

Comparação de bases cartográficas para analisar o impacto dos movimentos de massa sobre a malha viária durante o megaevento de precipitação de 2024 na Encosta Sul do Planalto Meridional / Rio Grande do Sul

Comparison of cartographic databases to analyze the impact of landslides on the road network during the 2024 mega-precipitation event on the Southern Slope of the Southern Plateau / Rio Grande do Sul

Eléia Righi ¹

Clódis de Oliveira Andrades Filho ²

Morvana Machado ³

Guilherme Garcia de Oliveira ⁴

Lorenzo Mexias ⁵

Mariana Lisboa Pessoa ⁶

Resumo

O sistema viário representa um componente estratégico da infraestrutura de transporte, desempenhando função central na integração territorial, no fluxo de bens e na garantia de acesso da população a serviços fundamentais. Neste sentido, o presente estudo buscou comparar diversas bases cartográficas disponíveis para analisar o impacto dos movimentos de massa sobre as malhas viárias durante o megaevento ocorrido em 2024 na Encosta Sul do Planalto Meridional, no Estado do Rio Grande do Sul. Na metodologia, foram utilizadas diversas bases cartográficas provenientes do 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro, do OpenStreetMap, das Cartas Topográficas

1 Doutora em Geografia (UFRGS) / Professora adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) / Pós-doutora no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – UFRGS. E-mail: eleia-righi@uergs.edu.br; Orcid: 0000-0002-2766-8719;

2 Doutor em Geociências (Geoquímica e Geotectônica) pela Universidade de São Paulo / Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: clodisfilho@gmail.com; Orcid: 0000-0002-8050-6719;

3 Engenheira Cartógrafa e Agrimensora, mestranda no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) / Latitude (UFRGS/CNPq). E-mail: morvana.machado@gmail.com; Orcid: 0009-0007-9703-2672;

4 Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFRGS / Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus Litoral Norte. E-mail: g.g.oliveira10@gmail.com; Orcid: 0000-0003-4197-5704;

5 Geólogo / Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) / Latitude (UFRGS/CNPq) / E-mail: lorenzo.mexias@ufrgs.br; Orcid: 0009-0002-6579-1125;

6 Geógrafa, mestre em Planejamento Urbano e Regional, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – UFRGS, Pesquisadora no Departamento de Economia e Estatística da Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do Estado e chefe da Divisão de Análise de Políticas Sociais. E-mail: lisboa.pessoa@gmail.com; Orcid: 0009-0008-1698-2885;

do Exército Brasileiro e das bases do IBGE nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, além de dados do DAER e do DNIT. O mapeamento dos movimentos de massa foi conduzido pelo Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os resultados indicaram que as maiores extensões de malhas viárias impactadas foram identificadas a partir da plataforma OpenStreetMap, totalizando aproximadamente 108 km. Embora a distância afetada identificada na base do DNIT seja relativamente reduzida (cerca de 1,6 km), os danos associados foram expressivos. Na área em estudo, o maior impacto ocorreu na categoria de estradas “terciárias”. Assim, ressalta-se que essas bases devem ser utilizadas com cautela, considerando sempre o objetivo e a escala do estudo, pois podem levar ao subdimensionamento dos dados apresentados.

Palavras-Chave: Geoprocessamento; Desastres; Mudanças Climáticas.

Abstract

The road system represents a strategic component of transportation infrastructure, playing a central role in territorial integration, the flow of goods, and ensuring public access to essential services. In this sense, this study sought to compare various available cartographic databases to analyze the impact of landslide on road networks during the mega-event that occurred in 2024 on the Southern Slope of the Southern Plateau, in the state of Rio Grande do Sul. The methodology utilized various cartographic databases from the 1st Geoinformation Center of the Brazilian Army, OpenStreetMap, the Brazilian Army's Topographic Maps, and IBGE databases at scales of 1:100,000 and 1:250,000, in addition to data from DAER and DNIT. The mapping of landslide was conducted by the Institute of Geosciences (IGEO) of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). The results indicated that the largest extensions of impacted road networks were identified from the OpenStreetMap platform, totaling approximately 108 km. Although the affected distance identified in the DNIT database is relatively small (about 1.6 km), the associated damage was significant. In the study area, the greatest impact occurred in the category of "tertiary" roads. Thus, it is emphasized that these databases should be used with caution, always considering the objective and scale of the study, as they may lead to an underestimation of the presented data.

Keywords: Geoprocessing; Disaster; Climate Change.

Introdução

A cartografia é uma ferramenta estratégica, cuja evolução permitiu demonstrar que, historicamente, as estradas têm desempenhado um papel fundamental na gestão e no desenvolvimento dos territórios ao longo de diferentes períodos históricos (Núñez-Camarena; Loren-Méndez, 2023). Neste sentido, o sistema viário, seja pela sua densidade ou pela variação na

qualidade das vias, reflete o estágio de desenvolvimento de uma determinada área. Edições sucessivas de mapas evidenciam a evolução dessas redes e revelam as alterações características nas formas de uso do solo ao longo do tempo (Lorek; Horbiński, 2020).

Lorek e Horbiński (2020) ressaltam que a utilização de diversas publicações cartográficas em formato digital pode tornar as pesquisas mais precisas, ao fornecer intervalos temporais mais curtos e mapas mais detalhados. Entretanto, a adoção de escalas de 1:25.000 e de intervalos de 30 a 50 anos oferece a combinação ideal de fontes, permitindo apresentar de forma consistente as mudanças espaciais mais significativas na rede viária.

Nesse contexto, destaca-se também a criação e a atualização do Cadastro Rodoviário, entendido como uma ferramenta cartográfica e de Sistema de Informação Geográfica (SIG) destinada a armazenar, consultar, gerenciar e visualizar todos os dados que o proprietário ou gestor possui sobre a sua rede rodoviária. Essa base de informações integra múltiplos tipos de dados, como geométricos, funcionais, estruturais e operacionais, permitindo uma gestão mais eficiente e fundamentada da infraestrutura (Barrile *et al.*, 2020). Além disso, o uso de técnicas de geoprocessamento tem se mostrado fundamental para o mapeamento, monitoramento e avaliação de áreas suscetíveis a deslizamentos, bem como para a quantificação dos danos causados por estes eventos (Meneses; Pereira; Reis, 2019; Carvalho *et al.*, 2019).

