Análise de Vulnerabilidade Ambiental da cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul.

D'AGOSTIN, Luíza Sonaglio[1]; FENSTERSEIFER, Sandro Luciano Barreto [1]

[1] Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen, Departamento de Engenharia Florestal
luiza.d@acad.ufsm.br ; ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2874-8251
sandro.fensterseifer@ufsm.br

RESUMO

O município de Lajeado, no Rio Grande do Sul, apresenta dinâmica ambiental sensível, marcada por sua localização na bacia do Rio Taquari, relevo com variações de declividade e uso intensivo do solo urbano. Este trabalho teve por objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental de Lajeado por meio de técnicas de geoprocessamento, integrando mapas temáticos de geologia, declividade, solos, uso e ocupação do solo e vulnerabilidade ambiental. Utilizou-se o ArcGIS para o processamento multicritério, ponderando fatores restritivos (como geologia e declividade) e fatores de pressão antrópica (uso do solo e ocupação). Para compor os mapas, adotaram-se amostragens espaciais distribuídas pela malha territorial do município, permitindo uma interpretação exploratória e espacialmente explícita. Os resultados revelam que as zonas planas próximas à rede de drenagem e com solos mais suscetíveis à erosão apresentam os índices mais elevados de vulnerabilidade ambiental. Em particular, áreas historicamente sujeitas a inundações, como as margens do Rio Taquari, foram identificadas como de risco elevado, reforçando achados de estudos anteriores sobre cartografia de inundações em Lajeado. O mapeamento de vulnerabilidade evidencia regiões prioritárias para ações de conservação, controle de expansão urbana e planejamento territorial sustentável. A aplicação de SIG neste estudo demonstra a eficiência metodológica para apoiar gestores públicos na identificação de zonas críticas e na formulação de políticas ambientais voltadas à mitigação de riscos e à adaptação territorial.

Palavras-chave: vulnerabilidade ambiental; geoprocessamento; Lajeado; bacia hidrográfica; planejamento territorial.

INTRODUÇÃO

A intensificação de processos antrópicos sobre os territórios urbanos e rurais tem ampliado a necessidade de compreender a dinâmica ambiental em escala municipal, sobretudo em regiões onde a ocupação se desenvolve de forma acelerada. No contexto do Rio Grande do Sul, municípios situados na bacia do Rio Taquari, como Lajeado, apresentam características ambientais particulares que influenciam diretamente a suscetibilidade a eventos naturais, tais como inundações, movimentos de massa e processos erosivos. A literatura aponta que áreas com forte heterogeneidade geomorfológica, como a Depressão Periférica e o Planalto Meridional, demandam avaliações integradas da paisagem para subsidiar práticas de gestão territorial (Ross, 2006; Florenzano, 2011).

Em municípios com expansão urbana contínua, o mapeamento de elementos estruturais da paisagem — geologia, solos, declividade, cobertura e uso da terra — desempenha papel central na identificação de áreas críticas. Técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente aplicadas neste tipo de análise por sua capacidade de integrar variáveis físicas e antrópicas em modelos multicritério, permitindo estimativas mais robustas de vulnerabilidade ambiental (Cunha & Guerra, 2018; Câmara et al., 2020). No caso de Lajeado, a proximidade com o Rio Taquari e a presença de setores urbanos em áreas historicamente inundáveis ampliam a necessidade de avaliações espaciais que considerem tanto os condicionantes naturais quanto a pressão urbana.

A análise de vulnerabilidade ambiental, quando estruturada a partir de modelos integrados, oferece suporte direto ao planejamento urbano, ao manejo de recursos naturais e à definição de zonas de proteção. Além disso, contribui para a formulação de políticas de mitigação de riscos e para o fortalecimento da resiliência municipal diante de eventos extremos, cada vez mais frequentes no sul do Brasil. Assim, este estudo busca compreender a organização espacial dos elementos físicos e antrópicos do município de Lajeado, produzindo uma síntese cartográfica que auxilie gestores e pesquisadores na tomada de decisões fundamentadas.

