Autocorrelação espacial da produção de leite municipal no Paraná em 2023

Spatial autocorrelation of municipal milk production in Parana state in 2023

Marina Ronchesel Ribeiro[1]
Alexandre Salvador Werri[2]
Tiago Pellini[1*]

[1]Pesquisador(a) da Área de Socioeconomia e Métodos Quantitativos do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR – EMATER (IDR-Paraná), Londrina, Paraná, Brasil.
[2]Bolsista técnico do Programa Mais Ciência, da Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior SETI/UGF - Fundo Paraná, no IDR-Paraná.
*E-mail: tpellini@idr.pr.gov.br

GT 03 - Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo: Este estudo analisa a distribuição espacial da produção de leite no estado do Paraná com base em dados primários obtidos de pesquisa survey com 1.517 produtores distribuídos em 273 municípios. Utilizou-se a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para identificar padrões de autocorrelação global e local da produção média de leite municipal. O Índice I de Moran Global foi positivo e estatisticamente significativo, mas de baixa magnitude, indicando fraca dependência espacial na escala estadual. A análise LISA revelou padrões locais bem definidos, com formação de clusters Alto-Alto nas mesorregiões Noroeste, Centro Oriental, Oeste, Sudoeste/Centro Sul e Sudeste Paranaense, caracterizando áreas de elevada especialização produtiva. Mesorregiões como o Norte Pioneiro, Norte Central e Metropolitana de Curitiba apresentaram clusters Baixo-Alto, evidenciando baixa inserção na cadeia leiteira. A aplicação do método False Discovery Rate (FDR) confirmou a robustez desses agrupamentos, destacando os municípios com autocorrelação local estatisticamente consistente. Os resultados reforçam evidências da literatura sobre a concentração territorial da atividade leiteira e a heterogeneidade estrutural dos sistemas produtivos no Sul do Brasil. O estudo contribui para o planejamento de políticas públicas, ações de extensão rural e estratégias de desenvolvimento territorial, ao identificar núcleos consolidados e áreas periféricas da produção de leite no Paraná.

Palavras-chave: análise exploratória de dados espaciais; atividade leiteira; clusters espaciais.

Abstract: This study analyses the spatial distribution of milk production in the state of Paraná based on primary data obtained from a survey of 1,517 producers distributed across 273 municipalities. Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) was used to identify global and local autocorrelation patterns in average municipal milk production. The Global Moran's I Index was positive and statistically significant, but of low magnitude, indicating weak spatial dependence at the state level. LISA analysis revealed well-defined local patterns, with the formation of High-High clusters in the Northwest, Central-Eastern, West, Southwest/Central-Southern, and Southeast mesoregions of Paraná, characterizing areas of high productive specialization. Mesoregions such as the Northern Pioneer, North Central, and Metropolitan Region of Curitiba presented Low-High clusters, evidencing low insertion in the dairy chain. The application of the False Discovery Rate (FDR) method confirmed the robustness of these clusters, highlighting the municipalities with statistically consistent local autocorrelation. The results reinforce evidence from the literature on the territorial concentration of dairy farming and the structural heterogeneity of production systems in Southern Brazil. The study contributes to the planning of public policies, rural extension actions, and territorial development strategies by identifying consolidated centres and peripheral areas of milk production in Paraná.

Keywords: exploratory spatial data analysis; dairy activity; spatial clusters.

1. Introdução

A eficácia de um sistema agrícola não depende apenas do desempenho individual de seus agentes na resolução de problemas, mas também de como esses agentes interagem entre si e com o ambiente em que estão inseridos (Wang et al., 2020). Entre as diversas atividades agropecuárias realizadas no Brasil, a produção de leite é uma das mais relevantes, tanto do ponto de vista econômico quanto social, com forte presença de estabelecimentos familiares (Bacchi et al., 2022).

A produção de leite no Brasil teve aumento expressivo nas últimas décadas, impulsionado sobretudo por ganhos de produtividade e intensificação dos sistemas de produção. O país está posicionado entre os dez maiores produtores globais de leite, atividade realizada em muitas propriedades rurais em todas as regiões brasileiras e ligada a uma cadeia produtiva das mais relevantes do agronegócio nacional (Leite et al., 2023).