No Rio Grande do Sul, segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2024), a rede rodoviária totaliza aproximadamente 17,5 mil km, abrangendo rodovias federais, estaduais e municipais. A malha federal organiza a estrutura de transporte por meio de rodovias longitudinais, diagonais, transversais e de ligação. A rede estadual articula-se à federal, apresentando maior densidade e capilaridade nas regiões norte e nordeste do Estado, onde há maior concentração de municípios e núcleos urbanos. Já a rede municipal corresponde a uma extensão reduzida, composta principalmente por acessos locais e travessias urbanas. Mais de 14 mil km da rede rodoviária do Estado são pavimentados, dos quais aproximadamente 640 km correspondem a rodovias duplicadas.

As redes rodoviárias desempenham um papel vital para o funcionamento de uma sociedade, e diversos eventos adversos podem comprometer a continuidade do transporte ao longo dessas vias, especialmente desastres naturais, como inundações, movimentos de massa e terremotos (Bíl *et al.*, 2015). Os movimentos de massa, em particular, deslizamentos de terra e fluxos de detritos, podem ser extremamente destrutivos e comprometer a livre circulação de pessoas e bens quando afetam, direta ou indiretamente, as malhas rodoviárias (Meneses; Pereira; Reis, 2019).

Meneses, Pereira e Reis (2019) ressaltam que a elevada ausência de dados rodoviários, somada às generalizações cartográficas, pode gerar problemas na avaliação da suscetibilidade a deslizamentos e na identificação de locais com maior probabilidade de ocorrência.

No contexto do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, a Encosta Sul apresenta características geológicas e geomorfológicas que a tornam especialmente suscetível a movimentos de massa (Dantas; Viero; Silva, 2010). O megaevento de movimentos de massa ocorrido entre abril e maio de 2024 evidenciou a vulnerabilidade da região, causando impactos significativos tanto na infraestrutura viária quanto no setor agrícola, conforme destacado no relatório da Emater (2024).

O megaevento de movimentos de massa, induzido pela precipitação extrema registrada durante o final de abril e início de maio de 2024 (Collischonn *et al.*, 2024), foi considerado o maior em número e abrangência dos movimentos, dentre os registrados no Brasil (Andrades-Filho *et al.*, 2025; Egas *et al.*, 2025). A ocorrência de movimentos de massa mostrou a vulnerabilidade da infraestrutura rodoviária, especialmente em áreas de relevo acidentado e alta pluviosidade (IGEO, 2024). Os danos às rodovias municipais, estaduais e federais não apenas interromperam o fluxo de transporte, mas também isolaram comunidades rurais, afetando a economia local e a qualidade de vida da população, além de ter provocado vítimas fatais (IGEO, 2024).

Neste sentido, o presente estudo buscou comparar diversas bases cartográficas disponíveis para analisar o impacto dos movimentos de massa sobre as malhas viárias durante o megaevento ocorrido em 2024 na Encosta Sul do Planalto Meridional, no Estado do Rio Grande do Sul.

Metodologia

Em relação às bases cartográficas das malhas viárias, foram obtidos os arquivos vetoriais em formato *shapefile* (SHP) mencionados no Quadro 1. As instituições mencionadas disponibilizam arquivos em diferentes escalas, compatíveis com *softwares* de SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Os dados estão acessíveis para *download*.

Quadro 1 – Bases de malhas viárias utilizadas neste estudo.

Fonte	Escala	Ano
1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro - Organizado a partir de diversas fontes, como o DAER, Exército Brasileiro e de dados livres como o OpenStreetMaps.	1:50.000	2024
OpenStreetMap.	Aprox. 1:25.000	2025
Cartas Topográficas do Exército Brasileiro - base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul.	1:50.000	2010
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.	1:100.000	2021
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.	1:250.000	2025
DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem / Somente rodovias estaduais.	1:50.000	2024
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes / Somente rodovias federais.	1:50.000	2025

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os limites dos municípios utilizados foram os últimos disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2023. A utilização desses limites garante que a análise reflita a configuração territorial mais recente do país, o que é crucial para atividades de planejamento e gestão.

O mapeamento dos movimentos de massa foi conduzido pelo Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), a partir da coordenação do Grupo de Pesquisa Latitude. Após a realização do mapeamento, que foi de aproximadamente cinco meses, todo o material elaborado foi divulgado para a comunidade a partir de notas técnicas (IGEO, 2024).

A região de abrangência de mapeamento dos movimentos de massa, foi de aproximadamente 18 mil km², compõe a Região Hidrográfica do Guaíba as quais estão inseridas as bacias hidrográficas do Taquari-Antas, Caí, Sinos, Pardo, Alto e Baixo Jacuí e Vacacaí-Mirim.

As cicatrizes foram delimitadas a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial, por interpretação visual e vetorização manual, na composição colorida RGB cor-verdadeira, conforme as Notas Técnicas Conjuntas do IGEO/CEPSRM 2024 (IGEO, 2024). As seguintes bases foram utilizadas:

a) imagens dos satélites *WorldView-02* concedidas para uso emergencial pela *National Geospatial Intelligence Agency* - NGA / Diretoria de Serviço Geográfico – DSG – Fonte das Imagens *Maxar Technologies* 2024 (resolução espacial: 0,3 m a 0,4 m);

b) imagens concedidas pela Força Aérea do Chile e Força Aérea Brasileira para uso emergencial advindos dos sistemas EROS C e *BlackSky* (resolução espacial: 0,9 m);

c) imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 4A, sensor WPM, com processamento *pansharpening* a partir do método IHS (Intensidade, Matiz e Saturação) para ganho de nitidez pancromática (resolução espacial: 2 m) oriundas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil.

