

IDENTIFICAÇÃO DE CLUSTERS INDUSTRIAIS CONSUMIDORES DE MADEIRA EM TORA NO CONTEXTO DA ILPF NO RS

ALEXANDRO GULARTE SCHÄFER¹, HELIO TONINI², ALEX SANDRO ERNANDES VALÉRIO³ e FRANCINE MOREIRA FERREIRA DA COSTA⁴

¹Dr. em Engenharia Civil, UNIPAMPA, Bagé-RS, alexandroschafer@unipampa.edu.br;

²Dr. em Engenharia Florestal, EMPRAPA Pecuária Sul, Bagé-RS, helio.tonini@embrapa.br;

³Esp. em Engenharia de Software, UNIPAMPA, Bagé-RS, alexvalerio@ifsul.edu.br;

⁴Esp. em Engenharia e Gestão da Produção e em Engenharia de Segurança do Trabalho, UNIPAMPA, Bagé-RS, francineferreira.aluno@unipampa.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO: A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) busca aliar produção agropecuária, conservação ambiental e redução de emissões. Para viabilizar a silvicultura nesse sistema, é essencial identificar mercados consumidores da madeira. Este estudo objetiva mapear aglomerados industriais consumidores de madeira em tora no Rio Grande do Sul. Para isso, se utilizou metodologia quantitativa e exploratória, com revisão bibliográfica, pesquisa documental e dados secundários (2019–2022). Foram analisados hotspots de florestas plantadas e localização de indústrias em banco de dados espacial, aplicando a estatística local Getis & Ord G*. Os resultados, organizados em mapas e tabelas por COREDES, revelaram hotspots industriais em 13 regiões e de florestas em 15 regiões, com destaque para *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.* Dois clusters principais foram identificados pela sobreposição de florestas e indústrias: Campos de Cima da Serra–Hortênsias–Serra e Campanha–Fronteira Oeste–Jacuí Centro. Conclui-se que os achados apoiam políticas públicas e fortalecem o mercado sustentável da madeira no estado.

PALAVRAS-CHAVE: Estatística espacial, clusters florestais, identificação de hotspots.

IDENTIFICATION OF INDUSTRIAL CLUSTERS CONSUMING ROUNDWOOD IN THE CONTEXT OF CLFI IN RS

ABSTRACT Crop-Livestock-Forest Integration (CLIF) seeks to combine agricultural production, environmental conservation, and emissions reduction. To make forestry viable in this system, it is essential to identify timber consumer markets. This study aims to map industrial clusters that consume roundwood in Rio Grande do Sul. To achieve this, a quantitative and exploratory methodology was used, including a literature review, documentary research, and secondary data (2019–2022). Planted forest hotspots and industrial locations were analyzed in a spatial database, applying Getis & Ord G* local statistics. The results, organized in maps and tables by COREDES, revealed industrial hotspots in 13 regions and forest hotspots in 15 regions, with emphasis on *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus spp.*, and *Pinus spp.* Two main clusters were identified based on the overlap of forests and industries: Campos de Cima da Serra–Hortênsias–Serra and Campanha–Fronteira Oeste–Jacuí Centro. The findings support public policies and strengthen the sustainable timber market in the state.

KEYWORDS: Spatial statistics, forests clusters, hotspots identification.

INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos pilares da economia brasileira, representando 23,2% do PIB em 2024, com destaque para a pecuária, que cresceu 12,48% (CEPEA/CNA, 2025). Apesar do desempenho, o país enfrenta desafios ambientais, pois as emissões brutas aumentaram 9,5% em 2020, mesmo diante da redução global (SEEG, 2021).

Para mitigar impactos, o Brasil lançou o Plano ABC (2012), atualizado para o ABC+ (2020–2030) e, no Rio Grande do Sul, para o ABC+ RS (2023), visando reduzir mais de 1 bilhão de Mg CO₂e (MAPA, 2021; SEAPI, 2023). Nesse contexto, a EMBRAPA tem impulsionado a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e conceitos como Carne Carbono Neutro (CCN), que exigem o componente arbóreo (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

As principais fontes de GEE da agropecuária são o metano da fermentação entérica e o óxido nitroso de solos, enquanto florestas plantadas atuam como sumidouros de carbono (MOREIRA et al., 2016). Entre 2016 e 2018, a silvicultura produziu 140,2 milhões de m³/ano de madeira, sendo 9% no RS, que em 2021 possuía 934,6 mil hectares de florestas plantadas, majoritariamente eucalipto, pinus e acácia (AGEFLOR, 2022).