De acordo com os dados da Produção da Pecuária Municipal (PPM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o número de vacas ordenhadas no Brasil em 2024 foi de 15.132.736, produzindo 35.743.862 mil litros de leite. A região Sul, composta pelos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina, destaca-se no cenário nacional da produção leiteira tendo sido responsável por 33% da produção nacional, com um volume de 11.949.706 litros de leite (IBGE, 2024). No estado do Paraná, esse número foi de 1.140.641 de vacas ordenhas, com uma produção de 4.621.877 mil litros de leite (IBGE, 2026).

A produção de leite desempenha um papel significativo no desenvolvimento econômico e social ao redor do mundo. Globalmente, aproximadamente 150 milhões de famílias estão envolvidas na produção de leite, a maioria delas são pequenos agricultores familiares em países em desenvolvimento, para os quais essa atividade é a principal fonte de subsistência deles (CARVALHO, 2022). De forma semelhante, a produção de leite no Brasil se baseia em um grande número de pequenos e médios produtores, sendo responsáveis por 58% do total de leite para consumo (HONORATO *et al.,* 2014). Segundo Lange *et al.* (2016), a produção de leite brasileira tem uma natureza complexa e envolve estratégias diversas dos produtores. Tal característica impõe desafios às ações voltadas ao aprimoramento dos sistemas de produção de leite, tanto pela pesquisa agropecuária e extensão rural quanto para as indústrias ligadas ao segmento. Embora a produção de leite ocorra em todo território nacional, existem regiões onde essa atividade é especialmente concentrada, com alto nível tecnológico (TELLES *et al.,* 2020).

Lugão *et al.* (2018) salienta que apesar das dificuldades intrínsecas do setor leiteiro, no estado do Paraná houve grande desenvolvimento tecnológico na produção, o que ocorreu devido à fatores técnicos organizacionais, como a colaboração entre instituições de ensino, pesquisa e extensão, além de associações de crédito, o uso de mão de obra especializada, a seleção de rebanhos com maior produtividade e uma estrutura cooperativa ativa.

Considerando a grande amplitude observada na quantidade de leite produzida por estabelecimento e a consequente diversidade estrutural e tecnológica dos sistemas produtivos no Paraná, torna-se relevante compreender como essa heterogeneidade se expressa no território. Estudos recentes sobre dinâmica espaço-temporal da produção de leite no Brasil e no Paraná evidenciam processos de concentração, formação de novas fronteiras leiteiras e diferenciação entre regiões em termos de produtividade, especialização e sustentabilidade. Assim, o objetivo deste estudo é identificar a distribuição espacial da produção leiteira no estado do Paraná com base nos dados oriundos de pesquisa *survey* aplicado a um conjunto de municípios

representativos da atividade, contribuindo para compreensão dos padrões regionais de especialização e para o direcionamento de políticas públicas, serviços de assistência técnica e estratégias de organização dos produtores.

2. Materiais e métodos

2.1 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA E LEVANTAMENTO DE CAMPO

A identificação do conjunto amostral teve como base o número de 30.331 estabelecimentos de Sistemas Predominantes de Produção de Leite (SPPL) identificados no estado do Paraná em análise do Censo Agropecuário de 2017 por Laurenti et al (2023), dos quais se decidiu tomar uma amostra de tamanho igual a 5% (cinco por cento), resultando em 1.517 produtores de leite para serem entrevistados por meio de questionário.

A distribuição espacial da amostra seguiu um critério duplo, com pesos iguais, considerando o número de estabelecimentos leiteiros no município (critério quantitativo 1, número de estabelecimentos em que a bovinocultura de leite era atividade do sistema predominante de produção agropecuária - SPP) e volume de leite produzido no município (critério quantitativo 2, produção total em litros de leite). Tais cálculos de determinação da amostra foram realizados pelo Laboratório da Área de Socioeconomia e Métodos Quantitativos do IDR-Paraná (LASE). A aplicação desses critérios definiu a seleção de 273 municípios (do total de 399 municípios paranaenses) para realização da pesquisa de campo (Tabela 1).

A identificação dos estabelecimentos leiteiros nos municípios selecionados para a realização das entrevistas foi feita a partir do cadastro estadual de rebanho bovino da Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR), sendo os mesmos escolhidos de forma aleatória (por sorteio).

Tabela 1 – Composição e distribuição da amostra segundo as mesorregiões e unidades regionais do IDR-Paraná, em número de questionários aplicados.

