

PADRÕES ESPACIAIS DA PECUÁRIA NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM CLUSTERS

JAMMILI VITÓRIA EBEL TESSMANN¹; NÁDIA CAMPOS PEREIRA BRUHN²;

¹Universidade Federal de Pelotas – jammiliteessmann@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – nadiacbruhn@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A pecuária desempenha papel de destaque na economia agropecuária brasileira, sendo responsável tanto pela produção de carne quanto de leite, além de representar importante fonte de renda para milhares de famílias, especialmente em áreas rurais. Em 2023, a produção nacional de leite de vaca alcançou 35,4 bilhões de litros, representando um aumento de 2,4% em relação ao ano anterior. A Região Sul consolidou-se como a principal produtora, respondendo por 33,6% do total nacional, com o estado do Rio Grande do Sul figurando entre os maiores produtores do país (IBGE, 2024).

Segundo a Emater/RS-Ascar (2023) no contexto estadual, a cadeia produtiva do leite é fortemente marcada pela predominância da agricultura familiar, sobretudo em regiões com clima favorável, bom potencial forrageiro e disponibilidade de mão de obra. Contudo, a atividade também impõe desafios relevantes do ponto de vista ambiental. A pecuária é uma das maiores fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE), destacando-se o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), oriundos da fermentação entérica e da gestão de dejetos animais, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas globais (FAO, 2023; KAZANSKI et al., 2025).

Nesse cenário, torna-se fundamental compreender a distribuição espacial da pecuária no território gaúcho, de modo a subsidiar ações de planejamento territorial, políticas públicas sustentáveis e estratégias de fortalecimento da atividade. Para isso, este estudo tem como objetivo principal identificar clusters espaciais da pecuária no Rio Grande do Sul e analisar os padrões de distribuição e autocorrelação espacial no período de 2014 a 2023. Os objetivos específicos incluem: analisar a evolução temporal da atividade, verificar áreas de maior concentração de rebanhos, identificar padrões locais de autocorrelação espacial.

2. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos do estudo, será aplicada a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), com o intuito de identificar padrões, tendências e clusters na distribuição da pecuária leiteira no Rio Grande do Sul. A AEDE permite detectar outliers espaciais e avaliar a autocorrelação dos dados, utilizando técnicas como Análise Local de Autocorrelação Espacial (LISA) e mapas temáticos.

Os dados utilizados abrangem o período de 2014 a 2023 e serão obtidos por meio da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), disponibilizada pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Essa base fornece informações confiáveis sobre número efetivo de bovinos, em nível municipal.

Para a análise das emissões de gases de efeito estufa (GEE) especialmente metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), associados à atividade pecuária serão utilizados dados secundários do SEEG e do IBGE, referentes ao mesmo período (2014–2023).

A identificação de clusters espaciais será realizada no software GeoDa, com aplicação do Índice de Moran Global para avaliar a autocorrelação espacial, e da Análise LISA para identificar padrões locais de aglomeração, como hotspots (altos-alto) e coldspots (baixos-baixo) da produção leiteira no estado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise espacial revelam padrões territoriais marcantes na distribuição das emissões de CH_4 e NO_2 no Rio Grande do Sul. Ao aplicar o Índice de Moran Univariado Global ao período de 2014–2023, observou-se, para ambas as variáveis, autocorrelação espacial positiva estatisticamente significativa ($p < 0,01$), ainda que com intensidades diferentes.

No caso do metano (CH_4), os valores de Moran oscilaram entre 0,21 e 0,30, indicando que as emissões se concentram em regiões específicas sobretudo aquelas onde a bovinocultura é mais intensa. Essa concentração está diretamente ligada ao metano entérico, subproduto do metabolismo microbiano no rúmen dos ruminantes. Ribeiro et al. (2020) demonstram que a emissão de CH_4 em sistemas de bovinocultura é fortemente influenciada pela densidade do rebanho, pelo tipo de manejo e pela qualidade da dieta, fatores que tendem a se aglomerar em zonas de alta produtividade.

