produção de soja e do desmatamento no Piauí (2020).



Fonte: Autor (2023).

Um total de 11 municípios integraram simultaneamente o cluster (Alto-Alto) de produção de soja e os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí no ano de 2020 (Tabela 3). Constatou-se que 78% dos municípios integrantes dos clusters (Alto-Alto) de desmatamento eram municípios que também integravam o cluster (Alto-Alto) de produção de soja.



**Tabela 4** - Municípios integrantes simultaneamente do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e do clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí (2020).

Município	Produção de soja 2020 (t)	Desmatamento 2020 (ha)
Antônio Almeida	15.860	247
Baixa Grande do Ribeiro	649.126	3.568
Barreiras do Piauí	48.798	108
Bom Jesus	222.817	736
Currais	137.118	88
Gilbués	108.258	1.131
Monte Alegre do Piauí	77.025	533
Ribeiro Gonçalves	261.371	89
Santa Filomena	219.859	490
Sebastião Leal	84.626	373
Uruçuí	445.991	2.777

Fonte: Fonte: IBGE (2021); MapBiomass (2022). Organizado pelo autor (2023).

Os 11 municípios que integram simultaneamente o cluster de produção de soja (Alto-Alto) e de desmatamento (Alto-Alto) foram responsáveis por 93% de toda a produção de soja do Piauí no ano de 2020 e por 67% de todo o total desmatado no Piauí no ano de 2020. No ano de 2020, os dois maiores produtores de soja do Piauí (Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro) foram responsáveis por 45% de toda a produção de soja do Piauí. Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro foram os municípios que mais desmataram no Piauí em 2020, sendo responsáveis por 42% da área desmatada no estado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise realizada foi possível compreender o padrão de distribuição espacial do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e dos clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí no recorte temporal utilizado. Percebeu-se uma associação espacial entre o cluster (Alto-Alto) de produção de soja e os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí, através da identificação dos municípios que integraram simultaneamente os dois clusters nos anos de 2000, 2010 e 2020. Enquanto no ano de 2000 um total de 25% dos municípios integrantes do clusters (Alto-Alto) de desmatamento era formado por municípios integrantes do cluster (Alto-Alto) de produção de soja, nos anos de 2010 e 2020 esse percentual evoluiu para 78%.

Entre os municípios analisados pela investigação aqui apresentada, como integrantes simultâneos do cluster (Alto-Alto) de produção de soja e dos clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí, cinco municípios (Baixa Grande do Ribeiro, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena, Sebastião Leal, Uruçuí) foram identificados em todos os anos (2000, 2010 e 2020) como integrantes simultâneos dos dois clusters. Os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena, Sebastião Leal, Uruçuí, foram responsáveis por 21% do desmatamento no Piauí no ano de 2000, por 51% no ano de 2010 e por 49% do desmatamento no Piauí no ano de 2020.



A análise demonstrou que os municípios de Uruçuí e Baixa Grande do Ribeiro, figuram em 2000, 2010 e 2020 como os maiores produtores de soja do Piauí, e ao mesmo tempo como os municípios com os maiores índices de desmatamento no estado. Embora no ano de 2000 tenham sido identificados cinco clusters de desmatamento (Alto-Alto) no Piauí, no ano de 2010 identificou-se apenas um cluster e no ano de 2020 foram identificados dois cluster. Especialmente, percebeu-se que diferente do ano de 2000, onde os cluster de desmatamento (Alto-Alto) eram visualizados em diferentes regiões do Piauí, nos anos de 2010 e de 2020, estes clusters foram identificados somente no Sul do Piauí, área de maior produção de soja do estado.

Através da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) utilizada nesta investigação, percebeu-se uma evolução na quantidade de municípios piauienses que integram simultaneamente o cluster (Alto-Alto) de produção de soja e os clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí, evoluindo de 3 municípios no ano de 2000 para 11 municípios nos anos de 2010 e 2020. Destaca-se ainda que no ano de 2020, dos 14 municípios integrantes do clusters (Alto-Alto) de desmatamento no Piauí, apenas 3 não integravam o cluster (Alto-Alto) de produção de soja, apontando a forte associação entre os municípios integrantes dos dois cluster.

Embora a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) revele padrões significativos de autocorrelação espacial, o estudo apresenta limitações quanto a determinação direta da causalidade da expansão da soja como vetor direto de desmatamento na área de estudo. Para pesquisas futuras sobre o tema na região, recomenda-se estudos voltados para análise temporal dos desmatamentos ocasionados diretamente pela soja através da aplicação de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

## REFERÊNCIAS

ANSELIN, L. *Spacestat – User’s Guide*. University of Illinois. **Urbana – Champaign, Urbana, USA**. 1992.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ANSELIN, L., et al. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, p. 5-22, 2006.

FROTA, A. B.; CAMPELO, G. J. A. Evolução e perspectivas da produção de soja no Meio-Norte do Brasil. In: QUEIROZ, M. A., et al. (Org). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste do Brasil**. Brasília: Embrapa, 1999.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal – PAM (2021)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso: 14 outubro 2022.



IBGE. **Cidades e Estados (2022)**. Disponível em: <<https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/pi.html>>. Acesso: 21 novembro 2022.

KUSCHNIG, Nicola, et al. Spatial spillover effects from agriculture drive deforestation in Mato Grosso, Brazil. **Scientific Reports**, n. 11, 2021.

LINS, et al. Análise espacial da evolução do índice de desenvolvimento humano nos municípios da Região Nordeste. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 14, n. 1, p. 81-96, 2015.

MAPBIOMAS. **Coleção MapBiomas 7 (2022)**. Disponível em:<[https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR)>. Acesso: 14 novembro 2022.

MAPBIOMAS. **RAD2024: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024**. São Paulo: MapBiomas, 2025.

MARQUES, A. P. S. et al. Análise exploratória de dados de área para índices de furto na mesorregião de Presidente Prudente- SP. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação**, Recife, 2010.

MORAN, P. A. P. (1948). **The interpretation of statistical maps**. Journal of Royal Statistical Society, v. 10, n. 2, 1948.

PEREIRA, C. N., et al. Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba. **Boletim regional, urbano e ambiental (IPEA)**, n. 18, p. 57-49, 2018.

RIVERO, Sérgio., et al. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v.19, n. 1, p. 41-66, 2009.

RODRIGUES, M. S.; BERMANN, C. O ARCO DE DESFLORESTAMENTO NA AMAZÔNIA: DA PECUÁRIA À SOJA. **Ambiente & Sociedade**, v. XV, n. 2, p. 1 -22, 2012.

RUDORFF, B.; AGUIAR, D. A.; RISSO, J. **Dinâmica da expansão da soja no bioma Cerrado de 2020/21 a 2023/24**. Florianópolis: Agribusiness, 2025.

SANTOS, L.; RAIJA JUNIOR, A. A. Análise Espacial de Dados Geográficos: A Utilização da Exploratory Spatial Data Analysis – ESDA para Identificação de Áreas Críticas de Acidentes de Trânsito no Município de São Carlos (SP). **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v.18, n. 35, p. 97-107, 2006.

SILVA, R. F. B., et al. Socioeconomic and environmental effects of soybean production in metacoupled systems. **Scientific Reports**, n. 11, 2021.