Divisões do IDR-Paraná		Critérios para determinação da amostra		
Mesorregião	**Regional**	**Critério 1 - Sistemas de produção predominantes (SPP) com bovinocultura de leite (Peso 0,5)**	**Critério 2 - Volume de produção de leite (Peso 0,5)**	**Ponderação por soma dos critérios 1 e 2 multiplicados pelo peso (amostragem utilizada)**
Centro		**300**	**187**	**243**
	Guarapuava	174	104	139
	Laranjeiras do Sul	126	83	104
Centro Sul		**99**	**301**	**200**
	Irati	24	40	32
	Ponta Grossa	59	241	150
	União da Vitória	15	21	18
Metropolitana de Curitiba e Litoral		**7**	**11**	**9**
	Curitiba	-	11	9
Noroeste		**233**	**157**	**195**
	Cianorte	18	14	**16**
	Maringá	21	17	**19**
	Paranavaí	92	57	**74**
	Umuarama	102	68	**85**
Norte		**173**	**118**	**146**
	Apucarana	5	8	7
	Cornélio Procópio	10	6	8
	Ivaiporã	76	45	60
	Londrina	11	9	10
	Santo Antônio da Platina	71	51	61
Oeste		**285**	**331**	**308**
	Campo Mourão	66	43	55
	Cascavel	130	139	135
	Toledo	88	148	118
Sudoeste		**420**	**411**	**416**
	Francisco Beltrão	214	192	203
	Pato Branco	115	129	122
Total				**1517**

Elaboração: Área de Socioeconomia e Métodos Quantitativos (ASE) do IDR-Paraná.
Nota: distribuição amostral pelos critérios de participação em termos de sistemas predominantes de leite (SPPL, segundo Laurenti et al, 2023) e de volume de produção médio do município em litros de leite, abrangendo 273 municípios.

A pesquisa survey foi realizada pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná Iapar-Emater (IDR-Paraná), envolvendo a aplicação de um questionário elaborado por diversas áreas de especialidade do instituto aos produtores de leite, tarefa executada por extensionistas do IDR-Paraná, que executaram também a entrada das informações coletadas em um formulário eletrônico e seu envio à coordenação da pesquisa.

O levantamento de campo consistiu em visita do extensionista do IDR-Paraná aos produtores escolhidos por sorteio. Após confirmação de elegibilidade do produtor para participação na survey, que era ter produzido e comercializado leite de vaca no período de um ano considerando a data da pesquisa, o entrevistador explicava os objetivos da pesquisa e que a participação no estudo era voluntária, com aceite do entrevistado registrado por meio de assinatura do Termo de Consentimento - TCLE[1]. As perguntas foram feitas e registradas utilizando questionário semiestruturado e pré-testado, com um total de 100 questões e que

[1] O TCLE utilizado foi oriundo de protocolo submetido e aprovado pela coordenação da pesquisa na Plataforma Brasil quanto à ética nos estudos envolvendo humanos.

requereu uma entrevista com uma duração aproximada de uma hora e 15 minutos. A pesquisa de campo envolveu diretamente 145 profissionais do IDR-Paraná, sendo realizada num período de cerca de oito semanas, encerradas em setembro de 2023.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA ANÁLISE ESPACIAL

Com objetivo de realizar a análise univariada da média de produção leiteira no estado do Paraná obtida a partir dos dados da pesquisa, utilizou-se a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). O conjunto de dados é classificado como do tipo corte transversal (*cross-section*), com informações seccionadas por municipalidade.

Foi construída uma matriz de pesos espaciais (W), quadrada de ordem n por n. A conexão espacial entre os munícipios foi definida pela estratificação dos dados obtidos (Tabela 1), considerando a proximidade socioeconômica e de natureza similar sugerida por Almeida (2012, p.87). A amostra abrangeu 273 dos 399 munícipios paranaenses.

A análise de autocorrelação espacial foi realizada por meio dos índices I de Moran Global e Local (LISA – *Local Indicator of Spatial Association*), conforme abordagem clássica da econometria espacial (ALMEIDA, 2012). O Índice I de Moran Global permite analisar a distribuição espacial dos dados e a existência de padrão de dependência espacial, tal qual a semelhança de valores com tendência a agrupação, obtida da seguinte forma:

$$I = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\Sigma_i \Sigma_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^{n} z_i^2} \qquad (2.1)$$

onde: n = número de unidades espaciais; z_i é o desvio da observação i em relação à média; S_0 é o agregado de todos os pesos espaciais; w_{ij} é o elemento da matriz de pesos espaciais W; $\Sigma_i \Sigma_j w_{ij} z_i z_j$ representa a interação espacial entre os desvios e $\sum_{i=1}^{n} z_i^2$ é a soma dos quadrados dos desvios..

