

**ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA DO RIO
GRANDE DO SUL APÓS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS**

Autor: Lucas de Araujo Sanches (lucas.sanches98@edu.pucrs.br)

Orientadora: Prof. Dra. Gracieli Bordin Colpo (gracieli.colpo@pucrs.br)

Resumo

Este estudo examina a recuperação da infraestrutura viária do estado do Rio Grande do Sul após a catástrofe climática sem precedentes ocorrida em 2024, quando o estado enfrentou o maior desastre natural da história do Brasil. Caracterizado por chuvas intensas, enchentes e enxurradas devastadoras, o evento causou danos extensivos à infraestrutura viária, exigindo respostas rápidas e eficazes. A análise se apoia em protocolos e artigos de países que enfrentaram desastres semelhantes, visando identificar boas práticas de engenharia e gestão. O estudo aborda as adaptações necessárias para aplicar essas estratégias ao contexto específico do Rio Grande do Sul, considerando as particularidades regionais e os desafios impostos pelas mudanças climáticas. O objetivo foi analisar as medidas que contribuíram para a formulação de estratégias mais eficazes de recuperação e mitigação de danos futuros, promovendo a resiliência da infraestrutura viária e oferecendo subsídios para o desenvolvimento de metodologias que fortaleçam a preparação para eventos climáticos extremos. Assim, este estudo evidencia que a implementação de boas práticas e técnicas de engenharia adaptadas à realidade local é crucial para fortalecer a resiliência da infraestrutura viária, garantindo não apenas a recuperação das condições danificadas, mas também a preparação eficaz para enfrentar futuros desastres climáticos.

Palavras-chave: Infraestrutura Viária, Catástrofe Climática, Recuperação.

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico do estado do Rio Grande do Sul (RS), conectando regiões, facilitando o transporte de mercadorias e promovendo a mobilidade das populações urbanas e rurais. As rodovias estaduais, em particular, são vitais para o escoamento da produção agrícola e industrial, além de integrarem as cadeias logísticas que abastecem tanto o mercado interno quanto o externo. Desta forma, a preservação e manutenção dessas vias são essenciais para garantir a continuidade do crescimento econômico e o bem-estar da população.

Diante disso, os efeitos das chuvas, que têm se intensificado nos últimos anos, representam um desafio significativo para a preservação dessa infraestrutura estratégica. O aumento no volume

e na frequência de eventos de precipitação extrema contribui para problemas na infraestrutura viária, dificultando sua funcionalidade e aumentando os custos de manutenção e recuperação.

O volume de chuvas no Brasil tem apresentado um crescimento significativo ao longo das últimas décadas, intensificando-se nos últimos anos. Estudos climáticos apontam que, em regiões como o Sul do Brasil, houve um aumento de até 30% na precipitação média anual nas últimas três décadas (CARDOSO et al., 2022). Esse aumento está diretamente relacionado às mudanças climáticas globais, que têm intensificado eventos de chuva extrema devido ao aquecimento da atmosfera, retendo mais umidade e propiciando a formação de tempestades mais intensas (MARENGO et al., 2020). De acordo com os relatórios anuais de precipitações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) esse fenômeno é particularmente notável nas regiões Sul e Sudeste, onde a frequência e a intensidade de cheias e inundações têm se tornado mais comuns. Esse aumento nos eventos extremos é uma preocupação crescente para a infraestrutura e a gestão de riscos no país.

Neste contexto, no final de abril e início de maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou uma catástrofe climática sem precedentes, caracterizada por chuvas intensas, enchentes e enxurradas, que afetaram 478 dos 497 municípios, impactando mais de 2,4 milhões de pessoas, conforme dados divulgados pelo Governo do Estado através de boletins produzidos pela Secretaria de Comunicação em parceria com a Defesa Civil (SECOM, 2024). O evento resultou em 173 mortes, 38 desaparecidos e mais de 4 mil desalojados, sendo considerado o maior desastre natural da história do Brasil. As consequências para a infraestrutura viária foram devastadoras, com rodovias e pontes severamente danificadas ou completamente destruídas, comprometendo a mobilidade e, conseqüentemente, o acesso a serviços essenciais, como saúde, educação e segurança.

Diante desse cenário, a recuperação da infraestrutura viária do estado torna-se uma prioridade para a reconstrução das áreas afetadas e a retomada do desenvolvimento econômico. Com isso, este trabalho visou analisar os processos de recuperação dessas rodovias, utilizando como referência artigos e protocolos desenvolvidos por instituições de países que já enfrentaram desastres naturais de magnitude similar, como a Austrália e os Estados Unidos. A escolha desses países se justifica pela existência de normas e práticas consolidadas na gestão de crises climáticas, especialmente no que tange à infraestrutura de transportes. Essas referências destacam tanto as ações emergenciais implementadas imediatamente após os desastres, quanto aquelas que, devido à sua complexidade, exigem análises mais aprofundadas e são executadas em fases subsequentes.

A análise proposta buscou identificar boas práticas de engenharia e gestão aplicáveis ao contexto do Rio Grande do Sul, bem como possíveis adaptações necessárias às particularidades da região. Além disso, discutiu-se a implementação de estratégias de mitigação que possam reduzir a vulnerabilidade da infraestrutura viária frente a futuros eventos climáticos extremos. Assim, espera-se contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes, que não apenas atendam às necessidades imediatas de recuperação, mas também fortaleçam a resiliência das rodovias estaduais a longo prazo, garantindo a continuidade do desenvolvimento socioeconômico do Rio Grande do Sul.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico aborda uma série de tópicos fundamentais para a compreensão e análise da recuperação da infraestrutura viária do Rio Grande do Sul após a catástrofe climática de 2024. São descritos a composição da malha rodoviária do estado, com detalhamento de suas características, e os aspectos relacionados à administração dessas rodovias, com ênfase nos órgãos responsáveis pela gestão e manutenção. Além disso, são apresentados estudos sobre os efeitos das enchentes no sistema viário, explorando como esses eventos impactam a durabilidade e segurança das vias. São também discutidos os protocolos para a avaliação dos danos causados, destacando as metodologias utilizadas para mensurar o grau de comprometimento das infraestruturas afetadas, bem como as estratégias aplicáveis em situações extremas, visando estabelecer medidas eficientes para a realização de intervenções corretivas e preventivas.

2.1 Efeitos da ação do clima na infraestrutura viária

As mudanças climáticas têm causado um impacto substancial na infraestrutura viária, especialmente em regiões sujeitas a eventos extremos, como inundações. Estudos realizados em diferentes contextos ao redor do mundo destacam os efeitos adversos das condições climáticas sobre pavimentos flexíveis, que são amplamente utilizados em rodovias.

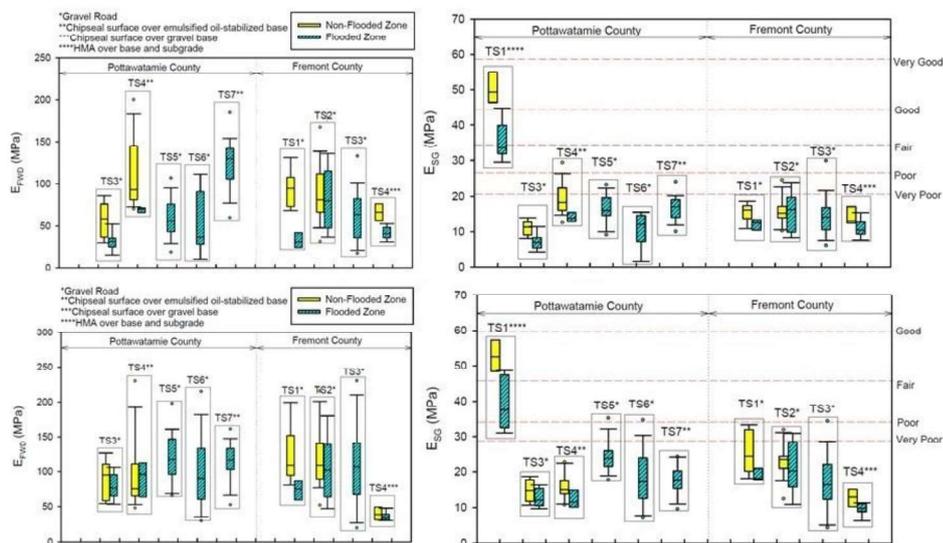
O estudo realizado pela Universidade Griffith, de Queensland, na Austrália, analisou os efeitos das inundações em pavimentos flexíveis e destacou várias consequências adversas. Entre as principais conclusões, identificou-se uma redução significativa na capacidade estrutural dos pavimentos, uma deterioração acelerada da superfície e um impacto negativo considerável no Número Estrutural (SN), um parâmetro crucial para a avaliação da durabilidade das rodovias. O estudo sublinha a importância do monitoramento contínuo e da manutenção das vias para

mitigar os danos causados por inundações e prolongar a vida útil dos pavimentos (SULTANA et al., 2015).