Diante disso, identificar clusters de florestas e indústrias consumidoras é estratégico para ampliar a viabilidade econômica da ILPF. Técnicas de Análise Exploratória de Dados Espaciais, como a estatística local Getis-Ord Gi*, permitem mapear padrões e hotspots de produção e consumo.

O objetivo deste trabalho foi identificar clusters florestais no Rio Grande do Sul, subsidiando políticas de fomento à ILPF. Especificamente, buscou-se: (i) estruturar um banco de dados geográficos; (ii) mapear florestas plantadas; (iii) localizar indústrias potenciais consumidoras; e (iv) indicar regiões de maior viabilidade para a integração florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Rio Grande do Sul, entre 27°04'49"–33°45'03" S e 57°38'34"–49°42'22" O. Os resultados foram organizados por Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDEs), instituídos pela Lei nº 10.283/1994.

Os dados, referentes a 2019–2022, incluem: bases territoriais do IBGE (2021), florestas plantadas da FEPAM (2022), Cordeiro e Hasenack (2009) e Global Forest Watch (GFW); indústrias consumidoras do RAPP/IBAMA (2020); silos do SICARM/CONAB (2021) e frigoríficos do SIF e SISB-POA (MAPA, 2021). Informações de produção agrícola, pecuária e silvicultura foram obtidas no IBGE-SIDRA (PEVS, PAM e PPM). Dados sobre imóveis rurais vieram do SICAR e a malha viária do OpenStreetMap.

Os dados foram integrados em banco geográfico vetorial com datum SIRGAS 2000. Realizou-se pré-processamento para corrigir inconsistências e vincular registros municipais pelo código IBGE. No caso do GFW, aplicou-se interseção espacial com polígonos municipais.

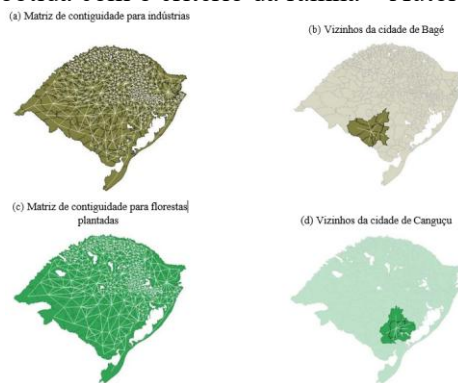
O processo seguiu o método Knowledge Discovery in Databases (KDD): seleção, pré-processamento, transformação, mineração de dados (incluindo estatísticas de autocorrelação espacial e clustering) e interpretação/visualização dos resultados (FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIRO; SMYTH, 1996).

O pré-processamento, realizado antes do armazenamento em um SGBD espacial, seguiu a fase de transformação do KDD Process, envolvendo normalização, agregação, criação de atributos, redução e sintetização dos dados. O modelo lógico adotado foi desenvolvido para PostgreSQL/PostGIS (OBE; HSU, 2021), podendo variar conforme o SGBD (HEUSER, 2008). Todos os mapas foram integrados ao banco geográfico, viabilizando análises estatísticas espaciais no GeoDa (v.1.20), em conjunto com PostgreSQL (v.12) e QGIS (v.3.12), em ambiente Windows 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