Já para o dióxido de nitrogênio (NO_2), os índices de Moran variaram de 0,12 a 0,19, sugerindo uma distribuição espacial mais difusa, fruto de múltiplas fontes emissoras atuando simultaneamente. Esse padrão reflete a diversidade de processos que liberam NO_2 em ambientes rurais e urbanos, como a queima de combustíveis fósseis, o uso de maquinário agrícola (tratores e colheitadeiras), a aplicação de fertilizantes nitrogenados e as atividades industriais e logísticas associadas ao agronegócio. Estudos como o de Schwertner et al. (2024) no Cerrado apontam não só o aumento das emissões diretas, mas também o crescimento das indiretas, ligadas ao transporte de insumos e ao consumo de energia fóssil. Dias et al. (2024) reforçam essa visão, associando práticas produtivas modernas à ampliação dos impactos ambientais indiretos, mesmo em áreas de baixa densidade demográfica.

Esses resultados estão em conformidade com estudos que evidenciam a fermentação entérica de ruminantes às emissões de CH_4 , como discutido por Ribeiro et al. (2020) e Dias et al. (2024).

O mapa evidencia agrupamentos significativos do tipo Alta–Alta em regiões centrais e noroeste do estado, onde a densidade bovina coincide com maiores emissões de metano entérico. Também se observam clusters Baixa–Baixa em áreas urbanizadas e litorâneas, com reduzida presença de pecuária e baixas emissões de CH_4 . As categorias Alto–Baixo e Baixo–Alto indicam a existência de outliers espaciais e complexidades locais. A análise está baseada no Índice de Moran Bivariado Local (LISA), com significância $p < 0,05$.

Mapas do Índice de Moran Bivariado - 2014

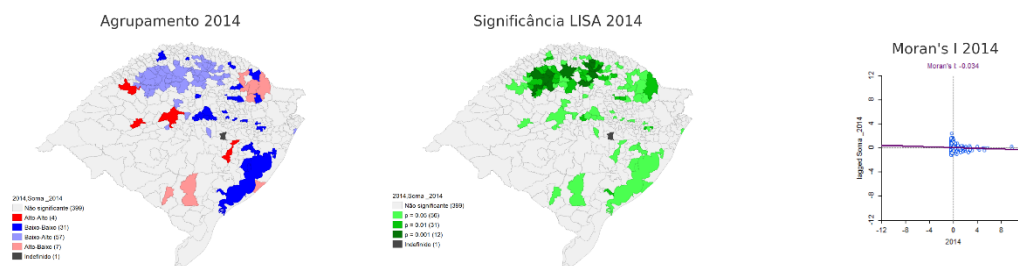


Figura 1 – Distribuição espacial dos clusters bivariados entre a população de bovinos e as emissões de CH_4 nos municípios do Rio Grande do Sul em 2014.

Verifica-se a intensificação de clusters alta–Alta nas regiões Noroeste e Centro-Oeste, reforçando a correlação espacial entre concentração pecuária e emissão de metano, conforme apontado por Ribeiro et al. (2020). A persistência de agrupamentos Baixa–Baixa na Região Metropolitana de Porto Alegre sugere estabilidade nos padrões espaciais da pecuária e suas emissões. A ampliação da significância estatística ($p < 0,05$) em mais municípios também evidencia o fortalecimento das correlações territoriais ao longo do tempo.