O artigo do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de New Hampshire complementa essas conclusões, examinando como as flutuações na umidade do solo afetam o desempenho dos pavimentos flexíveis após inundações. Este estudo destaca que as variações na umidade do solo têm um impacto significativo na integridade estrutural dos pavimentos, especialmente em materiais de base e sub-base, que são altamente sensíveis a essas mudanças. A pesquisa enfatiza os desafios na modelagem das variações de umidade, que são cruciais para entender como os pavimentos se degradam sob condições de inundação (AJORLOU et al., 2024).

Além disso, o estudo do Departamento de Transporte de Iowa analisou os impactos da inundação do rio Missouri em 2011 sobre diversas infraestruturas em Iowa, incluindo rodovias, diques, pontes, bueiros e encostas. As avaliações revelaram que o suporte estrutural dos pavimentos variou significativamente entre áreas inundadas e não inundadas, considerando a variação no módulo da estrutura determinado nos intervalos de 20 a 30 dias e 7 a 8 meses (Figura 1).

Figura 1: Análise estatística comparativa do módulo (E) entre áreas inundadas e não inundadas



(Fonte: Departamento de Transporte de Iowa, 2013)

Enquanto algumas áreas apresentaram sinais de recuperação ao longo do tempo, à medida que ocorreu a drenagem e o grau de saturação nas camadas de subleito diminuiu, outras permaneceram vulneráveis. As estruturas que apresentaram maior resiliência possuíam sistemas de drenagem mais eficientes, materiais de construção de maior qualidade e técnicas de compactação adequadas, enquanto as mais suscetíveis careciam dessas características. Essas

diferenças destacam a necessidade de estratégias de reparo e mitigação robustas e de um planejamento mais criterioso para tornar as infraestruturas mais resistentes aos desafios impostos por eventos climáticos extremos (VENNAPUSA et al., 2013).

Estudos internacionais também têm se debruçado sobre os impactos de eventos climáticos extremos em infraestruturas críticas, como pontes, taludes e encostas, oferecendo valiosas lições para a mitigação de danos e o desenvolvimento de estratégias de recuperação.

Um estudo conduzido pelo Centro de Pesquisa em Transportes da Louisiana analisou os danos causados por enchentes em pontes rodoviárias, destacando a vulnerabilidade das fundações e das estruturas de suporte quando expostas a fluxos de água intensos e contínuos. A pesquisa identificou que a erosão do solo ao redor das fundações é um dos principais fatores que comprometem a estabilidade das pontes durante eventos de inundação. O estudo recomenda a implementação de medidas preventivas, como a instalação de revestimentos protetores nas fundações e a realização de inspeções periódicas, especialmente em áreas sujeitas a eventos climáticos extremos (TAO e MALLICK, 2020).

Outro estudo relevante focou na estabilidade de taludes e encostas após fortes chuvas no Reino Unido. A pesquisa demonstrou que a saturação do solo, causado por precipitações intensas, aumenta significativamente o risco de deslizamentos, especialmente em encostas com inclinações acentuadas. A análise de casos de deslizamentos ocorridos no Reino Unido ao longo da década de 2.000 mostrou que o monitoramento em tempo real da umidade do solo e a instalação de sistemas de drenagem eficazes são essenciais para prevenir falhas catastróficas em taludes e encostas. O estudo também sugere o reforço de encostas vulneráveis por meio de técnicas como a instalação de muros de contenção e o uso de geossintéticos (DIJKSTRA e DIXON, 2010).

Esses estudos demonstram que as mudanças climáticas e eventos extremos, como inundações, representam uma ameaça crescente para as estruturas de transporte, exigindo uma abordagem mais rigorosa na concepção, monitoramento e manutenção das vias para garantir sua durabilidade e segurança. Eles destacam a necessidade de estratégias integradas que envolvam não apenas a avaliação e reforço das infraestruturas, mas também um monitoramento contínuo e a implementação de medidas de manutenção preventiva. Além disso, enfatizam a importância de adotar práticas que considerem as características regionais e as previsões climáticas, o que pode contribuir significativamente para a mitigação dos efeitos adversos e para a preservação da integridade das infraestruturas ao longo do tempo.

2.2 Ações após eventos climáticos extremos

O estudo realizado pelo Centro de Pesquisa em Transportes da Louisiana (TAO e MALLICK, 2020) apresenta um protocolo abrangente para a avaliação de danos em infraestruturas rodoviárias, especialmente relevante no contexto do aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como inundações. Dado o cenário de mudanças climáticas globais e seus impactos diretos sobre a infraestrutura viária, a adoção de uma metodologia rigorosa e orientada por riscos é essencial para que as agências de transporte possam enfrentar de maneira eficaz os desafios impostos por tais fenômenos.

O protocolo desenvolvido por Tao e Mallick (2020) se destaca por sua abordagem estruturada em múltiplos níveis, que integra de forma coerente a identificação, análise e priorização de reparos necessários em infraestruturas rodoviárias afetadas. A metodologia proposta é fundamentada em uma combinação de revisão de literatura especializada e coleta de dados empíricos por meio de questionários aplicados a especialistas na área, o que garante a robustez das diretrizes estabelecidas. Este protocolo é composto por três etapas principais, cada uma delas crucial para a eficácia do processo de recuperação:

- **Avaliação Inicial Rápida:** Esta fase consiste na identificação imediata de áreas críticas que requerem intervenção urgente. A rapidez na resposta permite que medidas emergenciais sejam tomadas para mitigar danos maiores, assegurando que as áreas mais vulneráveis sejam atendidas prontamente.
- **Inspeção Detalhada:** Nesta etapa, realiza-se uma análise minuciosa das condições das rodovias, levando em consideração fatores como a geologia local, as condições hidrológicas e o tipo de pavimento. Essa inspeção detalhada é fundamental para uma compreensão precisa da extensão dos danos e para a definição das necessidades de reparo com maior precisão.
- **Classificação de Riscos:** Com base nos dados coletados nas etapas anteriores, as intervenções são priorizadas conforme os riscos identificados e os potenciais impactos sobre a segurança e a mobilidade nas vias. Esta fase assegura que os recursos disponíveis sejam aplicados de maneira estratégica, maximizando a eficiência e a eficácia das ações de recuperação.

A adoção deste protocolo oferece uma ferramenta essencial para a gestão de crises no setor de transportes, proporcionando uma resposta organizada e eficiente aos danos causados por desastres naturais, colaborando com a atuação dos órgãos governamentais em situações de

emergência, fornecendo uma estrutura clara e direcionada para o enfrentamento dos desafios impostos pelas inundações e outros eventos climáticos extremos. Ao minimizar os custos e os tempos de reparo, o protocolo contribui para a infraestrutura viária, garantindo a continuidade dos serviços de transporte e a segurança dos usuários.

Neste cenário de ações pós-catástrofe, o estudo de medidas internacionais em resposta a desastres naturais que afetaram infraestruturas viárias revela a complexidade e a importância de ações coordenadas. Diversos países, ao enfrentarem fenômenos climáticos extremos, desenvolveram estratégias emergenciais, de médio e longo prazo, para mitigar os impactos sobre as redes de transportes.

Nos Estados Unidos, após a devastação causada pelo furacão Katrina em 2005, ações emergenciais foram implementadas instantaneamente para garantir a mobilidade e o suporte logístico. O Departamento de Transportes dos EUA rapidamente restabeleceu rotas críticas para equipes de emergência e a movimentação de suprimentos. Além disso, o governo federal ativou o *National Response Framework*, que faz parte da Estratégia Nacional de Segurança Interna, e coordena os esforços de resposta imediata e garante a distribuição rápida de recursos. Essas ações emergenciais priorizaram a reabertura de rodovias interestaduais fortemente afetadas (GOVERNO DOS ESTADOS UNIDOS, 2006).

Na Austrália, após os incêndios florestais ocorridos nos anos de 2019 e 2020, que devastaram a infraestrutura viária do estado de Nova Gales do Sul, as autoridades implementaram uma abordagem de médio prazo para reconstruir as rodovias danificadas. O programa *Roads to Recovery*, patrocinado pelo governo australiano, priorizou inicialmente reparos temporários nas estradas rurais e de acesso às áreas mais afetadas. Posteriormente, foram adotadas tecnologias de pavimentação mais resistentes a condições climáticas severas, como o uso de materiais reciclados nas misturas asfálticas, que permitiram maior durabilidade e sustentabilidade (GOVERNO DA AUSTRÁLIA, 2020).