MATERIAL E MÉTODOS

1. ÁREA DE ESTUDO E BASES CARTOGRÁFICAS

O estudo foi desenvolvido no município de Lajeado (RS), localizado na região do Vale do Taquari, inserido na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas. A área apresenta forte dinâmica ambiental em função do relevo ondulado a fortemente ondulado, da presença de solos derivados de derrames basálticos da Formação Serra Geral e do adensamento urbano crescente ao longo das margens do Rio Taquari. A altimetria local varia aproximadamente entre 30 e 200 m, conferindo ao município padrões geomorfológicos que influenciam diretamente processos erosivos, escoamento superficial e suscetibilidade a inundações.

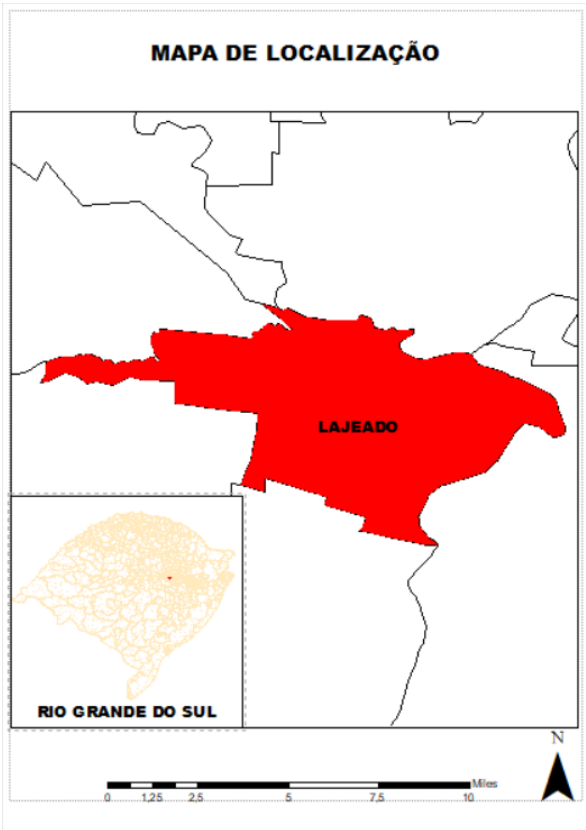


FIGURA 1: Mapa de Localização do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul. **Fonte:** A autora.

As bases utilizadas para a elaboração dos mapas temáticos incluíram o Modelo Digital de Elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), na resolução de 30 m, já disponibilizado de forma georreferenciada. Todos os dados foram reprojetados para o sistema SIRGAS 2000 e organizados na

escala compatível de 1:15.000, a qual assegura nível de detalhamento apropriado para estudos urbanos e periurbanos. Durante a triagem dos arquivos, identificaram-se inconsistências altimétricas em algumas células periféricas — fenômeno frequente em áreas adjacentes a corpos d'água ou encostas muito íngremes. Para evitar artefatos na modelagem espacial, delimitou-se a área de trabalho apenas sobre o setor urbano e suas transições, onde o conjunto de dados se apresentava íntegro.

2. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS E PROCESSAMENTO NO SIG

Todas as etapas foram executadas no ArcGIS 10.8, contemplando organização, reclassificação e integração das variáveis temáticas. A partir do MDE foram derivados os mapas de altimetria e declividade, empregando-se o algoritmo *Slope* (percentual de inclinação) e posterior categorização segundo faixas morfométricas relevantes para processos de instabilidade. Os mapas de solos e geologia foram obtidos em bases oficiais estaduais, harmonizados à escala de estudo e convertidos para o formato raster, garantindo compatibilidade com o modelo multicritério.

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir de dados vetoriais municipais e complementado com interpretação visual de imagens orbitais recentes, assegurando a representação das principais classes presentes em Lajeado: áreas urbanizadas, áreas agrícolas, remanescentes florestais e superfícies de preservação nas margens do Rio Taquari e afluentes.