A significância estatística do I de Moran foi inicialmente avaliada por meio do teste assintótico, considerando a distribuição normal padronizada de hipótese nula de aleatoriedade espacial do atributo analisado, permitindo verificar se o padrão espacial observado difere significativamente do esperado sob independência espacial (ANSELIN, 1988; ALMEIDA, 2012). Como os dados da amostra violam a premissa de simetria, por conta da presença de valores nulos, que corresponde aos municípios que não foram amostrados, a literatura sugere a aplicação de permutação por Monte Carlo para obtenção de valores empíricos (Anselin, 1988 e Almeida, 2012). Pelo procedimento, os valores da variável são aleatoriamente reordenados, recalculando o I de Moran em cada permutação. Neste estudo, as permutações foram testadas quatro mil novecentas e noventa e nove vezes (R=4.999). Essa abordagem é considerada mais robusta que o teste assintótico, pois não depende de aproximações normais e possibilita avaliar a significância estatística de amostras com estrutura espacial complexas, valores nulos ou números reduzidos de vizinhos.

No caso da identificação de padrões locais de associação espacial, calculados por meio do LISA, de acordo com Anselin (1995) a obtenção do valor de cada unidade i é obtida por:

$$I_i = \frac{z_i}{m^2} \sum_j w_{ij} z_j + \varepsilon \quad (2.2)$$

$$m^2 = \frac{\sum_i z_i^2}{n} \quad (2.3)$$

onde, z_i representa o vetor de desvios; m^2 é o termo de normalização na fórmula de I_i; $\sum_j w_{ij} z_j$ é a média ponderada dos vizinhos (defasagem espacial).

A significância de cada I_i foi inicialmente analisada pelo teste assintótico por permutação de Monte Carlo, sendo que após o cálculo houve uma diminuição do número de municípios significativos estatisticamente. Por isso, como alternativa ao Monte Carlo, foi utilizado o método False Discovery Rate (FDR) de Benjamin e Hochberg (1995), a fim de controlar os falsos positivos. Os resultados após a aplicação do FDR foram similares aos métodos anteriores, assim, o FDR foi o método escolhido para os resultados do I de Moran Local por ser mais conservador em relação ao teste assintótico e à permutação de Monte Carlo, pois permite controlar os falsos positivos e a identificar apenas os padrões espaciais mais robustos.

Os dados foram processados e os resultados obtidos, para I de Moran Global e Local, obtenção dos mapas LISA e de significância estatística, através dos softwares GeoDa e RStudio 2023.06.0+421.

3. Resultados e Discussão

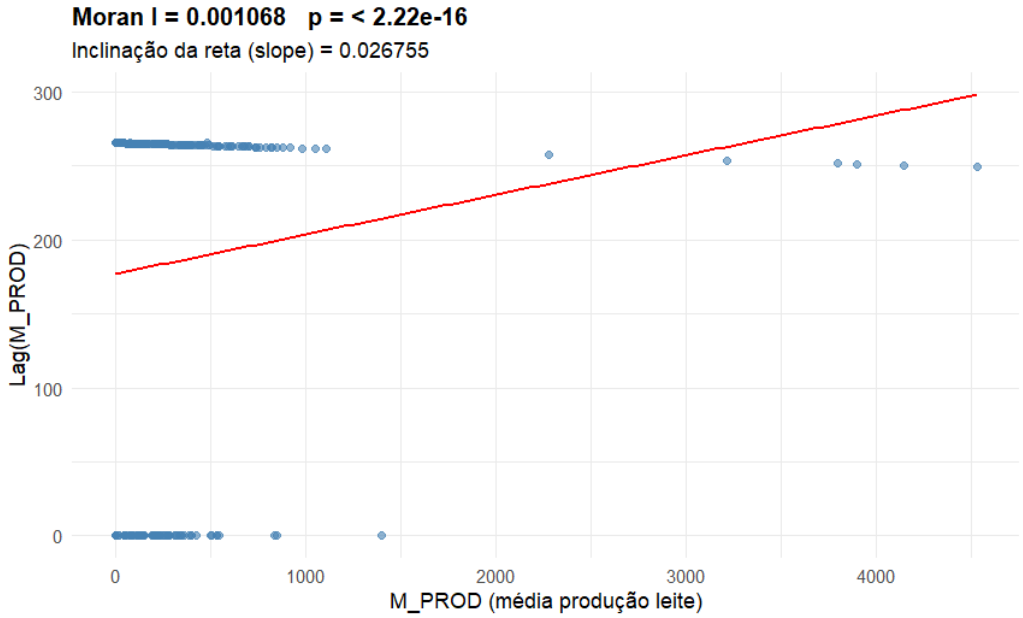
A análise exploratória de dados espaciais (AEDE) aplicada aos municípios amostrados do Paraná revelou padrões consistentes de autocorrelação espacial positiva na produção média de leite por município, indicando que a atividade não está distribuída de forma aleatória no território. Pelo contrário, há agrupamentos territoriais bem definidos, nos quais municípios com elevada produção tendem a estar próximos de outros municípios igualmente especializados.