No oriente, o Japão, um dos países mais afetados por desastres naturais, tem uma longa tradição de planejamento de longo prazo para tratar os impactos desses eventos. Após o grande terremoto e tsunami de 2011, que destruiu milhares de quilômetros de rodovias e pontes, o governo japonês estabeleceu um plano de reconstrução de longo prazo que foi executado ao longo de uma década. O *Great East Japan Earthquake Reconstruction Plan* incluiu, entre suas ações, a realocação de comunidades inteiras e a construção de estruturas elevadas para evitar danos futuros. Além disso, o uso de novas tecnologias, como sistemas de monitoramento de

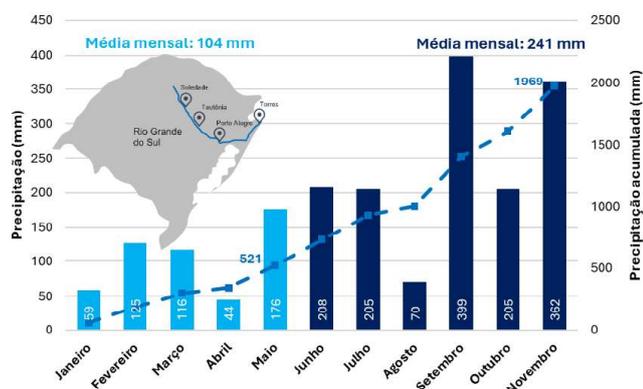
condições das vias em tempo real, foi integrado para prever e mitigar impactos de futuros desastres (GOVERNO DO JAPÃO, 2012).

2.3 Evolução das chuvas nos últimos anos

Ao longo das últimas décadas, o Brasil tem vivenciado uma evolução significativa nos padrões de precipitação, com um aumento tanto na intensidade quanto na frequência das chuvas, especialmente em eventos extremos. Este fenômeno está relacionado às mudanças climáticas globais, que têm influenciado diretamente o ciclo hidrológico do país. Estudos indicam que regiões como o Sul e o Sudeste têm enfrentado um aumento considerável nas chuvas, com períodos de precipitações intensas se tornando mais comuns.

Chagas et al. (2022) analisaram as mudanças no ciclo hidrológico no Brasil, utilizando dados de mais de 800 estações hidrométricas entre os anos de 1980 e 2015. O estudo constatou um aumento nas cheias e uma redução das secas em áreas como o norte da Amazônia e o leste de Mato Grosso do Sul, além do Sul do Brasil, onde 69% do território vem enfrentando mais eventos de inundação. No estado do Rio Grande do Sul, essa tendência de aumento nas chuvas tem se intensificado nos últimos anos, especialmente em 2023 e 2024. Esses anos registraram níveis históricos de precipitação acumulada, o que levou a inundações devastadoras em várias regiões do estado. O ano de 2023, em particular, foi marcado por uma série de eventos climáticos extremos, conforme demonstrado na Figura 2, tendo sido exacerbados pelo fenômeno El Niño, que contribuiu para o aumento das temperaturas e, conseqüentemente, das chuvas torrenciais (FEDRIGO et al., 2024).

Figura 2: Precipitação registrada no RS ano de 2023



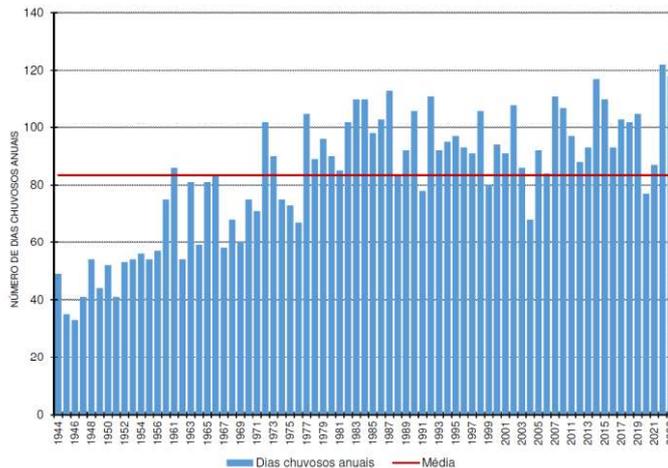
(Fonte: FEDRIGO et al., 2024)

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) relatou que o ano de 2023 foi o mais quente da série histórica no Brasil, com a temperatura média do país $0,69^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica, intensificando os eventos de chuvas extremas, especialmente no Sul. Um estudo publicado na

Revista Pesquisa FAPESP também destacou que, devido às condições climáticas específicas desse período, as chuvas permaneceram concentradas por dias sobre partes do Rio Grande do Sul, exacerbando os efeitos das inundações e causando danos significativos à infraestrutura e à população (FONTANETTO, 2024).

Conforme dados hidrológicos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (2023), está sendo identificado não apenas um aumento significativo na precipitação acumulada, mas também um crescimento no número de dias chuvosos anuais. Essa tendência aponta para mudanças importantes nos padrões climáticos, que têm impacto direto nas condições da infraestrutura e no planejamento hídrico. A Figura 3 apresenta esses dados detalhadamente, evidenciando o comportamento das precipitações e a distribuição temporal dessas ocorrências ao longo dos anos.

Figura 3: Número de dias chuvosos anuais no RS



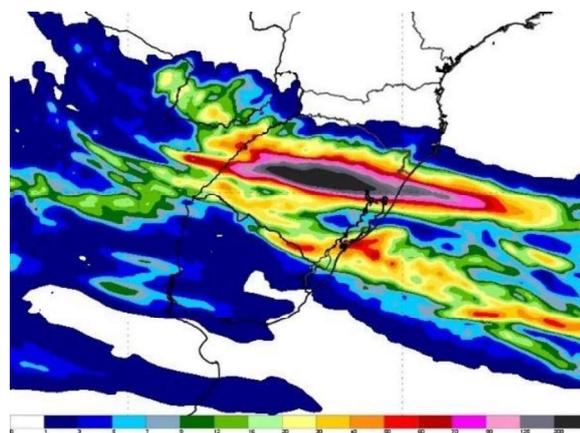
(Fonte: Agência Nacional de Águas, 2023)

Neste contexto, em meados de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou o maior volume de precipitação já registrado em sua história, resultando em uma das maiores catástrofes climáticas que o Brasil já presenciou. O estado registrou chuvas persistentes, equivalentes a três meses em um período de duas semanas, com uma média de 420 mm entre 24 de abril e 4 de maio. O volume acumulado levou a níveis históricos dos rios e colocou 12 barragens sob pressão, apresentando risco de rompimento. As chuvas intensas ocorreram devido a uma combinação de fatores atmosféricos complexos. Um dos principais fatores foi uma massa de ar quente sobre a área central do país, que causou um bloqueio atmosférico, impedindo que as frentes frias do Sul avançassem, e mantendo o centro do país seco e quente. Esse bloqueio, por sua vez, gerou instabilidade significativa na região sul, resultando em alagamentos generalizados (CLARKE et al., 2024).

A catástrofe está intimamente relacionada à onda de calor que atingiu as regiões Sudeste e Centro-Oeste desde o final de abril de 2024, reforçando o bloqueio atmosférico. Além disso, a presença de um cavado, que é uma área alongada de baixa pressão atmosférica associada a uma corrente intensa de vento em níveis médios e altos da atmosfera (CAVALCANTI et al., 2010), contribuiu para a instabilidade climática na região. Esse cenário foi agravado por um corredor de umidade proveniente da Amazônia, que intensificou as chuvas. Outro fator crítico foi o fenômeno El Niño, que, apesar de ter terminado em abril de 2024, teve um impacto prolongado no clima global. O El Niño, ao aquecer a superfície do Oceano Pacífico, adicionou calor extra à atmosfera, elevando as temperaturas globais e intensificando os eventos climáticos extremos (CLARKE et al., 2024).

De acordo com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (2024), a combinação desses fatores criou as condições perfeitas para que o Rio Grande do Sul enfrentasse o maior volume de chuva já registrado em sua história. Neste contexto, a Figura 4 ilustra o volume acumulado de precipitação registrada no estado, identificando as regiões mais severamente afetadas por esse evento catastrófico. A legenda da figura, que varia de branco (representando 0 mm) na extrema esquerda até preto (equivalendo a 200 mm) na extrema direita, indica o aumento da quantidade de precipitação acumulada em milímetros ao longo da escala.

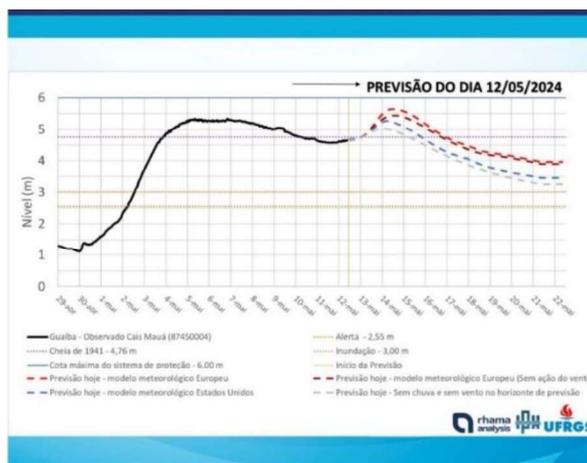
Figura 4: Mapa de Precipitação Acumulada no RS



(Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2024)

Conforme demonstrado na Figura 5, extraída do relatório elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH, 2024), com base na combinação de observações de chuva e vazão dos rios, além de modelos de previsão meteorológica, hidrológica e hidrodinâmica, os dados confirmam que o nível do Guaíba superou a cota de cheia histórica registrada em 1941, tornando-se o maior nível já registrado. Além de sua intensidade, essa cheia se destacou também pela longa duração, exacerbando os impactos sobre a região afetada.