A integração dos dados referentes aos movimentos de massa com as bases cartográficas da malha viária foi efetuada por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), empregando-se o *software* ArcGIS para processamento e análise espacial. A organização de um Banco de Dados Geográficos (ou Geodatabase) dentro de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é fundamental para o planejamento e a gestão territorial.

Em função da grande quantidade de dados gerados em planilhas do SIG, foram utilizadas tabelas dinâmicas no *software* Excel, as quais resumiram as informações processadas a fim de fornecer uma análise sintetizada e clara.

Resultados e discussões

Bases cartográficas diferentes podem gerar resultados distintos por diversas razões, especialmente relacionadas à sua origem, nível de precisão, métodos de levantamento e

atualização das informações. Além disso, o fator de escala indica, em cada ponto da projeção cartográfica, o grau de distorção aplicado ao comprimento. Essa distorção decorre, naturalmente, da necessidade de manter a conformidade e atender às demais condições estabelecidas para a projeção (Ramos *et al.*, 2025).

Portanto, informações obtidas em maior escala de detalhe (por exemplo, 1:10.000) tendem a apresentar mais feições e maior precisão posicional, normalmente disponíveis apenas em pequenas áreas, enquanto objetos representados em menor escala de detalhe (por exemplo, 1:250.000) passam por simplificações necessárias para abarcar uma maior abrangência espacial. Essa generalização pode impactar diretamente os cálculos de distância (Taura; Sluter; Firkowski, 2010).

Assim, pode-se verificar, no Quadro 2, que os comprimentos obtidos nos processamentos das bases utilizadas neste estudo apresentaram resultados distintos para o megadesastre ocorrido em 2024 no RS.

Quadro 2 – Impacto do megadesastre conforme o tipo de base cartográfica.

Base	Total de trechos impactados na área de estudo	Comprimento total impactado na área de estudo (km)	Quantidade de municípios atingidos na área de estudo
OpenStreetMap.	2.530	107,9	114
1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro.	2.430	101,9	113
Cartas Topográficas do Exército Brasileiro.	1.659	67,04	108
IBGE - 1:100.000.	1.211	49,5	99
IBGE - 1:250.000.	353	12,1	64
DAER	154	5,5	34
DNIT	45	1,6	13

Obs.: As bases do DAER e do DNIT incluem apenas os traçados sob suas respectivas jurisdições, enquanto as demais bases abrangem todos os tipos de vias.

Os maiores comprimentos de malhas viárias impactadas foram obtidas a partir da plataforma OpenStreetMap (aproximadamente 108 km), que é composto por dados abertos que

podem ser utilizados por qualquer pessoa para diversos fins. Apesar de ter uma escala aproximada de 1:25.000 e ser constantemente atualizada por uma comunidade global de colaboradores, a plataforma apresenta um nível de informação que serve de base para muitas instituições e pode ser utilizada pela sociedade em geral.

É fundamental destacar a importância de manter uma base de dados atualizada de forma colaborativa. Esse modelo de construção conjunta permite integrar diferentes perspectivas, experiências e fontes de informação, resultando em um acervo mais sólido, consistente e, muitas vezes, mais abrangente do que aquele produzido isoladamente por uma única instituição ou por um grupo restrito delas.

Para Habowski, Petsch e Batista (2023), o mapeamento colaborativo apresenta grande potencial ao identificar os locais de vivência dos sujeitos de uma pesquisa. No contexto atual, em que grande parte da população tem acesso a aplicativos de localização, qualquer indivíduo pode tornar-se produtor de Informação Geográfica Voluntária (VGI), ampliando significativamente as possibilidades de coleta e análise de dados espaciais.

Os dados do 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro (1º CGEO) são compostos por diversas fontes, como o DAER, o próprio Exército Brasileiro e dados livres, como os do OpenStreetMap. Essa base ficou em segundo lugar em termos de comprimentos calculados, mas passou por uma rigorosa avaliação e consistência do 1º CGEO, localizado em Porto Alegre - RS. Essa unidade é responsável pela produção e fornecimento de cartografia e dados geoespaciais para o Comando Militar do Sul. Possui um histórico ligado à Comissão da Carta Geral do Brasil e dedica-se à produção de mapas, cartas topográficas e informações geoespaciais para fins militares e civis, incluindo planejamento de defesa e projetos de engenharia (1º CGEO, 2025).

Utilizando as informações disponibilizadas pelo 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro, foi possível mapear aproximadamente 102 km de rodovias e estradas que sofreram impactos durante o desastre de 2024. Dessa forma, verifica-se uma discrepância de cerca de 6 km quando comparada à base cartográfica utilizada anteriormente.

A escolha criteriosa da base cartográfica revela-se de extrema importância, dado que os custos de manutenção e recuperação das rodovias são elevados tanto no Brasil quanto em outras partes do mundo. Nas estradas vicinais, os gastos anuais de manutenção podem atingir aproximadamente R\$ 15 mil por km, variando conforme o tipo de intervenção, sendo estimado que sejam necessários bilhões de reais anualmente para a melhoria da malha viária. No caso da recuperação emergencial de rodovias, como ocorreu no Rio Grande do Sul após as enchentes e movimentos de massa, os custos podem alcançar cifras bilionárias (CNM, 2025).

A base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, em escala 1:50.000, foi produzida pelo Centro de Ecologia da UFRGS e lançada em 2010, a partir das cartas topográficas do Exército. Trata-se de um conjunto de informações georreferenciadas que abrange todo o Estado do Rio Grande do Sul, podendo ser utilizada em projetos de modelagem e geoprocessamento. Apesar de sua importância, os dados podem apresentar inconsistências significativas para projetos detalhados atualizados e para o planejamento de medidas de gestão de risco de movimentos de massa.