O cálculo do Índice I de Moran Global confirmou a presença de dependência espacial significativa (Figura 1), resultado que sugere que a produção leiteira no estado apresenta estrutura espacial organizada, refletindo fatores como tradição produtiva, presença de cooperativas, infraestrutura agroindustrial de processamento de lácteos e redes de assistência técnica.

O coeficiente do I de Moran Global apresentou valor positivo e estatisticamente significativo (a 5%), porém muito baixo (I = 0,001068). Esse resultado indica que embora exista dependência espacial na distribuição da produção média de leite, sua intensidade é reduzida quando observada na escala estadual. A baixa magnitude do índice reflete a elevada

heterogeneidade estrutural dos sistemas produtivos e a presença de municípios não amostrados, o que tende a suavizar a autocorrelação global (Figura 1).

Figura 1: Índice I de Moran Global para valores médios da produção de leite nos municípios amostrados no Paraná em 2023.



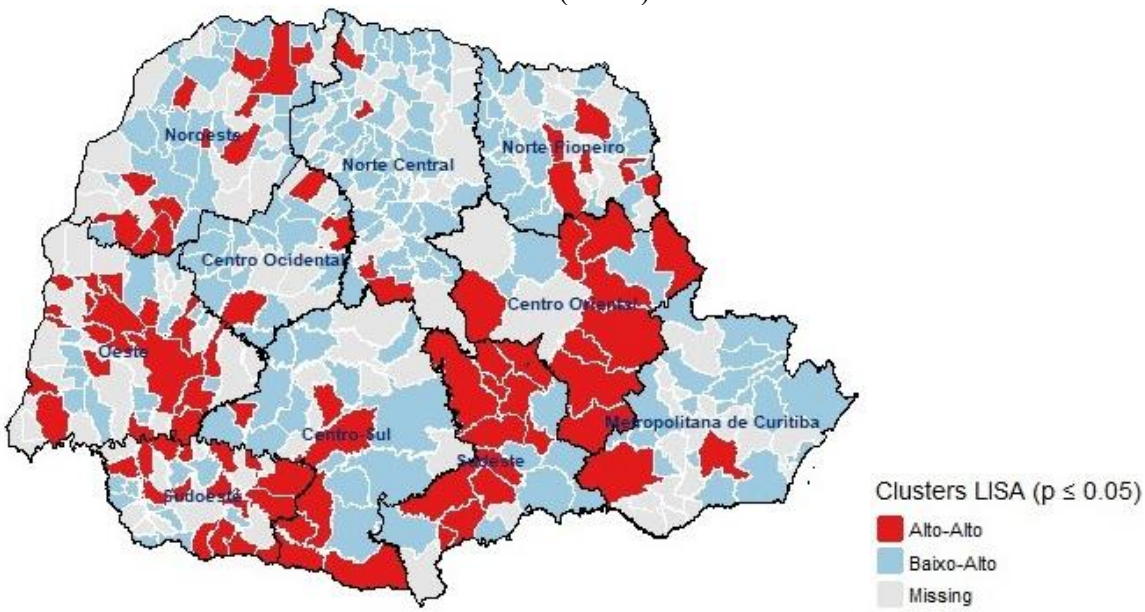
Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.
Nota: Valores do Índice I de Moran Global estatisticamente significativos a 5%.