Figura 5: Nível d'água no Guaíba



(Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 2024)

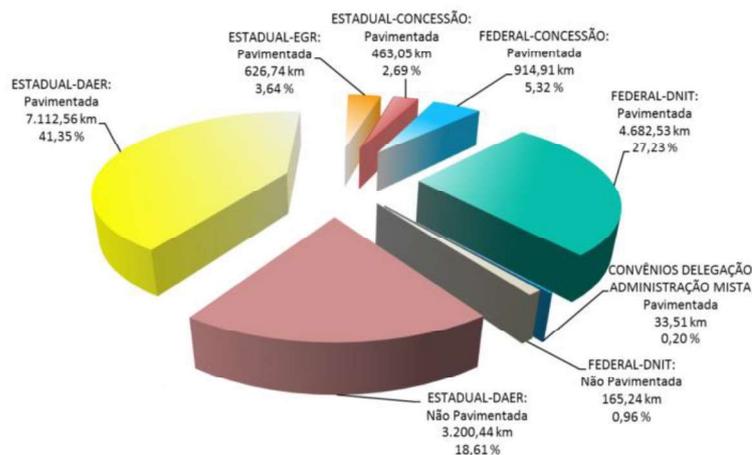
2.4 Malha Rodoviária Estadual

A malha rodoviária do Rio Grande do Sul possui função essencial no desenvolvimento socioeconômico do estado, conectando diversas regiões e facilitando o fluxo de pessoas, bens e serviços. O estado é cortado por uma extensa rede de rodovias que se dividem em rodovias federais, estaduais e municipais. As rodovias federais são responsáveis pela conexão do Rio Grande do Sul com outras unidades da federação, enquanto as rodovias estaduais desempenham um papel crucial na integração regional, ligando cidades e zonas rurais, e viabilizando o escoamento da produção agrícola, industrial e pecuária, que são pilares da economia do estado. Já as rodovias municipais, embora de menor porte, têm uma função importante no acesso local e na conexão entre os centros urbanos e as áreas rurais, facilitando o transporte de mercadorias e a mobilidade da população dentro dos municípios.

No entanto, a malha rodoviária do estado enfrenta desafios significativos, incluindo a deterioração de pavimentos devido ao alto volume de tráfego pesado, insuficiência de investimentos em manutenção e, mais recentemente, os impactos severos de eventos climáticos extremos, como as chuvas intensas ocorridas ao longo do ano de 2023 e em meados de 2024.

Com base nos dados fornecidos pelo Sistema Rodoviário Estadual (SRE), datado de abril de 2024, desenvolvido pela Equipe de Cadastro e Cartografia da Superintendência de Programação Rodoviária do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), é possível verificar a extensão da malha rodoviária estadual e federal no Rio Grande do Sul. Na figura 6, são ilustradas as extensões totais das rodovias, relacionando-as com os órgãos responsáveis por sua administração. Ressalta-se, entretanto, que as rodovias planejadas e as travessias urbanas sob administração municipal não foram consideradas.

Figura 6: Composição da Malha Rodoviária Estadual



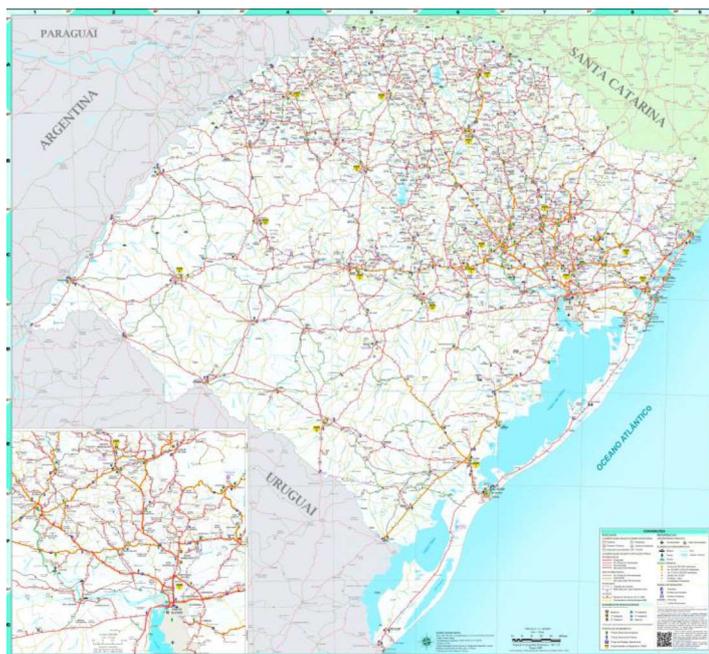
(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

Esta rede viária é estrategicamente distribuída para integrar as diversas regiões do estado e conectar com o restante do país e o Mercosul. A partir da capital, Porto Alegre, as rodovias principais formam um eixo central que se ramifica para o interior, abrangendo áreas urbanas, rurais e industriais, facilitando o escoamento da produção agropecuária e a conexão com polos industriais e comerciais. A rede também garante acesso a áreas de fronteira com o Uruguai e a Argentina, promovendo o comércio internacional e assegurando que mesmo os municípios menores e áreas rurais tenham acesso às principais vias de transporte.

A operação do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) se realiza por intermédio de dezessete Superintendências Regionais, distribuídas de maneira estratégica por todo o território estadual. Cada superintendência desempenha um importante papel na gestão abrangente das rodovias sob sua circunscrição, abordando aspectos fundamentais que incluem a construção, conservação e manutenção dessas vias. Esse modelo descentralizado adotado oferece vantagens significativas, proporcionando uma abordagem eficiente e específica para atender às necessidades singulares de cada localidade. A proximidade das Superintendências Regionais com as comunidades locais permite uma compreensão mais acurada das demandas regionais, facilitando a tomada de decisões direcionadas e a implementação de soluções personalizadas.

Em consonância com isso, o mapa rodoviário estadual, apresentado na Figura 7, proporciona uma visualização mais clara da extensão e distribuição das rodovias do estado, de forma que através deste recurso cartográfico fica explicitado o modelo descentralizado da gestão rodoviária e evidencia as principais rotas, conexões regionais e a integração com o sistema rodoviário nacional e internacional.

Figura 7: Mapa Rodoviário do Rio Grande do Sul



(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2023)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo estão descritas abordagens metodológicas utilizadas para adequada realização de análise da recuperação da infraestrutura viária do Rio Grande do Sul após o evento climático extremo de 2024, abrangendo os procedimentos de pesquisa e apresentando as etapas para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Método de Pesquisa

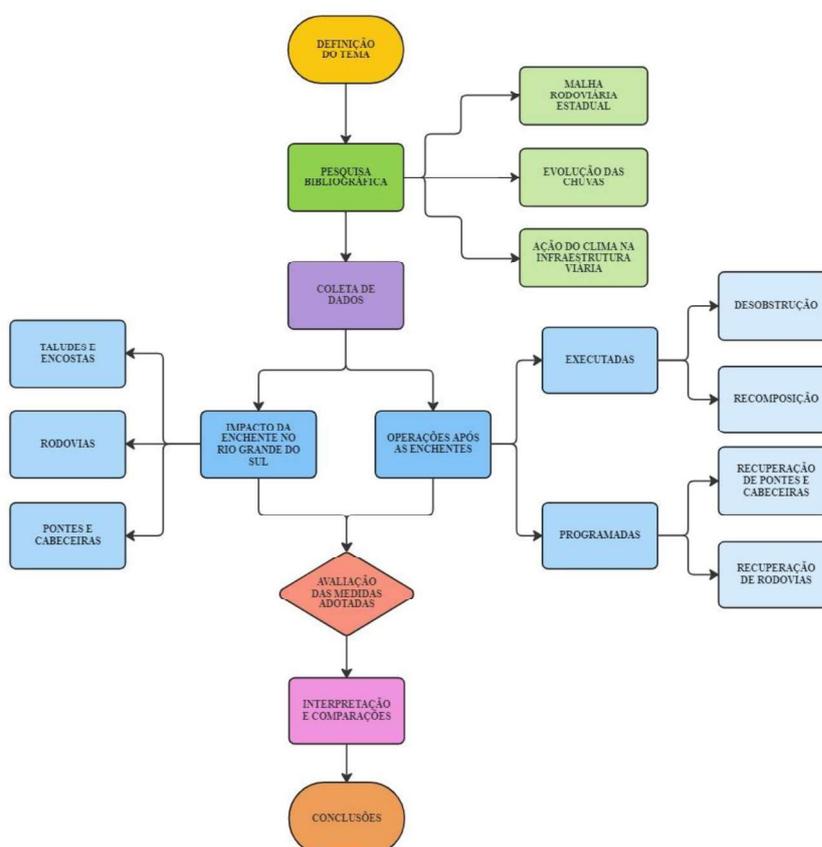
O método de pesquisa adotado para o desenvolvimento deste trabalho possui um caráter aplicado, pois visa diretamente a análise prática da recuperação da infraestrutura viária do estado do Rio Grande do Sul após os eventos climáticos extremos ocorridos em 2024. A fundamentação teórica do estudo baseou-se em diversas fontes de informações, sendo utilizados dados emitidos por institutos especializados, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que forneceram estatísticas e relatórios climáticos essenciais para entender o impacto das inundações. Além disso, o trabalho se apoiou em artigos científicos internacionais que relataram e analisaram situações semelhantes, permitindo a comparação de estratégias e resultados em contextos globais. Relatórios técnicos emitidos por órgãos diretamente envolvidos nos esforços de recuperação, como o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), também foram fundamentais para avaliar as medidas de reconstrução e mitigação implementadas no Estado. Este conjunto de referências e dados robustos assegura que a análise seja tanto fundamentada quanto relevante para a aplicação prática.