3. INTEGRAÇÃO ESPACIAL E MODELO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Para a estimativa da vulnerabilidade ambiental, seguiu-se abordagem multicritério baseada na integração linear ponderada dos mapas temáticos. Todos os temas foram transformados em planos de informação raster e reclassificados segundo escalas de suscetibilidade ambiental. A combinação dos dados foi operacionalizada com a ferramenta *Raster Calculator*, aplicando-se a seguinte formulação:

$$\textit{Vulnerabilidade Ambiental} = (\textit{Declividade} \times 0{,}35) + (\textit{Uso e Ocupação} \times 0{,}25) + (\textit{Altimetria} \times 0{,}25) + (\textit{Solos} \times 0{,}10) + (\textit{Geologia} \times 0{,}05).$$

As ponderações foram definidas com base na literatura técnico-científica de análise integrada da paisagem, considerando a influência geomorfológica como fator predominante, seguida pelos condicionantes de uso antrópico e características físico-naturais dos solos e do arcabouço geológico. A normalização das classes permitiu gerar uma superfície contínua que expressa gradientes de vulnerabilidade, posteriormente categorizados em níveis baixo, moderado e alto.

4. VALIDAÇÃO METODOLÓGICA E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a geração dos mapas finais, procedeu-se à avaliação interna de coerência espacial, verificando a compatibilidade entre os padrões observados e a disposição real do relevo, das áreas urbanizadas e das zonas sujeitas a inundações no município. Essa etapa seguiu a lógica apresentada por Favaretto et al. (2020), em que a consistência espacial dos produtos temáticos é fundamental para assegurar a confiabilidade do modelo. A análise comparativa entre os planos integrados permitiu validar a distribuição final das classes de vulnerabilidade, reforçando a robustez do método aplicado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. GEOLOGIA

O mapa geológico da área urbana de Lajeado evidencia a predominância de materiais sedimentares derivados da Bacia do Paraná, sobretudo arenitos finos a médios e depósitos inconsolidados relacionados à dinâmica fluvial do Rio Taquari. A distribuição espacial dessas unidades confirma o que já havia sido apontado nos levantamentos regionais realizados pelo Serviço Geológico do Brasil, que descrevem a região de Lajeado como assentada predominantemente sobre sedimentos arenosos e depósitos quaternários associados a antigas e atuais planícies de inundação (CPRM, 2010). A presença dessas litologias menos consolidadas implica maior suscetibilidade a processos erosivos superficiais, uma característica ambiental relevante para áreas urbanizadas onde cortes de terreno, obras lineares ou movimentação de solo são frequentes.

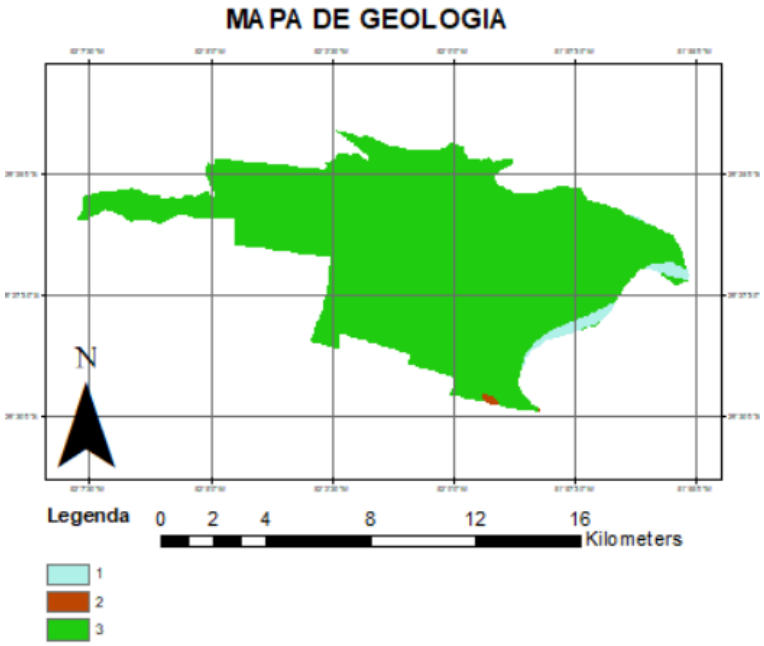


FIGURA 2: Mapa de Geologia do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul. **Fonte:** A autora.