Mapas do Índice de Moran Bivariado - 2023

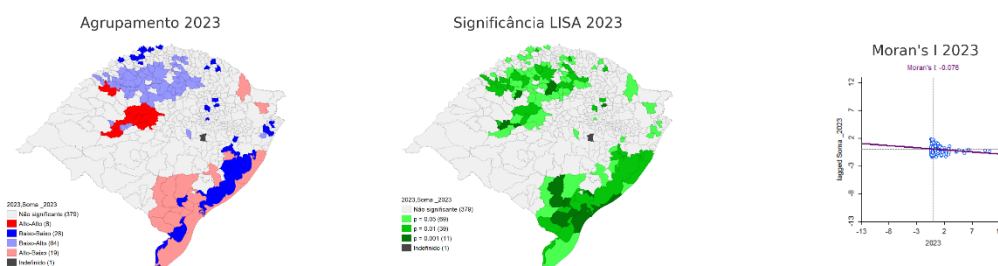


Figura 2 – Distribuição espacial dos clusters bivariados entre a população de bovinos e as emissões de CH_4 nos municípios do Rio Grande do Sul em 2023.

4. CONCLUSÕES

A análise espacial das emissões de metano (CH_4) e dióxido de nitrogênio (NO_2) nos municípios do Rio Grande do Sul, realizada com base em métodos de autocorrelação espacial, permitiu evidenciar padrões geográficos consistentes de distribuição das emissões associadas à atividade pecuária. Os resultados do Índice de Moran Univariado Global demonstraram que as emissões de CH_4 apresentam autocorrelação espacial positiva moderada (0,21 a 0,30), com agrupamentos territoriais diretamente associados à densidade de rebanhos bovinos. Já o NO_2 , embora apresente correlação mais fraca (0,12 a 0,19), também se distribui de forma não aleatória, refletindo a atuação de múltiplas fontes de emissão, como maquinário agrícola, transporte e agroindústrias.

A análise bivariada local (LISA) reforçou a relação territorial entre pecuária intensiva e emissão de CH_4 , destacando clusters do tipo Alta–Alta nas regiões Noroeste e Centro-Oeste do estado. Esses resultados confirmam evidências da literatura que relacionam diretamente a fermentação entérica de ruminantes às emissões de CH_4 , como discutido por Ribeiro et al. (2020) e Dias et al. (2024). Por

outro lado, os agrupamentos do tipo Baixa–Baixa identificados nas regiões urbanas, como a Metropolitana de Porto Alegre, reforçam a ausência de atividade pecuária relevante, contribuindo para o entendimento do padrão inverso de emissões.

Tais achados reforçam a tese de que as emissões de GEE associadas à pecuária não são homogêneas no espaço, mas sim determinadas por fatores territoriais, como o tipo de sistema produtivo, a organização da logística agropecuária e a concentração de infraestrutura rural. A utilização de ferramentas de análise espacial, como o Índice de Moran (Global e Local), mostrou-se fundamental para a identificação de áreas críticas e para o aprimoramento da governança ambiental baseada em evidências geográficas (Anselin, 1995; Schwertner et al., 2024).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE. (2024). *Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2023*. Produção de leite no Brasil e por Unidade da Federação.

EMATER/RS-Ascar. **Relatório Socioeconômico da Cadeia Produtiva do Leite no RS**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2023.

Ribeiro, R. D. et al. (2020). Development of mathematical models to predict enteric methane emission by cattle in Latin America. *Livestock Science*, 240, 104105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104105>

Schwertner, C. F. et al. (2024). Livestock intensification and environmental sustainability in Brazilian savanna: A spatial assessment. *Journal of Environmental Management*, 350, 119694. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.119694>

Dias, F. R. et al. (2024). Methane prediction models for cattle fed tropical diets. *Tropical Animal Health and Production*, 56(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04358-y>

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115.

Ribeiro, R. D. et al. (2020). Development of mathematical models to predict enteric methane emission by cattle in Latin America. *Livestock Science*, 240, 104105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104105>

Dias, F. R. et al. (2024). Methane prediction models for cattle fed tropical diets. *Tropical Animal Health and Production*, 56(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04358-y>

Schwertner, C. F. et al. (2024). Livestock intensification and environmental sustainability in Brazilian savanna: A spatial assessment. *Journal of Environmental Management*, 350, 119694. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.119694>