3.2 Método de Trabalho

A definição do tema deu-se pelos recentes acontecimentos climáticos extremos e pelos prognósticos que indicam a intensificação desses eventos no futuro, de forma que a análise detalhada do ocorrido, bem como a busca por soluções, reveste-se de grande importância para a sociedade, contribuindo de maneira significativa para a formulação de estratégias mais eficazes de recuperação e mitigação de danos futuros. Após esta definição, foram iniciadas pesquisas aprofundadas sobre os dados disponíveis a respeito da evolução das chuvas nos últimos anos no Brasil e, especificamente, no Rio Grande do Sul. Esses dados foram coletados e correlacionados aos impactos na infraestrutura viária, utilizando como referência artigos e análises de países que enfrentaram situações semelhantes e que estabeleceram protocolos específicos para lidar com tais desafios.

A descrição das etapas da metodologia de trabalho, que detalha os procedimentos metodológicos adotados, foi organizada e apresentada no fluxograma de atividades ilustrado na Figura 8. Esse fluxograma sintetiza as principais fases do estudo, desde a coleta de dados e análise até a aplicação dos métodos e protocolos, proporcionando uma visão geral estruturada dos procedimentos utilizados.

Figura 8: Fluxograma da pesquisa



(Fonte: Autor, 2024)

A análise dessa vasta gama de informações permitiu identificar boas práticas de engenharia e gestão que podem ser adaptadas ao contexto local. Além disso, a adaptação e aplicação de conhecimentos presentes na literatura internacional para a realidade do Rio Grande do Sul e do Brasil proporcionam uma contribuição significativa para o desenvolvimento de políticas públicas e práticas de infraestrutura mais avançadas, auxiliando na formulação de estratégias que possam reduzir danos futuros em um cenário de mudanças climáticas crescentes.

3.3 Delimitação da área de abrangência da análise

A delimitação da área de abrangência da análise foi estabelecida com base na magnitude do impacto e na gravidade dos danos causados pela enchente no estado do Rio Grande do Sul. Nesse sentido, as regiões das superintendências regionais mais afetadas foram selecionadas para uma investigação aprofundada, visando obter um diagnóstico mais preciso dos danos e uma avaliação detalhada das estratégias adotadas para a recuperação. As superintendências analisadas incluem: Esteio, Bento Gonçalves, Santa Cruz do Sul, Santa Maria, Passo Fundo, Alegrete, Cachoeira do Sul, Lajeado, Erechim, São Francisco de Paula e Osório. A seleção dessas áreas considera a severidade dos danos em rodovias e infraestruturas viárias, sendo essas as regiões que exigem intervenções mais imediatas e significativas.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, são apresentados e analisados os impactos provocados pela enchente na infraestrutura viária do Rio Grande do Sul, com uma abordagem detalhada das diferentes tipologias de danos registrados nas rodovias estaduais. Foi explorada a extensão dos prejuízos causados às rodovias, pontes, encostas e outras estruturas relacionadas, enfatizando a complexidade do cenário enfrentado. Além de documentar os danos, aborda-se as medidas adotadas pelos órgãos responsáveis pelo gerenciamento dessas rodovias, bem como são descritas as ações já executadas para restabelecer a trafegabilidade e a segurança, as intervenções em curso e os projetos que se encontram em planejamento para futuras implementações. Essas informações foram obtidas a partir de relatórios técnicos e boletins periódicos elaborados pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem e publicados, em parceria com a Secretaria de Logística e Transportes do Estado, em seus sítios eletrônicos. As medidas analisadas refletem a complexidade do contexto, ressaltando a importância de uma resposta rápida e eficaz para minimizar os impactos sobre a população e a economia regional.

Adicionalmente, realiza-se uma correlação entre as diretrizes e práticas adotadas no Rio Grande do Sul e as propostas em estudos internacionais, especialmente em regiões que enfrentaram

situações semelhantes, discutindo protocolos e abordagens recomendadas por pesquisas de outras partes do mundo, que podem servir como referência para a adaptação e aprimoramento das estratégias locais. Este esforço de análise comparativa visa não apenas compreender o alcance das medidas tomadas, mas também identificar oportunidades de melhoria e inovação no enfrentamento de crises climáticas futuras.

4.1 Impacto da Enchente na Infraestrutura Viária do Rio Grande do Sul

Conforme relatório técnico emitido pela Secretaria de Logística e Transportes do Estado (2024), os danos causados pelas precipitações históricas que atingiram as rodovias do estado têm sido inúmeros e diversos. O Rio Grande do Sul foi assolado por uma catástrofe climática sem precedentes, marcada por chuvas intensas que resultaram em inundações, deslizamentos e danos significativos à rede viária em inúmeras regiões. Durante esse período, as precipitações provocaram alagamentos generalizados, que forçaram evacuações emergenciais e causaram estragos consideráveis em rodovias e pontes, interrompendo o tráfego e isolando diversas comunidades.

O impacto dessas enchentes na infraestrutura do Estado possui proporções alarmantes, afetando diretamente a mobilidade e a segurança da população. As rodovias, que são as principais artérias de transporte de bens e pessoas, tornaram-se intransitáveis em várias áreas, comprometendo o abastecimento de suprimentos essenciais e dificultando o acesso a serviços de emergência e socorro. As interrupções no tráfego geraram um efeito cascata, afetando a economia local, uma vez que o transporte de produtos agrícolas, industriais e outras mercadorias foi severamente prejudicado.

Este evento acarretou em danos severos à malha rodoviária do estado, com registros significativos de escorregamento de taludes, deslizamento de encostas, ruptura dos pavimentos, além do colapso de pontes e suas cabeceiras, conforme detalhado a seguir. As comunidades isoladas pelas interrupções nas rodovias enfrentaram dificuldades adicionais, como a falta de acesso a cuidados médicos, alimentos e outros recursos vitais. A restauração dessas vias está em curso, com prioridade urgente, não apenas para restabelecer a conectividade, mas também para garantir a recuperação econômica e social das regiões afetadas.

4.1.1 Escorregamento de Taludes

Durante o recente evento, o escorregamento de taludes se destacou como um dos problemas mais críticos enfrentados. Esse fenômeno geológico resultou em uma deterioração significativa

das encostas, comprometendo a estabilidade das vias e colocando em risco a segurança dos usuários. Este fenômeno ocorre quando a proteção natural do solo é removida ou enfraquecida, devido a chuvas intensas e prolongadas, que levam à perda de sedimentação e ao colapso das encostas (MIRANDA, 2018).

Em várias rodovias do estado, a extensão do problema foi tão severa que afetou a integridade estrutural das vias, criando pontos críticos que necessitam de atenção urgente. A Figura 9, que se refere às rodovias ERS-491 e ERS-020, ilustram exemplos representativos da situação de erosão de taludes. As imagens destacam a gravidade dos escorregamentos ocorridos e evidenciam como a deterioração dos taludes pode comprometer a segurança viária.

Figura 9: Escorregamento de taludes: (a) rodovia ERS-491; (b) rodovia ERS-020



(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

4.1.2 Deslizamento de Encostas

Outro problema significativo registrado em diversas rodovias foi o deslizamento de encostas. Esse fenômeno resultou no colapso de partes das encostas adjacentes às vias. O deslizamento de encostas não só danificou a estrutura das rodovias, como também interrompeu o tráfego e aumentou o risco de acidentes.

Os deslizamentos foram exacerbados pela saturação do solo, resultante das chuvas intensas, que enfraqueceu a coesão das camadas de terra e facilitou o deslizamento. Em diversos casos, isso levou a bloqueios significativos e a uma deterioração geral da segurança das rodovias. A Figura 10, que se refere às rodovias ERS-452 e ERS-448, ilustram a extensão desses deslizamentos e seus impactos.