A observação, no mapa, de faixas de depósitos aluviais e coluviais adjacentes à calha do Taquari reforça essa vulnerabilidade. Esses materiais — normalmente de baixa compacidade e alta permeabilidade — respondem rapidamente a variações hidrológicas, ampliando a mobilidade lateral do rio em eventos de cheia. Isso é coerente com análises hidrossedimentares recentes publicadas para o Vale do Taquari, que evidenciam a forte relação entre a composição dos sedimentos marginais e a intensidade dos impactos durante grandes eventos de inundação (Eckhardt et al., 2023). Assim, o mapa geológico não apenas caracteriza o substrato físico, mas também identifica setores onde a instabilidade potencial é maior e onde intervenções urbanas devem ser planejadas com maior rigor técnico.

2. DECLIVIDADE

O mapa de declividade revela uma compartimentação topográfica marcada por valores mais elevados no setor oeste e em pontos de transição entre interflúvios e fundos de vale, onde inclinações superiores a 15% são recorrentes. Em contraste, as áreas centrais e litorâneas ao Rio Taquari apresentam declividades mais baixas, geralmente inferiores a 12%, configurando superfícies mais planas associadas à planície de inundação atual e antiga.

A influência dessa variação topográfica sobre os processos hidrossedimentares é evidente. Em encostas íngremes, a combinação entre declividade elevada, solos rasos e materiais litológicos pouco consolidados intensifica o escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de ravinamentos, enxurradas localizadas e movimentos de massa rasos — fenômenos documentados em municípios com características geomorfológicas semelhantes no Vale do Taquari (Viero & Hoelzel, 2015). Já nas áreas planas próximas ao Taquari, a baixa declividade reduz a velocidade de escoamento, mas aumenta a propensão ao acúmulo hídrico, especialmente quando a superfície está urbanizada e impermeabilizada. Essa relação explica, em parte, os impactos severos observados durante eventos de inundação recentes, quando bairros situados na planície fluvial foram fortemente afetados devido à conjugação entre baixa declividade, impermeabilização e saturação dos solos (Moraes, Collischonn & Eckhardt, 2023).

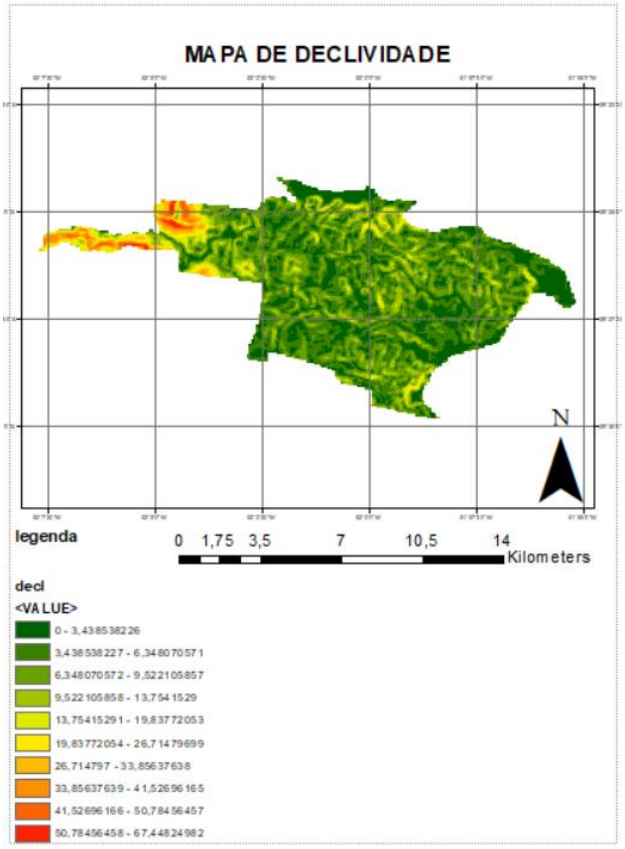


FIGURA 3: Mapa de Declividade do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul. **Fonte:** A autora.