Apesar disso, a análise LISA (Figura 2) revelou padrões locais bem definidos, com formação de clusters Alto-Alto nas mesorregiões Noroeste, Centro Oriental, Oeste, Sudoeste/Centro Sul e Sudeste Paranaense[2], indicando áreas de forte especialização produtiva. Por outro lado, regiões com menor tradição leiteira apresentaram clusters Baixo-Alto, caracterizando baixa concentração da atividade. Assim, mesmo com fraca autocorrelação

[2] Mesorregiões paranaenses considerando a divisão territorial de 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

global, os resultados evidenciam a existência de núcleos territoriais de especialização que estruturam a produção de leite no Paraná.

Figura 2: Concentração espacial da produção de leite nos municípios amostrados no Paraná em 2023 utilizando o Índice de Moran Local (LISA).



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.
Notas: Alto-Alto indica aglomerados espaciais de valores altos. Já a categoria Baixo-Alto identifica unidades espaciais com valores baixos que apresentam associação espacial positiva com vizinhos de valores mais altos - não necessariamente cercadas exclusivamente por altos, mas com predominância de vizinhos altos suficiente para caracterizar essa relação. A categoria Missing se refere aos municípios que não foram selecionados na amostragem adotada.

Os resultados que evidenciam a existência de clusters Alto-Alto nas mesorregiões mencionadas, confirmam o observado para o Brasil no estudo de Bacchi et al. (2022), em que os autores demonstram que a cadeia do leite no país apresenta forte tendência à concentração territorial, com formação de polos regionais de especialização associados a ganhos de produtividade, intensificação tecnológica e maior integração com agroindústrias. Assim, ao identificar núcleos produtivos no Paraná, o presente estudo confirmou a ocorrência do mesmo padrão observado em âmbito nacional, indicando que o estado segue a mesma lógica de organização espacial da atividade leiteira descrita pelos autores supracitados.

Telles et al. (2020) também destacaram que os sistemas de produção leiteira no Sul do Brasil são marcados por heterogeneidade estrutural, coexistindo propriedades altamente tecnificadas com unidades de menor escala e baixa produtividade. Essa característica é coerente com os resultados do presente estudo, que identificou baixa magnitude do Índice I de Moran Global (0,001068), sugerindo que, quando analisado em escala estadual, o setor apresenta grande variabilidade espacial interna. Contudo, o LISA revelou que essa heterogeneidade não

impede a formação de aglomerados locais bem definidos, confirmando a presença de territórios especializados e outros com baixa inserção na cadeia produtiva de lácteos.

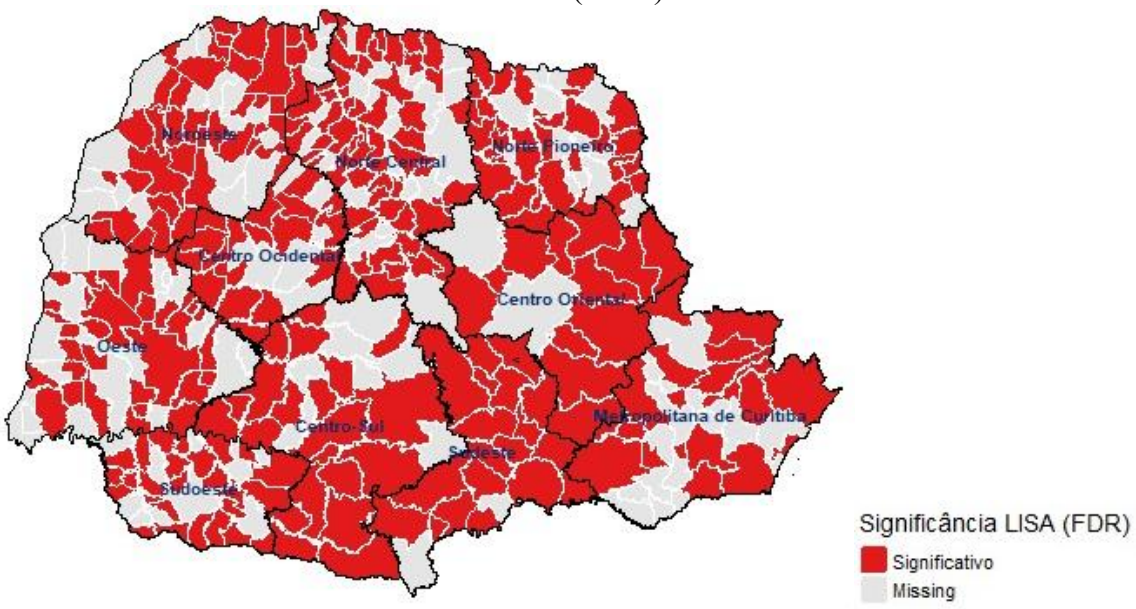
O desenvolvimento da atividade leiteira no Paraná, segundo Lugão et al. (2018), é fortemente associado a fatores organizacionais e institucionais, como a atuação de cooperativas, a presença de assistência técnica qualificada e a adoção de tecnologias de manejo e genética. Esses elementos ajudam a explicar por que as mesorregiões Centro Oriental, Oeste e Sudoeste/Centro Sul do estado, historicamente reconhecidas pela força do cooperativismo e pela presença de grandes agroindústrias processadoras de produtos de origem animal, assim como a mesorregião Noroeste Paranaense, que concentra laticínios privados, aparecem como clusters Alto-Alto. A concentração espacial inferida a partir da análise espacial utilizando modelos estatísticos reflete processos socioeconômicos e institucionais consolidados, que moldaram a estrutura produtiva regional.