Figura 10: Deslizamento de encostas: (a) rodovia ERS-452; (b) rodovia ERS-448



(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

4.1.3 Ruptura dos pavimentos

Dentre os principais problemas observados, os severos danos causados aos pavimentos das rodovias resultaram em problemas críticos, com colapsos totais e parciais das vias, além do deslocamento significativo do revestimento asfáltico. A saturação do solo, combinada com a pressão das águas, causou a perda de aderência entre o revestimento e a base da via. As chuvas intensas e prolongadas levaram ao acúmulo de água sobre os pavimentos, aumentando a pressão interna nas camadas inferiores, o que acelerou a deterioração das camadas estruturais e provocou o deslocamento de grandes trechos do revestimento, culminando no colapso estrutural do pavimento.

Em muitos trechos, essa situação resultou em colapsos totais, com grandes segmentos da via sendo destruídos e tornando essas áreas intransitáveis, necessitando de reparos extensivos. Além disso, ocorreram frequentes colapsos parciais, onde áreas menores do pavimento cederam, formando buracos e desníveis que representam graves riscos à segurança dos motoristas. Esses problemas estruturais dos pavimentos estão ilustrados na Figura 11.

Figura 11: Ruptura dos pavimentos: (a) rodovia ERS-640; (b) rodovia ERS-804



(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

4.1.4 Colapso de pontes e cabeceiras

Outro registro significativo foi o colapso de diversas obras de arte especiais, incluindo pontes e suas cabeceiras, resultando em graves danos aos sistemas de transporte. As chuvas intensas e o aumento abrupto do nível dos rios geraram uma força destrutiva que comprometeu a estabilidade de muitas pontes. A elevada vazão das águas resultou em erosão acentuada das fundações e das cabeceiras das pontes, levando a colapsos parciais ou totais das estruturas. Em muitos casos, as cabeceiras foram arrastadas ou severamente danificadas, comprometendo a integridade das fundações e, conseqüentemente, a segurança das pontes. Além da erosão, o impacto das águas também provocou o deslocamento e a ruptura de componentes essenciais das pontes, como vigas e suportes. Esse tipo de dano não só interrompeu a continuidade das vias, como também impôs desafios significativos para a engenharia e a reconstrução das estruturas afetadas.

O colapso de pontes e cabeceiras tem um efeito devastador na mobilidade regional, interrompendo rotas cruciais e exigindo a implementação de soluções alternativas para garantir a continuidade do tráfego e a segurança dos usuários. Exemplos significativos desses impactos incluem o colapso total da Ponte da Integração, sobre o Rio Três Forquilhas, localizada na rodovia ERS-417, e a queda da cabeceira da Ponte das Tunas, sobre o Rio Vacacaí, na rodovia ERS-149, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Colapso de pontes e cabeceiras: (a) Ponte da Integração; (b) Ponte das Tunas



(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

4.2 Operações imediatas

A atuação dos órgãos estaduais e federais nas rodovias após, e em alguns casos durante, as enchentes foi essencial para a mitigação dos impactos na infraestrutura viária e na segurança da população. Esse esforço de resposta se alinha a diretrizes internacionais que buscam otimizar a avaliação e a reparação de rodovias danificadas por inundações, como as apresentadas no estudo desenvolvido pelo Centro de Pesquisa em Transportes da Louisiana (TAO e MALLICK, 2020).

A resposta à crise provocada por estes eventos climáticos extremos envolveu a criação de um gabinete de crise, reunindo profissionais de diversas áreas, incluindo a Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Brigada Militar e especialistas em Meio Ambiente e Infraestrutura. Este gabinete foi fundamental para desenvolver a melhor tática para enfrentar a situação que se instaurou no território estadual, garantindo que as ações de recuperação fossem coordenadas e eficazes. A implementação de estratégias baseadas em protocolos internacionais auxilia para garantir que os danos sejam avaliados e tratados de forma eficiente, assegurando a retomada rápida e segura da mobilidade e da funcionalidade das rodovias no estado.

Diante da situação instaurada no território e em resposta a essa crise, as operações emergenciais foram ativadas de maneira imediata logo após uma análise preliminar dos danos. O objetivo principal dessas ações era restabelecer a trafegabilidade e a funcionalidade das vias afetadas, que são cruciais para a segurança da população. A desobstrução de rodovias foi uma das primeiras medidas adotadas, visando liberar acessos bloqueados por deslizamentos de terra, pedras, árvores caídas e alagamentos, o que permitiu a retomada do tráfego em trechos críticos.

Os serviços de desobstrução de vias foram conduzidos com máxima urgência, priorizando aquelas que serviriam como rotas estratégicas para veículos de emergência. A importância dessas rotas foi essencial para garantir o rápido deslocamento de ambulâncias, caminhões de bombeiros, e outros veículos de socorro, que precisavam acessar as áreas mais afetadas pela catástrofe, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Desobstrução de vias: (a) rodovia ERS-421; (b) rodovia ERS-431



(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

Outro serviço executado logo após a enchente, à medida que o nível da água recuou e as rodovias deixaram de estar submersas, foi a recomposição dos pontos afetados, permitindo o restabelecimento do tráfego. Esses serviços incluíram o enrocamento com pedra para reconstruir a estrutura das vias comprometidas pela ação das águas. Dependendo das condições do terreno e da gravidade dos danos, foram aplicadas diferentes metodologias, como a

utilização de camadas de base de brita graduada seguida de uma camada de revestimento asfáltico, visando assegurar a estabilidade e durabilidade das vias. Esse trabalho é visível na Figura 14, que ilustra as operações de recomposição nas rodovias ERS-511 e ERS-149.

Figura 14: Recomposição das rodovias: (a) rodovia ERS-511; (b) rodovia ERS-149



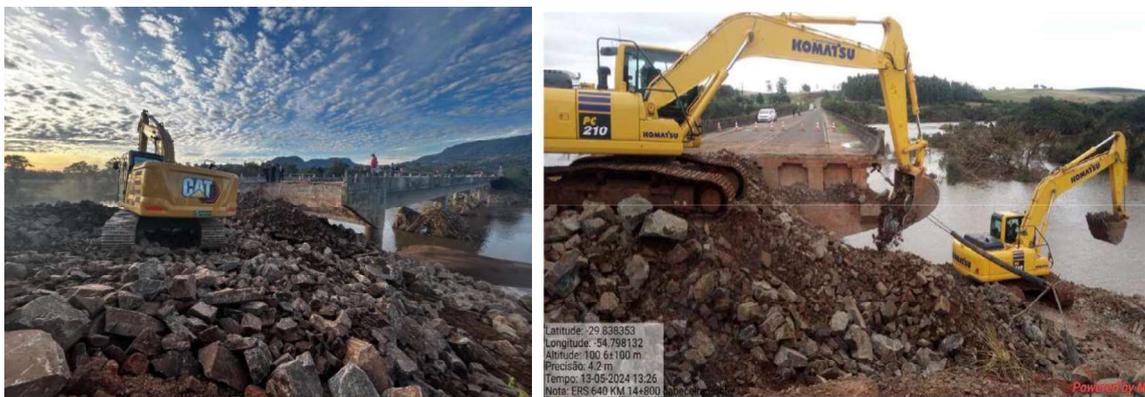
(a)

(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

Em continuidade aos serviços de restabelecimento da trafegabilidade das vias, a recuperação e recomposição das cabeceiras de pontes que sofreram avarias devido às enchentes revelou-se uma das atividades mais críticas e desafiadoras, como pode ser observado na Figura 15. As cabeceiras, que suportam uma parte significativa da estrutura de uma ponte, foram severamente comprometidas pela força das águas, exigindo uma resposta rápida e eficaz para evitar o colapso total das estruturas. Essas intervenções foram fundamentais não apenas para restaurar a segurança e a funcionalidade das pontes, mas também para garantir a conectividade das regiões afetadas, onde muitas comunidades dependem dessas passagens para acesso a serviços essenciais, como saúde, educação e abastecimento. A ausência ou comprometimento dessas pontes poderia isolar ainda mais as áreas já duramente atingidas, agravando a crise e dificultando os esforços de recuperação.