Assim, os padrões observados no mapa de declividade reforçam a necessidade de estratégias de manejo diferenciadas: práticas conservacionistas e restrições de ocupação em encostas, e infraestrutura de drenagem, corredores verdes e zonas de amortecimento nas áreas de planície.

3. SOLOS

O mapa de solos apresenta uma diferenciação clara entre os setores de encosta e os de planície. Nas encostas, predominam solos rasos, derivados de material coluvionar ou de arenitos pouco intemperizados. Esses solos exibem baixa capacidade de ancoragem e baixa coesão, o que os torna mais vulneráveis à erosão, sobretudo quando sujeitos ao pisoteio, exposição ou remoção da cobertura vegetal. Essa fragilidade é consistente com o mapeamento estadual de solos do Rio Grande do Sul, que caracteriza solos rasos em relevo inclinado como de alta susceptibilidade a processos erosivos (FEPAM, 2001).

Nas áreas de baixa declividade, por outro lado, observam-se solos mais desenvolvidos, frequentemente associados a deposições fluviais antigas e recentes. Esses perfis apresentam maior profundidade e maior capacidade de retenção de água, mas tendem a saturar-se rapidamente sob condições de elevada precipitação ou urbanização intensiva. Estudos hidrológicos da região indicam que solos profundos em planícies aluviais podem apresentar comportamento hidromórfico sazonal, o que acentua o risco de encharcamento e instabilidade em períodos chuvosos prolongados (Frantz & Silva, 2019).

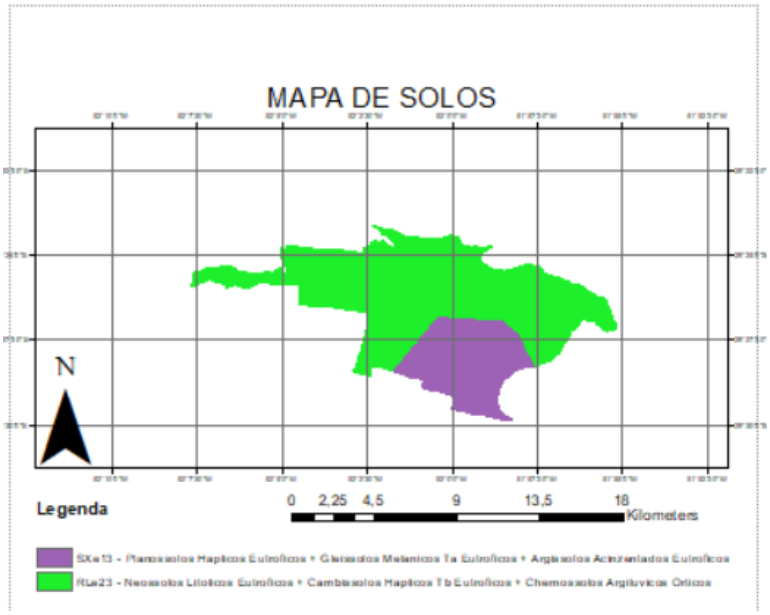


FIGURA 4: Mapa de Solos do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul. **Fonte:** A autora.

Essa diferenciação pedológica reforça a necessidade de políticas de manejo adaptadas ao tipo de solo: técnicas de estabilização e recuperação para solos rasos de encosta, e estratégias de infiltração, drenagem sustentável e controle de impermeabilização para solos profundos nas áreas mais baixas.