As escalas do IBGE - 1:100.000 e IBGE - 1:250.000 representam diferentes níveis de detalhamento, e fazem parte do projeto “Base Cartográfica Vetorial Contínua do Brasil”, que compreende um conjunto de dados geoespaciais de referência, fornecendo a geometria, a toponímia e a classificação necessárias para estudos centrados no território nacional, oferecendo uma visão integrada que subsidia ações de planejamento e gestão (IBGE, 2025). Assim, ressalta-se que essas bases devem ser utilizadas com cautela, considerando sempre o objetivo e a escala do estudo, pois podem levar ao subdimensionamento dos dados apresentados.

Em relação à malha viária disponibilizada pelo DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (órgão estadual), verificou-se um impacto de aproximadamente 5 km dos movimentos de massa sobre as estradas. O DAER é responsável pela administração de 10.272,99 km de rodovias, sendo 7.298,75 km pavimentados e 2.974,24 km não pavimentados. A autarquia também responde pela conservação de toda a malha rodoviária sob sua jurisdição, incluindo as obras de arte especiais (DAER, 2025).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (autarquia federal) registrou vários pontos de bloqueio em suas rodovias durante o desastre de 2024. Apesar da distância impactada identificada neste estudo ser relativamente pequena (aproximadamente 1,6 km), os prejuízos foram significativos. As rodovias federais, administradas pelo DNIT ou por empresas concessionárias, correspondem a 5,8 mil km da malha rodoviária do Estado (Rio Grande do Sul, 2024).

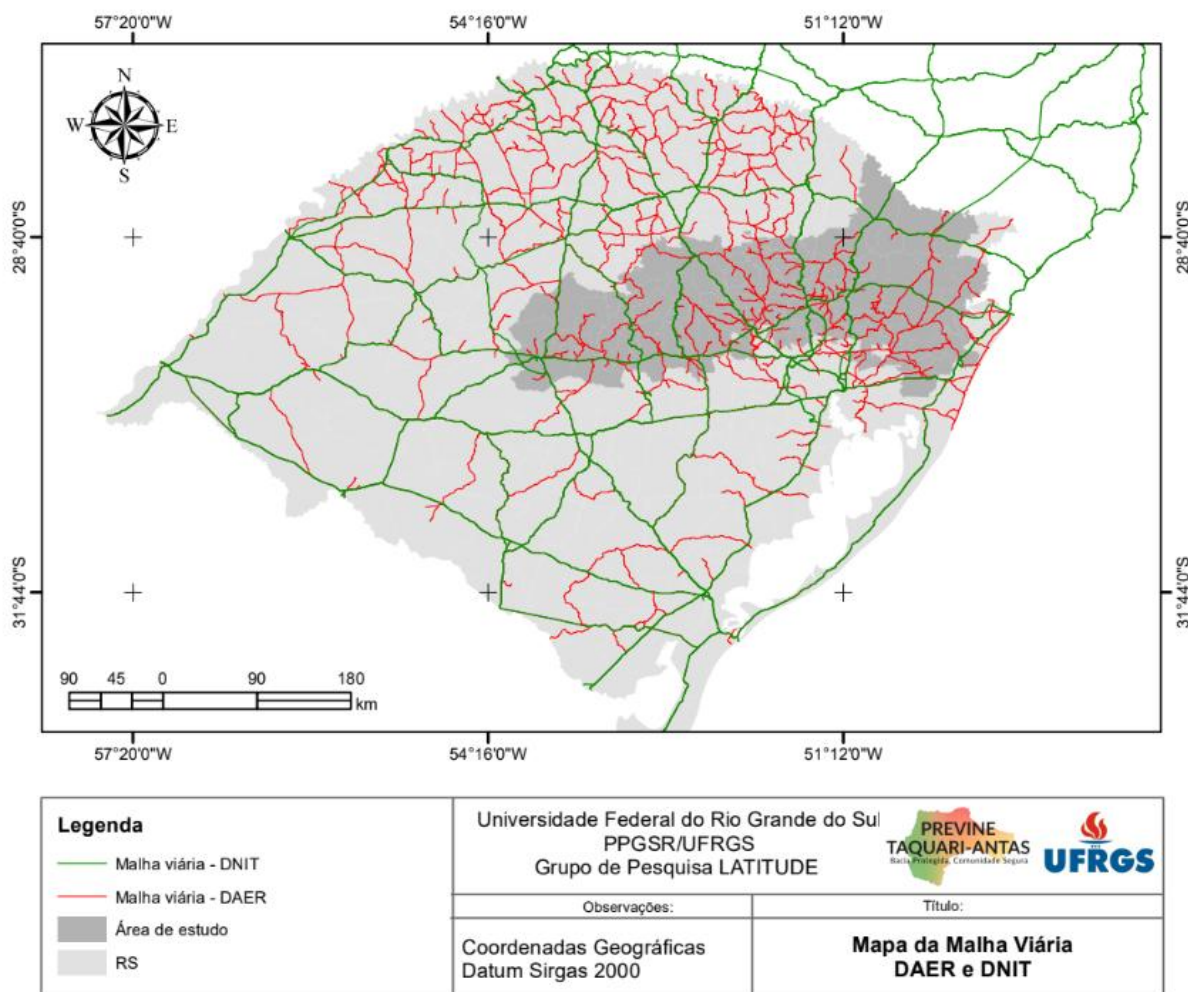
Um exemplo é o ponto na BR-116/RS, na divisa entre os municípios de Caxias do Sul e Nova Petrópolis, onde a força da água provocou o colapso da Ponte do Caí, bloqueando completamente o tráfego entre as duas cidades. No entanto, em curto intervalo de tempo e com um investimento de R\$ 31 milhões, o DNIT entregou uma nova estrutura em 21 de dezembro de 2024.

De acordo com informações da Associação dos Municípios do Vale do Taquari (AMVT), as enchentes ocorridas em 2023 e 2024 resultaram na destruição de, ao menos, 80 ligações viárias e pontes de pequeno porte na região (G1, 2025).