Por outro lado, as mesorregiões relacionadas a clusters Baixo-Alto (Figura 2), como a Norte Central, Norte Pioneiro e Metropolitana de Curitiba, apresentam características também compatíveis com as achadas por Bacchi et al. (2022) para o Brasil, que descrevem essas como áreas de baixa especialização e menor dinamismo produtivo, frequentemente associadas a sistemas menos intensivos e menor acesso a serviços de apoio. Esses territórios tendem a permanecer à margem dos processos de modernização e intensificação, o que contribui para a manutenção de padrões espaciais desiguais dentro do estado.

A Figura 3 evidencia apenas os municípios cuja autocorrelação espacial local permaneceu estatisticamente significativa após o controle de múltiplas comparações pelo método FDR. Isso significa que os territórios destacados em vermelho representam áreas onde a dependência espacial observada é robusta, isto é, a associação entre o valor do município e o valor de seus vizinhos não pode ser atribuída ao acaso.

Esse mapa de significância (Figura 3) se diferencia do mapa de clusters LISA (Figura 2) porque ele não mostra o tipo de associação (categorias Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto), mas apenas se a relação espacial é estatisticamente confiável. Enquanto o mapa de clusters (Figura 2) revela como os municípios se agrupam, destacando padrões de concentração ou discrepância, o mapa de significância revela onde esses padrões são sólidos o suficiente para serem interpretados com segurança. Assim, áreas classificadas como Alto-Alto ou Baixo-Alto no primeiro mapa só devem ser consideradas verdadeiros núcleos de cluster quando também aparecerem como significativas no mapa FDR (Figura 3).

Figura 3: Relação dos municípios amostrados significativos na produção de leite no Paraná em 2023 utilizando o índice de Moran Local (LISA).



Fonte: Elaborado a partir dos dados da pesquisa.
Nota: Os valores de Índice de Moran Local (LISA) foram estatisticamente significativos a 5%.

A análise integrada dos indicadores globais e locais de autocorrelação espacial evidência que a produção de leite no Paraná apresenta uma configuração territorial marcada por contrastes. Embora o Índice I de Moran Global tenha revelado dependência espacial fraca na escala estadual, sua significância estatística confirma que a distribuição da atividade não é espacialmente aleatória, mas possivelmente estruturada por fatores socioeconômicos, institucionais e produtivos. Os resultados do LISA aprofundam essa leitura ao identificar núcleos de especialização, especialmente nas mesorregiões Noroeste, Centro Oriental, Oeste, Sudoeste/Centro Sul e Sudeste, e áreas de baixa inserção produtiva, como o Norte Pioneiro, Norte Central e Metropolitana de Curitiba, refletindo a heterogeneidade estrutural descrita pela literatura.

A aplicação do método FDR reforçou a robustez desses padrões ao destacar apenas os municípios cuja autocorrelação local é estatisticamente consistente, filtrando flutuações aleatórias e fortalecendo a interpretação territorial. A complementaridade entre os mapas de clusters e o mapa de significância permite identificar não apenas onde a produção leiteira se concentra, mas também onde essa concentração é estatisticamente confiável. Assim, os resultados consolidam a compreensão de que a atividade leiteira no Paraná é organizada em torno de polos produtivos bem definidos, coexistindo com regiões periféricas que permanecem menos integradas à cadeia.

4. Considerações finais

Este estudo analisou a distribuição espacial da produção de leite no Paraná a partir de dados primários de produção média coletados em 273 municípios e aplicou técnicas de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para identificar padrões de autocorrelação global e local.