4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapa de uso e ocupação do solo evidencia o predomínio de áreas urbanizadas no setor central de Lajeado, com expansão recente em direção às franjas periurbanas. Nas áreas periféricas, observa-se a presença de pastagens, usos agrícolas e fragmentos de vegetação nativa, especialmente ao longo de vales encaixados e próximos às margens do Rio Taquari. Essa distribuição é coerente com as camadas de planejamento urbano e ambiental fornecidas pelo GeoLajeado, que indicam concentrações urbanas nas áreas de menor declividade e solos mais profundos.

A configuração espacial do uso do solo reforça um conflito recorrente na dinâmica urbano-ambiental do município: a expansão da ocupação sobre áreas suscetíveis a inundação e a intensificação de usos inadequados em zonas de fragilidade natural. Estudos sobre eventos de cheia recentes demonstram que um dos principais fatores amplificadores de danos foi a presença de ocupações consolidadas em áreas historicamente reconhecidas como planícies de inundação (Eckhardt et al., 2023). Da mesma forma, nas encostas, intervenções desordenadas — como cortes de terrenos, substituição de vegetação por pastagem e expansão de loteamentos — aumentam o risco de instabilidade e erosão.

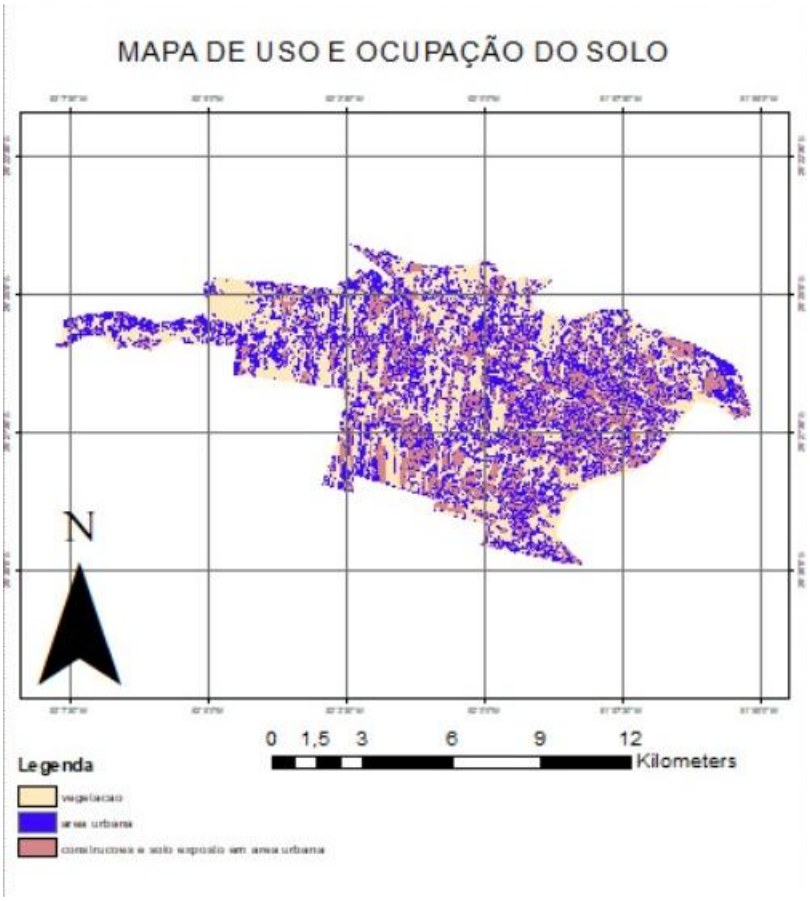


FIGURA 5: Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: A autora.

Assim, o mapa de uso e ocupação destaca a necessidade de revisitar instrumentos de planejamento territorial, incorporando zonas de proteção permanente, diretrizes de uso diferenciado por fragilidade e medidas preventivas em áreas críticas.

5. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O mapa de vulnerabilidade ambiental sintetiza a integração das variáveis físicas (geologia, declividade e solos) e antrópicas (uso e ocupação do solo), permitindo identificar padrões espaciais de suscetibilidade no município de Lajeado. A análise integrada revela que duas grandes zonas de alta vulnerabilidade se destacam: a planície de inundação do Rio Taquari e os setores de encosta com declividades acentuadas e solos rasos.

Nas áreas marginais ao Taquari, a combinação entre baixa declividade, solos profundos suscetíveis a saturação e elevada presença de ocupação urbana intensiva cria um cenário propício a inundações frequentes. A predominância de sedimentos aluviais pouco consolidados, já apontada pelos mapeamentos do Serviço Geológico do Brasil para o Vale do Taquari, favorece processos de instabilidade em períodos de cheia, aumentando o potencial de erosão lateral, deposição de sedimentos e avanço de lâminas d'água sobre áreas urbanizadas. Estudos hidrodinâmicos recentes conduzidos para Lajeado e municípios vizinhos demonstram que eventos extremos, como os registrados em 2020 e 2023, afetaram preferencialmente setores urbanos construídos sobre planícies fluviais, confirmando a coerência do padrão mapeado (Moraes; Collischonn; Eckhardt, 2023).

Da mesma forma, nas encostas inclinadas do setor oeste e em trechos de transição entre interflúvios, a vulnerabilidade elevada está associada à soma de declividades superiores a 15%, solos coluviais pouco desenvolvidos e litologias sedimentares de menor coerência estrutural. Esses atributos intensificam a susceptibilidade a processos erosivos, instabilidade superficial e escorregamentos rasos, sobretudo quando a cobertura vegetal é removida ou substituída por formas inadequadas de uso da terra. Esse comportamento é consistente com os mapeamentos de risco geológico produzidos para a região, que destacam a fragilidade de encostas areníticas e coluviais frente a alterações de uso e aumento de cargas urbanas.

Por outro lado, áreas classificadas como de média vulnerabilidade correspondem predominantemente às superfícies suavemente onduladas e às zonas de uso agrícola nas bordas do perímetro urbano. Embora apresentem menor risco imediato, sua evolução depende diretamente do manejo do solo e do controle do avanço urbano, já que práticas inadequadas podem elevar rapidamente seu nível de fragilidade, seja por erosão acelerada nas encostas moderadas, seja por impermeabilização excessiva nas áreas mais planas.