Figura 15: Recuperação de cabeceiras: (a) ponte sobre o Rio Soturno; (b) ponte sobre o Rio Ibucuí



(a)

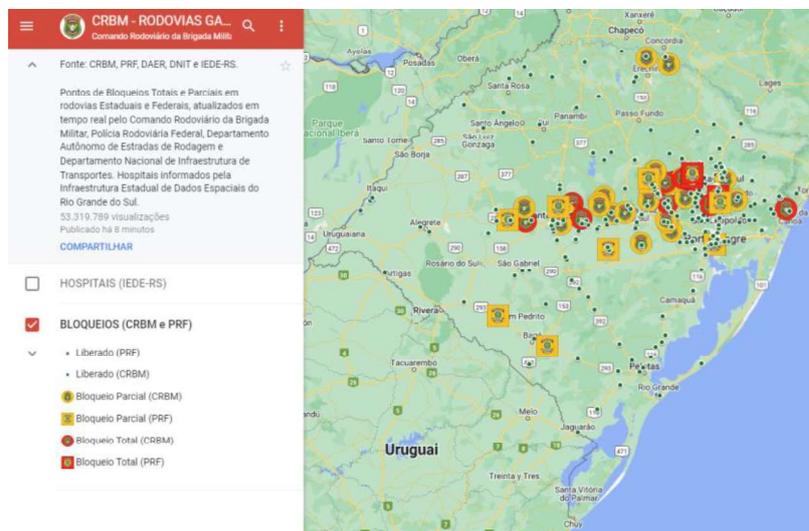
(b)

(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

Paralelamente às operações de recuperação após a enchente, equipes técnicas trabalharam para restituir a segurança viária, reforçando estruturas comprometidas e implementando sinalizações temporárias para orientar motoristas e evitar acidentes em áreas ainda sob risco. Um aspecto fundamental desse trabalho foi a sinalização dos trechos interditados devido a problemas na infraestrutura, o que foi crucial para prevenir novos acidentes e garantir a segurança dos usuários em meio às condições adversas. A sinalização adequada dos pontos críticos permitiu alertar motoristas sobre as interdições e as condições perigosas das vias, minimizando o risco de incidentes adicionais.

Um mapa virtual (Figura 16) foi desenvolvido em parceria entre o DAER, o Comando Rodoviário da Brigada Militar (CRBM), a Polícia Rodoviária Federal (PRF), e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), detalhando os bloqueios em rodovias estaduais e federais, além de sugerir rotas alternativas. No momento mais agudo da crise, o mapa provou ser uma ferramenta crucial para a orientação dos motoristas, já tendo registrado mais de 53 milhões de visualizações. Essa iniciativa destacou a importância da colaboração entre diferentes órgãos e o uso de tecnologia para gerenciar e mitigar os impactos de eventos climáticos extremos no sistema viário.

Figura 16: Mapa de bloqueios nas rodovias



(Fonte: Comando Rodoviário da Brigada Militar, 2024)

A intensidade e a rapidez das ações refletiram a gravidade da situação, onde qualquer atraso poderia ter consequências ainda mais devastadoras, agravando os impactos sobre as comunidades isoladas e comprometendo ainda mais a economia regional, já severamente afetada pela interrupção das principais rotas de transporte. Essa resposta rápida e coordenada não só permitiu a reabertura de vias essenciais, mas também mitigou os riscos de colapsos adicionais, protegendo vidas e reduzindo os danos em um momento crítico para o Estado.

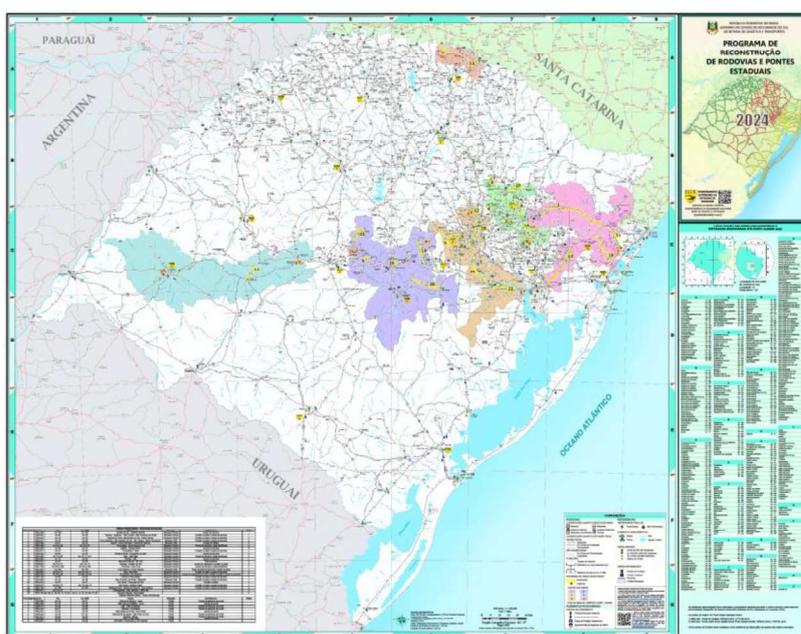
4.3 Operações programadas

Além dos serviços emergenciais que foram executados imediatamente após a enchente para assegurar a mobilidade mínima e mitigar os impactos imediatos, uma série de intervenções complementares serão necessárias visando a recuperação plena da infraestrutura viária do estado. Essas novas ações terão como objetivo não apenas restaurar a trafegabilidade e a segurança nas rodovias afetadas, mas também promover a durabilidade das soluções implementadas, garantindo que as rodovias possam suportar eventos climáticos futuros.

No entanto, para assegurar que essas intervenções atendam de forma eficaz às necessidades da recuperação, é imprescindível uma análise mais detalhada das condições atuais das rodovias, dos tipos de danos e das particularidades de cada trecho. Essa avaliação aprofundada permitirá a elaboração de soluções técnicas mais precisas e adequadas, garantindo que os recursos sejam aplicados de forma eficiente e que as rodovias recuperadas ofereçam segurança e durabilidade no longo prazo.

Deste modo, considerando a amplitude e abrangência dos danos causados à infraestrutura viária do estado pelos eventos climáticos recentes, foi necessária uma avaliação cautelosa da tipologia dos estragos e uma subsequente classificação dos mesmos. Com base nessa análise, o território estadual foi subdividido em seis blocos, conforme ilustrado na Figura 17. Essa divisão estratégica visa otimizar as ações de recuperação e garantir que as intervenções sejam direcionadas de forma eficiente (DAER, 2024).

Figura 17: Mapa de reconstrução



(Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

Conforme observado no mapa de reconstrução (Figura 17), que delimita os blocos de rodovias mais impactados e que necessitarão de reparos mais significativos, é possível estabelecer uma correlação direta com o mapa de precipitação acumulada (Figura 4), o qual ilustra o volume total de precipitação registrado no estado. Os pontos destacados em ambos os mapas apresentam uma clara convergência, evidenciando que as regiões mais afetadas pelas chuvas coincidem com as áreas de maior dano nas rodovias.

Devido às limitações na capacidade operacional e na alocação de recursos governamentais, técnicos da Superintendência de Pesquisas Rodoviárias do DAER realizaram uma análise preliminar dos impactos e do grau de severidade dos danos causados pela enchente, considerando também a relevância das rodovias dentro da dinâmica rodoviária estadual. Com base no Relatório Gerencial de Priorização do Programa de Reconstrução e Recuperação de Rodovias Pós Calamidade (2024), foram elencadas as rodovias estaduais prioritárias, conforme relacionados na Tabela 1.

Tabela 1: Relação de Rodovias Estaduais Prioritárias

Rodovias Estaduais Prioritárias					
Blocos	Rodovia	Tipo	Extensão (km)	Trecho	Superintendência Regional
I	RSC-453	Pavimentada	99,45	Caxias do Sul - Lajeado Grande	Bento Gonçalves
	ERS-020N	Pavimentada	16,26	Taquara - Acesso Três Coroas	São Francisco de Paula
	ERS-020S	Pavimentada	44,88	Gravatá - Santo Antônio da Patrulha	Esteio
	ERS-486	Pavimentada	66,67	Entr. ERS-020 (p/Tainhas) - Entr. ERS-389 (p/ Capão da Canoa)	Osório
	ERS-484	Não Pavimentada	44,48	São Francisco de Paula - Maquiné	São Francisco de Paula
II	ERS-444	Pavimentada	13,28	Monte Belo do Sul - Santa Tereza	Bento Gonçalves
	ERS-431	Pavimentada	22,85	Dois Lajeados - São Valentim do Sul - Sta. Tereza - Bento Gonçalves	Bento Gonçalves
	ERS-448	Pavimentada	38,86	Farroupilha - Nova Roma do Sul	Bento Gonçalves
	ERS-452	Pavimentada	27,52	Feliz - Vale Real	Bento Gonçalves
	VRS-826	Pavimentada	19,56	Feliz - Alto Feliz	Bento Gonçalves
ERS-437	Não Pavimentada	23,55	Vila Flores - Antônio Prado	Passo Fundo	
III	ERS-421	Pavimentada	42,99	Forquethina - Sério	Lajeado
	ERS-422	Não Pavimentada	36,15	Venâncio Aires - Boqueirão do Leão	Santa Cruz do Sul
	ERS-332	Pavimentada	92,01	Encantado - Arvorezinha	Lajeado
	ERS-129	Não Pavimentada	7,91	Colinas - Roca Sales	Lajeado
	ERS-401	Pavimentada	41,19	General Câmara - Pantano Grande	Lajeado
	ERS-130	Não Pavimentada	63,70	General Câmara - Cruzeiro do Sul	Lajeado
IV	ERS-348	Pavimentada	12,53	Agudo - Dona Francisca - Faxinal do Soturno	Cachoeira do Sul
	RSC-153	Pavimentada	33,71	Herveiras - Vera Cruz	Cachoeira do Sul
	RSC-481	Pavimentada	12,50	Cerro Branco - Novo Cabrais	Cachoeira do Sul
	ERS-403	Não Pavimentada	40,94	Cachoeira do Sul - Rio Pardo	Cachoeira do Sul
	ERS-149	Não Pavimentada	27,70	Restinga Seca - Faxinal do Soturno - Nova Palma	Santa Maria
V	ERS-640	Pavimentada	64,23	Cacequi - Rosário do Sul	Alegrete
VI	ERS-420	Pavimentada	1,00	Aratiba - Divisa RS/SC	Erechim
	ERS-491	Pavimentada	0,93	Marcelino Ramos - BR-153	Erechim