O mapa da Figura 1 apresenta a malha viária do DAER e do DNIT, permitindo observar que se trata de ligações estratégicas para o Estado. As rodovias federais BR-116, BR-101, BR-386 e BR-290 recebem grandes fluxos de escoamento da produção, especialmente da safra, apresentando os maiores volumes de tráfego do Estado. Essas rodovias estabelecem conexões entre os portos de Rio Grande e Porto Alegre, além de vincularem o Rio Grande do Sul aos demais estados brasileiros e aos países do Mercosul, por meio da fronteira com a Argentina, no município de Uruguaiana (Rio Grande do Sul, 2024).

A quantidade de municípios atingidos na área de estudo também varia significativamente conforme as cinco principais bases cartográficas utilizadas: 114, 113, 108, 99 e 64 municípios (Quadro 2 – mostrado anteriormente). Esses resultados evidenciam grandes discrepâncias entre as diferentes bases, o que reforça a necessidade de critérios consistentes de seleção e validação das fontes cartográficas.

Figura 1 - Mapa da malha viária do DAER e do DNIT no Estado do RS.



Fonte: Autores (2025).

Independentemente disso, o Balanço das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul (última atualização em 19/8/2025), divulgado pela Defesa Civil do Estado, apresenta um panorama detalhado da situação dos municípios afetados. Conforme o relatório mais recente, 478 municípios sofreram impactos diretos. O total de pessoas afetadas alcançou 2.398.255, com registro de 806 feridos, 23 desaparecidos e 185 óbitos confirmados. Esses números evidenciam a amplitude da tragédia e a complexidade das ações de resgate e assistência às populações atingidas (Rio Grande do Sul, 2025).

Entre abril e maio de 2024, o Rio Grande do Sul enfrentou um dos maiores desastres socioambientais de sua história recente, marcado por inundações extensas e deslizamentos de terra generalizados que afetaram 96% dos municípios do Estado (Andrades-Filho *et al.*, 2025). Segundo Andrades-Filho *et al.* (2025), foram identificados 15.376 deslizamentos distribuídos em uma área superior a 18.000 km², evidenciando um processo de instabilidade em larga escala. Esses dados revelam a intensidade do episódio e reforçam a necessidade de análises integradas sobre vulnerabilidade territorial, dinâmica climática e capacidades institucionais de resposta.

O desastre produziu uma série de impactos econômicos, afetando tanto o estoque de capital físico, como instalações, fábricas, lojas, máquinas e equipamentos, além da infraestrutura viária e energética, quanto o fluxo de produção das diversas atividades econômicas. Seu efeito mais significativo decorre da destruição de capital produtivo, que reduz a capacidade de produção futura, uma vez que o volume produzido por uma economia está diretamente relacionado ao tamanho de seu estoque de capital (Pessoa *et al.*, 2025)

O evento foi extremamente destrutivo para a malha viária e longos trechos de estradas foram seriamente comprometidos. Os municípios de Arroio do Meio, Gramado, Bento Gonçalves, São Valentim do Sul e Nova Petrópolis apresentaram os maiores segmentos de estradas impactados dentro das cicatrizes de movimentos de massa (Quadro 3).

Quadro 3 – Tamanhos dos trechos e municípios impactados de acordo com cada base cartográfica analisada neste estudo.

Base	Tamanho do maior trecho (m)	Município
OpenStreetMap.	453,91	Arroio do Meio
1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro.	442,60	Gramado
Cartas topográficas do Exército Brasileiro.	424,56	Bento Gonçalves
IBGE - 1:100.000.	462,90	Arroio do Meio
IBGE - 1:250.000.	286,54	Arroio do Meio
<i>DAER</i>	<i>154,14</i>	<i>São Valentim do Sul</i>
<i>DNIT</i>	<i>123,10</i>	<i>Nova Petrópolis</i>

Obs.: As bases do DAER e do DNIT incluem apenas os traçados sob suas respectivas jurisdições, enquanto as demais bases abrangem todos os tipos de vias.

Em relação ao total da malha viária atingida nos municípios, verificou-se que Bento Gonçalves foi o que mais registrou danos, com mais de 12 km de estradas comprometidas. Em maio de 2024, as vias do município foram severamente afetadas pelas enchentes e pelos deslizamentos, resultando em bloqueios totais e parciais em diferentes trechos. As principais rodovias atingidas foram a BR-470 e a ERS-431, que sofreram danos significativos, como rompimento de pista e queda de barreiras (Quadro 4).

Quadro 4 – Município mais impactado e comprimento total de acordo com cada base cartográfica analisada neste estudo.

Base	Município mais impactado	Comprimento total no município (km)
OpenStreetMap.	Bento Gonçalves	12,9
1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro.	Bento Gonçalves	12,6
Cartas Topográficas do Exército Brasileiro.	Bento Gonçalves	10,9
IBGE - 1:100.000.	Bento Gonçalves	6,7
IBGE - 1:250.000.	Bento Gonçalves	1
<i>DAER</i>	<i>Bento Gonçalves</i>	<i>1</i>
<i>DNIT</i>	<i>Bento Gonçalves</i>	<i>570 metros</i>