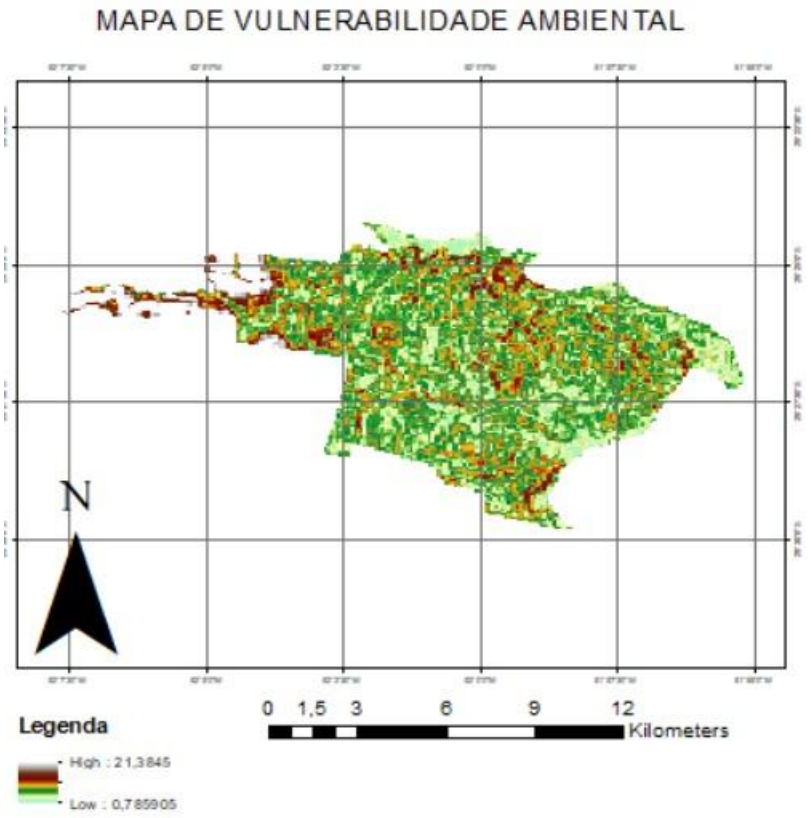


FIGURA 5: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do Município de Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: A autora.

De forma geral, o mapa de vulnerabilidade ambiental evidencia a interação entre fatores naturais e processos induzidos pela urbanização, reforçando que grande parte da suscetibilidade observada em Lajeado é resultado de uma sobreposição direta entre características físicas intrínsecas — como litologia frágil e topografia contrastante — e a dinâmica de ocupação do território. Esses resultados dialogam com diagnósticos recentes produzidos em nível regional, que apontam a necessidade urgente de integrar informação ambiental ao planejamento urbano do Vale do Taquari, sobretudo após a intensificação de eventos hidrológicos extremos.

CONCLUSÕES

A análise integrada dos mapas de geologia, declividade, solos, uso e ocupação e vulnerabilidade ambiental permitiu compreender, de forma sistêmica, as dinâmicas físico-ambientais que estruturam o território urbano de Lajeado. A predominância de litologias sedimentares pouco consolidadas, a presença de encostas com declividades acentuadas e a ocorrência de solos rasos configuram um cenário natural intrinsecamente sensível a processos erosivos e instabilidades superficiais. Nas áreas planas adjacentes ao Rio Taquari, onde se concentram sedimentos aluviais recentes e intensa ocupação urbana, a suscetibilidade a inundações se intensifica, especialmente diante da recorrência de eventos hidrológicos extremos registrados na última década.

A leitura cruzada dos mapas evidencia que a vulnerabilidade ambiental do município é resultado direto da sobreposição entre fragilidades naturais e pressões antrópicas. Tanto nas encostas quanto nas planícies, a ocupação urbana e as modificações do solo exercem papel determinante no agravamento dos riscos, reforçando a necessidade de incorporar parâmetros geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos ao planejamento urbano. O conjunto de resultados obtidos aponta para a urgência de políticas de ordenamento territorial que priorizem zonas de proteção, disciplinem a expansão urbana e adotem estratégias de mitigação adequadas à realidade local, sobretudo diante do agravamento dos eventos climáticos extremos no Vale do Taquari.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G. et al. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2020.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Gemológico da Região Lajeado–Soledade–Salto do Jacuí. Porto Alegre: CPRM, 2010.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e Meio Ambiente. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018.

ECKHARDT, H. et al. Modelagem hidrodinâmica aplicada à análise de cheias no Vale do Taquari. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 2023.

FAVARETTO, N. et al. Avaliação de consistência espacial em análises multicritério aplicadas à gestão ambiental. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 3, p. 849–867, 2020.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Mapa de Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAM, 2001.

FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANTZ, N.; SILVA, A. M. Dinâmica hidrológica em solos aluviais do Vale do Taquari. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 24, 2019.

MORAES, T.; COLLISCHONN, W.; ECKHARDT, H. Retromodelagem do evento de inundação de 09/07/2020 no Vale do Taquari utilizando HEC-RAS 2D. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento do RS, 2023.

ROSS, J. L. S. Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

VIERO, A. P.; HOELZEL, A. Processos erosivos e instabilidades de encostas no Vale do Taquari. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 42, n. 2, p. 155–170, 2015.

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Modelo digital de elevação, resolução 30 m. 2000.

GEO LAJEADO. Sistema Municipal de Informações Geoespaciais. Prefeitura Municipal de Lajeado, 2024.