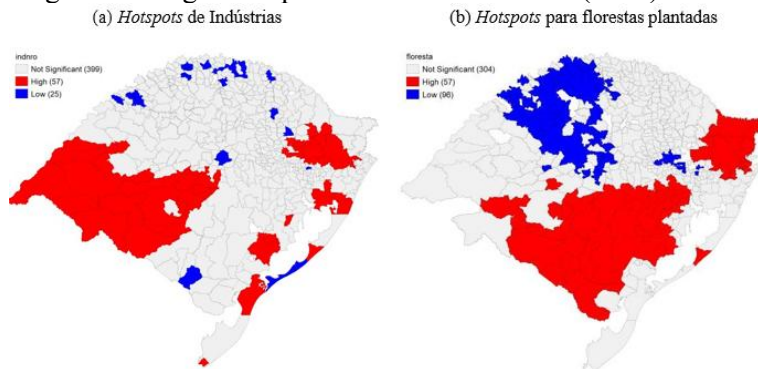
Foram criadas matrizes de contiguidade no GeoDa, com pesos espaciais pelo critério 'rainha - queen' (ordem 1), separadas para indústrias e florestas plantadas; municípios sem dados foram excluídos para evitar distorções. A Figura 1 ilustra o exemplo de Bagé e Canguçu.

Figura 1. Matriz de vizinhança obtida com o critério da rainha – Autor (2022).



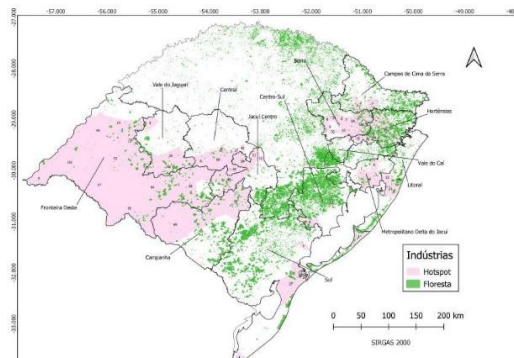
A média de vizinhos foi 5,54 para indústrias e 5,38 para florestas plantadas. Aplicou-se a estatística G^*i de Getis-Ord no GeoDa, com 999 permutações e $p \leq 0,05$, para identificar hotspots e coldspots por município. Os mapas com os clusters estatisticamente significativos estão apresentados na Figura 2. Os resultados, classificados em três categorias (0 = não significativo, 1 = hotspot, 2 = coldspot), foram armazenados no banco de dados relacional.

Figura 2. Mapas de significância gerados pelo GeoDa/ G^*I – Autor (2022).



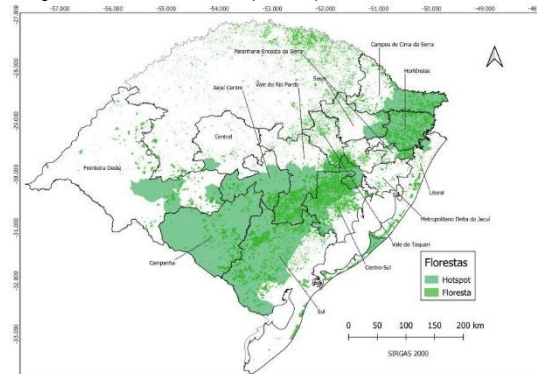
Para visualização refinada dos hotspots identificados pelo G^*i de Getis-Ord, foi usado o compositor de mapas do QGIS. A Figura 3 mostra os municípios e COREDEs com alta significância ($p \leq 0,05$) para indústrias consumidoras de madeira em tora, incluindo Campanha, Campos de Cima da Serra, Central, Centro-Sul, Fronteira Oeste, Hortênsias, Jacuí Centro, Litoral, Metropolitano Delta do Jacuí, Serra, Sul, Vale do Caí e Vale do Jaguari, com o total de indústrias por município ao centro.

Figura 3. Hotspot de potenciais indústrias consumidoras de madeira em tora – Autor (2022).



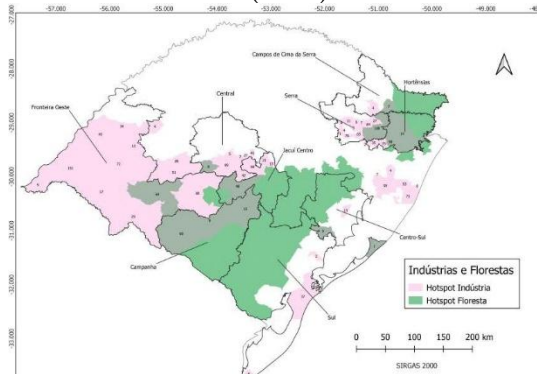
A Figura 4 mostra os municípios e COREDEs com hotspots de florestas plantadas ($p \leq 0,05$) para as espécies selecionadas, incluindo Campanha, Campos de Cima da Serra, Central, Centro-Sul, Fronteira Oeste, Hortênsias, Jacuí Centro, Litoral, Metropolitano Delta do Jacuí, Paranhana Encosta da Serra, Serra, Sul, Vale do Rio Pardo e Vale do Taquari.