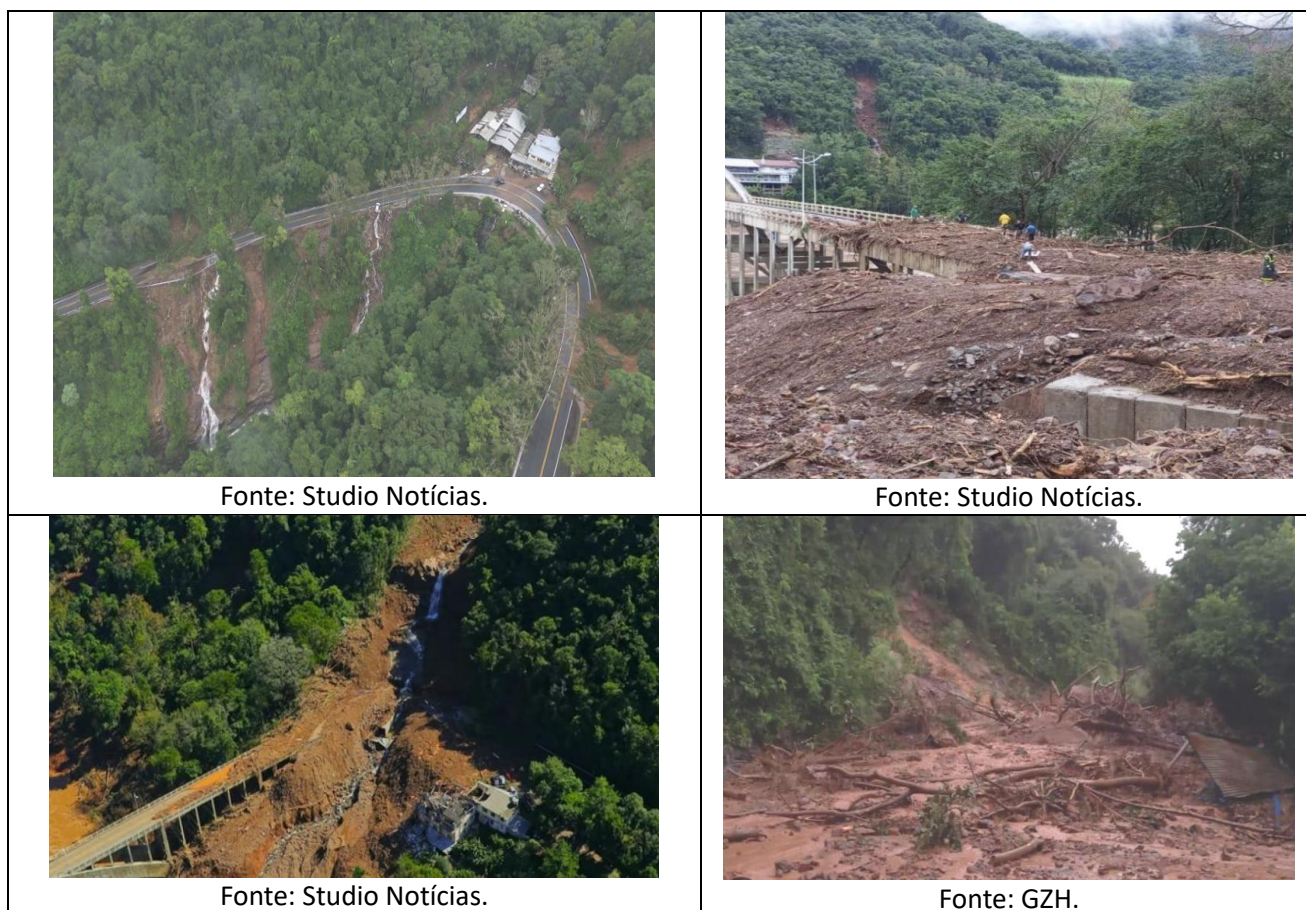
Obs.: As bases do DAER e do DNIT incluem apenas os traçados sob suas respectivas jurisdições, enquanto as demais bases abrangem todos os tipos de vias.

No Quadro 5, podem ser observadas imagens da BR-470, onde as fortes chuvas que atingiram a região provocaram uma grande queda de barreira no Vale do Rio das Antas, entre Bento Gonçalves e Veranópolis, bloqueando totalmente a rodovia. O trecho registrou múltiplos movimentos de massa, fluxo concentrado de águas pluviais e pontos de cedimento do asfalto, deixando pessoas e veículos ilhados. Os trabalhos com máquinas para liberar a via e resgatar as pessoas isoladas precisaram ser interrompidos em diversos momentos devido ao risco de novos

deslizamentos. O acesso permaneceu restrito, e as equipes tentaram alcançar o local por rotas alternativas.

Conforme Egas *et al.* (2025), a água que descia dos morros arrastou terra e troncos de árvores, cobriu córregos e formou barreiras naturais que represaram temporariamente o fluxo. Quando essas barreiras se romperam, liberaram ondas de lama e detritos, provocando enxurradas violentas que, em alguns pontos, chegaram a 4 metros de altura. Cidades como Roca Sales, no Vale do Taquari, a 142 km de Porto Alegre, foram severamente tomadas pela lama.

Quadro 5 – Imagens da BR-470 entre os municípios de Bento Gonçalves e Veranópolis.



Fonte: Organizado pelos autores (2025).

A classificação da malha viária do OpenStreetMap difere significativamente da utilizada no Brasil, de modo que sua terminologia não é adequada para este trabalho. Por isso, detalharemos apenas os tipos de vias segundo o 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro e as cartas topográficas do Exército Brasileiro.

O 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro classifica as estradas mapeadas em seis categorias: caminho carroçável, primária, principal, secundária, terciária e trilha. Para este trabalho, essas categorias foram consideradas na geração dos dados quantitativos (Quadro 6). Na área em estudo, o maior impacto ocorreu na categoria “terciária”. Essas estradas são geralmente encontradas em áreas rurais dos municípios, não possuem pavimentação asfáltica e foram construídas em terreno natural, sem observância das normas técnicas, podendo eventualmente receber revestimento primário.

Quadro 6 – Estradas afetadas por tipologia - 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro.

Categoria	Comprimento em km – total da área em estudo
Caminho carroçável	12,30
Primária	2,28
Principal	1,12
Secundária	2,20
Terciária	79,75
Trilha	4,10

Fonte: Autores (2025).

As estradas terciárias são vias de menor porte, geralmente não pavimentadas, que ligam áreas rurais, pequenas comunidades e propriedades agrícolas. Técnicos da EMATER/RS-ASCAR registraram diversos danos em instalações localizadas na zona rural no evento de 2024, incluindo casas, galpões, armazéns, silos, estufas e aviários. Além disso, como consequência, o escoamento da produção de 4.548 comunidades foi afetado devido às condições comprometidas das estradas vicinais (Emater, 2024).

De acordo com Martins, Campos e Nascimento (2020) o termo “vicinais” é usualmente empregado para se referir às estradas locais, cuja principal função é garantir o acesso às propriedades situadas às suas margens ou aos pequenos povoados aos quais essas vias conduzem.