Os resultados revelaram que, embora o Índice I de Moran Global apresente baixa magnitude, indicando fraca dependência espacial quando observada em escala estadual, a significância estatística deste índice demonstra que a distribuição da atividade não é aleatória. Por sua vez, a análise local, utilizando o Índice de Moran Local (LISA), evidenciou padrões espaciais bem definidos, com formação de clusters Alto-Alto nas mesorregiões Noroeste, Centro Oriental, Oeste, Sudoeste/Centro Sul e Sudeste Paranaense, e clusters Baixo-Alto em regiões de menor especialização produtiva do estado.

A aplicação do método False Discovery Rate (FDR) reforçou a robustez desses padrões, destacando os municípios cuja autocorrelação local é estatisticamente consistente. Esses resultados confirmam a existência de núcleos territoriais consolidados da produção leiteira no estado, ao mesmo tempo em que revelam áreas periféricas ou menos integradas à cadeia produtiva. A coexistência de regiões altamente especializadas com territórios de baixa densidade produtiva evidencia a heterogeneidade estrutural da atividade.

Os achados deste estudo contribuem para a compreensão da dinâmica espacial da produção de leite no Paraná e oferecem subsídios relevantes para o planejamento de políticas públicas, ações de extensão rural e estratégias de desenvolvimento territorial. A identificação de clusters produtivos pode orientar investimentos em infraestrutura, assistência técnica e inovação, enquanto o reconhecimento de áreas de baixa especialização pode apoiar iniciativas voltadas à inclusão produtiva e ao fortalecimento de sistemas de produção menos estruturados.

Assim, a análise espacial da produção de leite apresentada auxilia no entendimento da atual configuração da atividade leiteira no estado e fornece informações úteis para a construção de estratégias que apoiem o fortalecimento da cadeia produtiva de lácteos paranaense.

Referências

Bacchi, M., Almeida, A., Telles, T. Spatio-temporal dynamics of milk production in Brazil. ***Semina: Ciências Agrárias***, v. 43, n. 1, p. 241-262, 2022. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p241.

Carvalho, L.S., Willers, C.D., Soares, B.B., Nogueira, A.R., Almeida Neto, J.A., Rodrigues, L.B. Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. ***Environmental Science and Pollution Research,*** v. 29, n. 15, p. 21259-21274, 2022. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17317-5

Laurenti, A.C.; Soares Júnior, D.; Costa, G. V. Sistemas de produção na agropecuária do Paraná: especialização e diversidade. Londrina: IDR - Paraná, 2023. 82p. (***Boletim Técnico n.105***).

Leite, A.E.L.M., Alves, E., Melo, F., Barroso, I., Soares, A., Imazaki, P., Medeiros, E. Overview of the milk production chain in Brazil: development and perspectives. ***Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*****,** v. 1, p. 170-185, 2023. https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biology/milk-production.

Honorato, L. A., Machado Filho, L. C. P., Silveira, I. B., Hötzel, M. J. Strategies used by dairy family farmers in the south of Brazil to comply with organic regulations. ***Journal of dairy science***, v. *97, n.* 3, p. 1319-1327, 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatisca. Pesquisa Pecuária Municipal. 2026.

Lange, M.J., Zambom, M.A., De Oliveira Ramos, C.E.C., Castagnara, D. D., Bánkuti, F.I., Neumann, M.E., De Brito, M.M.; Dos Reis Tinini, R.C. Tipologia de sistemas de produção leiteiros baseado nas características produtivas e de manejo na Região Oeste do Paraná. ***Semina: Ciências Agrárias***, v. *37, n.* 1, p. 473-482, 2016.

Lugão, S.M.B., Volsi, B., Costa, G.V. DA, Almeida, E.L.D. DE, Telles, T.S. Technical and economic indicators of milk production systems in the Caiuá sandstone region. ***Acta Scientiarum. Animal Sciences***, v. *41, n.* 91, p. e42536, 2018. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42536

Telles, T.S., Bacchi, M.D., Costa, G.V., Schuntzemberger, A. Milk production systems in Southern Brazil. ***Anais da Academia Brasileira de Ciências***, v. *92*, p. e20180852, 2020.

Wang, G., Lu, Q., Capareda, S. Social network and extension service in farmers' agricultural technology adoption efficiency. *PLoS ONE*, v. 15, n. 7, p. e0235927, 2020. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235927.