Figura 4. Hotspot para floresta plantada – Autor (2022).



A detecção de aglomerados madeireiros entre floresta plantada e indústrias consumidoras detectados pela estatística G^*I , onde há uma intersecção entre COREDEs, é apresentada na figura 5.

Figura 5. Hotspot de Indústria e Floresta - Autor (2022).



Em direção a região nordeste do estado é apresentado uma intersecção, em ordem alfabética, nos COREDEs: Campos de Cima da Serra, Hortênsias e Serra. Na direção do centro para o sul, sudoeste e oeste do estado é apresentado a intersecção entre Campanha, Central, Centro-Sul, Fronteira Oeste, Jacuí Centro e Sul.

CONCLUSÃO

A análise espacial permitiu identificar clusters com potencial para inclusão ou expansão do componente florestal em sistemas ILPF no Rio Grande do Sul. Quatro regiões se destacam: (1) Campos de Cima da Serra, Serra e Hortênsias – maior número de indústrias de base florestal, ideal para pinus em toras; (2) Região Metropolitana-Delta do Jacuí e Litoral – alto potencial para múltiplos produtos florestais; (3) Central, Jacuí-Centro e Centro-Sul – adequado para biomassa, madeira para celulose e casca de acácia-negra; (4) Fronteira Oeste, Campanha e Sul – forte demanda por biomassa, (lenha e celulose), resina de pinus e casca de acácia. Os resultados subsidiam políticas públicas e estratégias do setor para fomentar ILPF e fortalecer o mercado sustentável de madeira.

AGRADECIMENTOS

À CAPES/FAPERGS (PDPG), Edital nº 197/2021 pela concessão de bolsa de pesquisa à quarta autora.

REFERÊNCIAS

- AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais, <http://www.ageflor.com.br/noticias/wp-content/uploads/2022/12/ANUARIO-AGEFLOR-2022-WEB.pdf>, acesso em: 2025/04/09.
- Balbino, L. C., Barcellos, A. de O., Stone, L. F. (2011). Marco Referencial Integração La-voura-Pecuária-Floresta. Embrapa, Brasília, Brasil.
- CEPEA/CNA, <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>, acesso em: 2025/04/09.
- Cordeiro, J., Hasenack, H. (2009). Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade, São Paulo, Brasil, 285–299.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine* 17(3), 37.
- FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Biblioteca Digital Silvicultura. http://ww3.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp, acesso em: 2022/02.
- Heuser, C. A. (2008). Projeto de Banco de Dados Volume 4. 6 ed. Bookman, Brasil.
- IBAMA. Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP). <http://www.ibama.gov.br/relatorios/atividades-poluidoras/relatorio-de-atividades-potencialmente-poluidoras-e-utilizadoras-de-recursos-ambientais-rapp>, 2020. Acesso em: 2021/01.
- IBGE. Malha Territorial. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>, 2021. Acesso em: 2021/08.
- MAPA, M. D. A. P. E. A. (2021). Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020–2030. 1st edn. Mapa/DEPROS, Brasília, Brasil.
- Moreira, M. et al. (2016). Cenários de AFOLU. In: La Rovere, E. L. et al. Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- OBE, R. O., HSU, L. S. (2021). PostGIS in Action. 3rd edn. Manning Publications Co., Shelter Island, EUA.
- SEAPI, <https://www.diariooficial.rs.gov.br/materia?id=853207>, acesso em: 2023/02/01.
- SEEG, https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf, acesso em: 2023/02/01.
- SICAR, <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>, acesso em: 2023/05/01.