Santos *et al.* (2020) ressaltam que o fato de a grande maioria das estradas não pavimentadas terem sido construídas de forma rústica, muitas vezes traçadas apenas de acordo com as condições naturais do relevo, sem qualquer estudo técnico, contribui para a precariedade das condições de trafegabilidade local.

Outro ponto a considerar é que essas estradas vicinais frequentemente apresentam problemas relacionados à drenagem do escoamento superficial, sobretudo por terem sido construídas de forma rústica e sem o devido planejamento técnico. A adequada condução do escoamento e a implementação de sistemas eficientes de drenagem de águas pluviais são elementos fundamentais para o controle e a estabilização de encostas, contribuindo para a redução significativa do risco de processos erosivos e de deslizamentos (Righetto *et al.*, 2009).

A base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, derivada das cartas topográficas do Exército, apresenta uma classificação diferenciada e inclui também as ferrovias (Quadro 7). Assim, foi possível verificar que os caminhos e trilhas foram os mais danificados, correspondendo, em termos de classificação, às estradas “terciárias”.

Quadro 7 – Estradas afetadas por tipologia - Cartas Topográficas do Exército Brasileiro.

Categoria	Comprimento em km – total da área em estudo
Caminho/trilha	35,94
Estrada Estadual pavimentada	1,50
Estrada Estadual sem pavimentação	1,79
Estrada Federal pavimentada	0,76
Estrada Federal sem pavimentação	0,028
Estrada Municipal sem pavimentação	21,19
Ferrovia	5,66

Fonte: Autores (2025).

Conforme Pinheiro, Silva e Salomão (2023) uma estrada não pavimentada que não recebe manutenção preventiva, em curto prazo, inevitavelmente apresentará diversas patologias em sua camada de rolamento, como buracos, atoleiros, erosões e afloramentos de rochas, comprometendo a segurança do tráfego no trecho. Geralmente, esses problemas são causados por deficiências na estrutura da estrada, no sistema de drenagem ou no revestimento da via.

As estradas vicinais (rurais), mais conhecidas como vias não pavimentadas, são vias municipais que constituem o principal meio de conexão entre áreas rurais e centros urbanos. Apesar de representarem uma parte significativa da malha viária, essas estradas muitas vezes são negligenciadas, deixando de receber manutenção adequada e, conseqüentemente, desenvolvendo problemas técnicos que dificultam o tráfego (Pinheiro; Silva; Salomão, 2023).

Diversas pontes e trechos ferroviários na região da Serra foram severamente danificados ou destruídos, incluindo os localizados entre Santa Tereza, Nova Prata e Fagundes Varela (RS-441 e Linha Bento Gonçalves), bem como entre Cotiporã e Bento Gonçalves (RS-431).

Cerca de 800 km de linhas férreas, pontes e túneis foram danificados ou totalmente inutilizados pelas enchentes nas regiões Nordeste e Metropolitana do Rio Grande do Sul. Grande parte dos estragos concentra-se na rota entre Canoas e Vacaria, principal via de entrada e saída de mercadorias do Estado. Além disso, outros 700 km de trilhos que ligam o centro do Estado e a fronteira também necessitam de recuperação, devido à falta de manutenção e aos investimentos insuficientes em modernização (Correio do Povo, 2024).

Considerações finais

As distâncias obtidas a partir do processamento das diferentes bases cartográficas utilizadas neste estudo apresentaram resultados distintos para o megadesastre ocorrido em 2024 no Rio Grande do Sul, o que era esperado, devido a fatores como a origem das bases, seu nível de precisão, os métodos de levantamento e o grau de atualização das informações.

É importante destacar que as bases cartográficas precisam ser empregadas de forma criteriosa, considerando sempre o objetivo e a escala da análise, uma vez que sua utilização inadequada pode conduzir à subestimação ou à superestimação das informações obtidas.

Isso ocorre porque a manutenção anual das estradas vicinais, que constituem a maior parte da malha viária do Estado, pode gerar custos em torno de R\$ 15 mil por quilômetro, dependendo do tipo de intervenção, sendo estimado que bilhões de reais sejam necessários anualmente para a melhoria da malha. Já a recuperação emergencial de rodovias, como ocorreu no Rio Grande do Sul em função de enchentes e movimentos de massa, pode exigir investimentos bilionários.

O megadesastre de 2024 mostrou-se incontestavelmente devastador. Bento Gonçalves foi o município que acumulou o maior volume de danos, com mais de 12 km de estradas comprometidas. A região do Vale do Taquari também figurou entre as mais impactadas, apresentando múltiplos pontos com queda de barreiras, erosão do pavimento e trechos completamente alagados, evidenciando a gravidade do evento.

Dessa forma, este estudo visa também contribuir para a compreensão da capacidade adaptativa de indivíduos, comunidades, ecossistemas e sistemas socioeconômicos, analisando como esses agentes podem responder às mudanças climáticas, recuperar-se de seus impactos e promover transformações estruturais que diminuam a vulnerabilidade a eventos extremos futuros.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela Concessão de Apoio Financeiro a Projetos de Pesquisa com o Termo de outorga: 24/2551-0002124-8, pelo Edital FAPERGS 06/2024 - Programa de pesquisa e desenvolvimento voltado a desastres climáticos.

Referências

1º Centro de Geoinformação. Divisão de Levantamento General Augusto Tasso Fragoso. **Produtos**. 2025. Disponível em: <https://1cgeo.eb.mil.br/>. Acesso em: 03 dez. 2025.

ANDRADES-FILHO, C. de O.; *et al.* The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. **Landslides**. 22, 3615–3624, 2025.
<https://doi.org/10.1007/s10346-025-02587-8>

BARRILE, V.; *et al.* Road Cadastre an Innovative System to Update Information, from Big Data Elaboration. In: Gervasi, O.; *et al.* Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. ICCSA

2020. **Lecture Notes in Computer Science**, vol 12252. Springer, Cham. 2020.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-58811-3_51

BÍL, M.; *et al.* Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 80, 90–103, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.07.006>

CARVALHO, R. C.; *et al.* Geomorphological and cover land conditioning factors of the mass movements in the mountainous region of Rio de Janeiro. **Caderno de Geografia**, v.29, n.56, 2019.

<https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n56p27>

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Municípios tiveram custos de R\$ 3,6 bilhões e receberam apenas R\$ 371 milhões para manutenção de estradas vicinais. 2025. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/municipios-tiveram-custos-de-r-3-6-bilhoes-e-receberam-apenas-r-371-milhoes-para-manutencao-de-estradas-vicinais>. Acesso em: 05 dez. 2025.

COLLISCHONN, W.; *et al.* Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record.

Brazilian Journal of Water Resources, 29, p. e50, 2024. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420240088>

CORREIO DO POVO. Rio Grande do Sul está sem ligação ferroviária com o Brasil, sete meses depois da enchente: Entidade estima custo de R\$ 4 bilhões para recuperação. 2024. Disponível em:

<https://www.correiodopovo.com.br/especial/rio-grande-do-sul-est%C3%A1-sem-liga%C3%A7%C3%A3o-ferrovi%C3%A1ria-com-o-brasil-sete-meses-depois-da-enchente-1.1559224>.

Acesso em: 04 dez. 2025.

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Composição da Malha**. 2025.

Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/composicao-da-malha>. Acesso em: 03 dez. 2025.

DANTAS, M. E.; VIERO, A. C.; da SILVA, D. R. A. **Origem das paisagens**. In: Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul. VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. Porto Alegre: CPRM, 2010.

<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16774>

EGAS, H. M.; *et al.* Comprehensive inventory and initial assessment of landslides triggered by autumn 2024 rainfall in Rio Grande do Sul, Brazil. **Landslides**, 22, 579–589, 2025.

<https://doi.org/10.1007/s10346-024-02410-w>

EMATER - Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural.

Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024. Boletim Efeito Adverso, Nº 01 maio de 2024. Disponível em:

<https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.

G1 – RIO GRANDE DO SUL. Ponte alternativa à levada por enchente durante gravação de vídeo de prefeita é entregue em Santa Tereza. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do->

[sul/noticia/2025/03/17/ponte-alternativa-a-levada-por-enchente-durante-gravacao-de-video-de-prefeita-e-entregue-em-santa-tereza.ghtml](#). Acesso em: 05 nov. 2025.

HABOWSKI, J. T. V.; PETSCH, C.; BATISTA, N. Uso da cartografia colaborativa para o mapeamento dos espaços de vivência de estudantes da geografia de uma universidade pública. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 17, n. 3, p. 247–268, 2023. DOI: 10.5216/ag.v17i3.76265. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/76265>. Acesso em: 7 dez. 2025.

IBGE. **IBGE lança base cartográfica atualizada com ajustes de fronteiras e malha municipal**. 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/45243-ibge-lanca-base-cartografica-atualizada-com-ajustes-de-fronteiras-e-malha-municipal>. Acesso em: 03 dez. 2025.

IGEO - Instituto de Geociências. **Mapeamento de Movimentos de Massa – Notas Técnicas**. 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/igeo/2347/mapeamento-de-movimentos-de-massa-nota-tecnica/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

LOREK, D.; HORBIŃSKI, T. Interactive Web-Map of the European Freeway Junction A1/A4 Development with the Use of Archival Cartographic Sources. **ISPRS Int. J. Geo-Inf.** 2020, 9, 438. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070438>

MARTINS, A. S.; CAMPOS, D. B. da C.; NASCIMENTO, M. das V. do. Unpaved back roads: evaluation of traffic conditions on a stretch contained in a community in the Sertão de Pernambuco. **Brazil. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e4409108652, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8652>

MENESES, B. M.; PEREIRA, S.; REIS, E. Effects of different land use and land cover data on the landslide susceptibility zonation of road networks. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 19, 471–487, 2019.

NÚÑEZ-CAMARENA, G. M.; LOREN-MÉNDEZ, M. Caracterización de las tipologías de representación a través de la Etnografía virtual. Los caminos Purépecha en la región lacustre de Pátzcuaro como corredor patrimonial. **Urbano**, 26(47), 70–83. 2023. <https://doi.org/10.22320/07183607.2023.26.47.06>

PESSOA, M. L.; *et al.* **Impactos socioeconômicos dos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul: uma análise após um ano do desastre**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2025. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202504/29093707-relatorio-dee-impactos-socioeconomicos-dos-eventos-climaticos-extremos-de-2024-no-rio-grande-do-sul-uma-analise-apos-um-ano-do-desastre-1.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2025.

PINHEIRO, A. V. S.; SILVA, M. F. de S.; SALOMÃO, P. E. A. Patologias em estradas vicinais: a importância da manutenção e conservação de vias rurais para o desenvolvimento regional. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, 2(1). 2023. Disponível em:

<https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/790>. Acesso em: 23 nov. 2025.

RAMOS, I.; *et al.* Mercator Projection on the Sphere, a Deduction Without Mathematical GAP. **Mercator**, Fortaleza, v. 24, e24014, 2025. <https://doi.org/10.4215/rm2025.e24014>

RIGHETTO, A. M. (coordenador); *et al.* **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf. Acesso em: 07 dez. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul / Rodovias**. Edição: 8ª ed. Data de atualização: novembro de 2024. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/rodovias>. Acesso em: 02 dez. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Situação nos municípios. **Balanço das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul**. 2025. Disponível em: <https://sosenchentes.rs.gov.br/situacao-nos-municipios>. Acesso em: 07 dez. 2025.

SANTOS, Y. R. P. dos., *et al.* Avaliação dos elementos de projeto e do estado de conservação do trecho de uma estrada vicinal do estado de Pernambuco, Brasil. **Research, Society and Development**, 9(9), e602997501. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7501>

TAURA, T. A.; SLUTER, C. R.; FIRKOWSKI, H. Cartographic generalization for urban mapping at 1:2,000, 1:5,000 and 1:10,000. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 16, no 3, p.386-402, jul-set, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702010000300002>