(Fonte: Adaptado de Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, 2024)

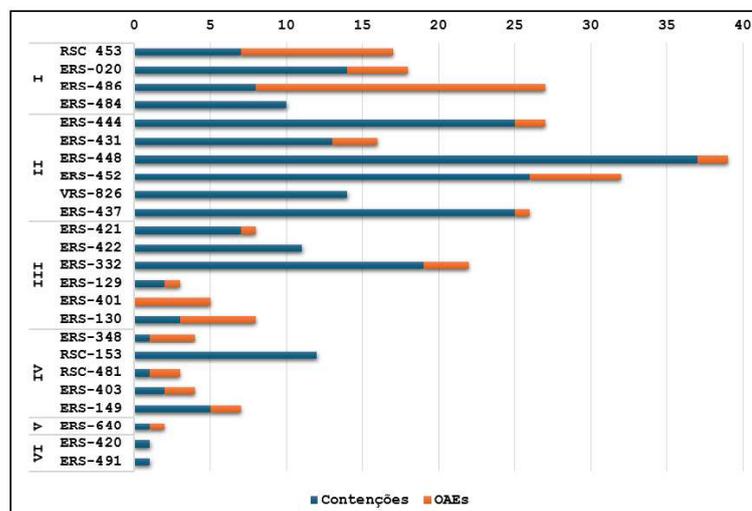
Desta forma, para enfrentar os desafios apresentados pelas inúmeras patologias registradas, a Diretoria de Infraestrutura Rodoviária do DAER, em parceria com empresas consultoras detentoras de Contratos de Apoio Técnico (CAT), está desenvolvendo anteprojetos específicos para a execução dos serviços de recuperação das rodovias afetadas. O foco inicial é restaurar as condições essenciais de segurança e trafegabilidade nas vias impactadas pelas intensas precipitações. Em um segundo momento, o objetivo será a completa restauração do pavimento, restabelecendo a integridade estrutural das rodovias. Ressalta-se que esses anteprojetos se encontram em fase de elaboração e aprimoramento, passando por ajustes técnicos e análises detalhadas para sua conclusão e definição final.

O desenvolvimento desses anteprojetos envolve uma avaliação detalhada das condições das rodovias, a definição de intervenções prioritárias, a elaboração de modelos de execução e a estimativa de custos, visando garantir um sistema viário seguro e eficiente, além de preparar o estado para enfrentar desafios climáticos futuros. Para isso, foram realizados estudos preliminares que incluíram análise de tráfego elementar para avaliar as demandas de uso, estudos geológicos e geotécnicos simplificados para verificar as condições do solo e encostas, estudos topográficos com levantamento planialtimétrico georreferenciado por meio de aerolevanteamento, bem como avaliações hidrológicas para analisar o impacto das chuvas nas estruturas viárias e planejar soluções de recuperação adequadas.

Ao longo destes levantamentos realizados pelas equipes técnicas em campo, além de identificarem múltiplos problemas nos pavimentos, que totalizam aproximadamente 900 quilômetros de vias com registros pontuais e prolongados de danos, as principais ocorrências registradas envolveram as obras de arte especiais, como pontes e suas cabeceiras, além de pontos críticos de deslizamentos e escorregamentos de terra, bem como quedas de barreiras.

Os quantitativos desses registros relacionados a obras de arte especiais e contenções foram compilados a partir de dados disponibilizados pelo DAER (2024), e estão apresentados de forma concisa na Figura 18, ilustrando a distribuição dos danos por bloco de rodovias prioritárias descritas na Tabela 1. Quanto aos pavimentos, ainda não estão disponíveis as quantidades exatas de quilômetros que terão execução de serviços, em razão da pluralidade de casos distribuídos ao longo da malha rodoviária. Além disso, as análises e levantamentos ainda estão em fase de avaliação e quantificação, o que impede a definição precisa da quantificação de intervenções.

Figura 18: Quantidade de obras de arte especiais e contenções



(Fonte: Autor, 2024)

Dentre as diversas soluções propostas para a recuperação das rodovias afetadas, adotou-se uma abordagem multifacetada que considerasse as especificidades de cada trecho analisado e a forma como foram impactados. As intervenções foram planejadas para garantir que as ações adotadas não apenas restaurassem as condições de trafegabilidade e segurança, mas também aprimorassem as vias. Essas soluções integradas, que combinam medidas de contenção, restauração do pavimento e recuperação de obras de arte especiais, foram elaboradas para garantir a durabilidade e a segurança das rodovias no longo prazo. Ao abordar as particularidades de cada trecho impactado, as intervenções visam não apenas restabelecer a funcionalidade imediata das vias, mas também criar uma infraestrutura mais robusta e preparada para enfrentar desafios climáticos futuros.

4.3.1 Soluções propostas para restauração do pavimento

Inúmeras patologias de pavimento, como trincas do tipo “couro de jacaré”, buracos e desgaste causado por intempéries, foram identificadas em vários trechos rodoviários, exigindo intervenções. Para a restauração dessas áreas danificadas, serão realizados serviços que incluem reparos localizados e superficiais, bem como reparos profundos, fresagem, reperfilagem e recapeamento com camadas de novo pavimento. Em trechos com deterioração mais severa, o pavimento precisará ser totalmente reconstruído, com serviços que incluem a regularização do subleito, a aplicação de uma sub-base de macadame seco, a construção de uma base de brita graduada, imprimação e a colocação de um novo revestimento asfáltico.

Os projetos de restauração recomendaram o uso de Asfalto Modificado por Polímero (AMP 60/85) na massa asfáltica. Este material é reconhecido por suportar variações extremas de temperatura e cargas pesadas, oferecendo benefícios como maior resistência e aderência (GUSMÃO, 2009). O AMP 60/85 aumenta a durabilidade do pavimento e contribui para a segurança viária ao proporcionar maior resistência à fadiga e reduzir o risco de deformações permanentes, como trilhas de roda e fissuras (BARROS et al., 2022).

4.3.2. Soluções propostas para contenções

Para estabilizar taludes e prevenir erosões e deslizamentos, foram propostas várias ações específicas. A principal solução envolve a construção de um muro de gabião, uma estrutura flexível e permeável formada por malhas de aço galvanizado preenchidas com pedras, que ajuda a conter deslizamentos (ENDLICH e SILVA, 2019). Este muro será complementado pela conformação do talude em um ângulo adequado para distribuir as forças ao longo da encosta, minimizando o risco de deslizamento, e pela implementação de uma drenagem superficial

eficaz para controlar o fluxo de água, reduzindo a infiltração e prevenindo a erosão (CAVALCANTI, 2017). Além disso, a superfície do talude será protegida com vegetação para auxiliar na retenção do solo e na estabilização do terreno (MIRANDA, 2018).

Em situações de maior gravidade, como a instabilidade causada por intensas chuvas, serão empregadas soluções adicionais como a cortina atirantada e o muro Terrae. A cortina atirantada é um muro de concreto ancorado ao solo por tirantes protendidos, proporcionando alta resistência e suportando cargas significativas. Drenos horizontais e filtros de areia serão instalados para aliviar a pressão hidrostática e garantir a estabilidade de longo prazo (RITTER e MORGADO, 2017; ROSENDO, 2017). O muro Terrae utiliza blocos pré-moldados de concreto vazados preenchidos com brita e reforçados com geogrelhas, oferecendo uma solução ágil e resistente, com a inclusão de dispositivos de drenagem para assegurar o bom desempenho da estrutura (WOLNEY, 2016).

Para casos em que deslizamentos de terra causaram danos estruturais, será adotado o método de construção de um muro de rocha com chaveta de travamento. Esse processo envolve a escavação do talude até uma rocha sã ou base sólida, a instalação de uma chaveta de travamento com pedra detonada e a reconstrução do talude com material pétreo. Drenos profundos, preferencialmente em Polietileno de Alta Densidade (PEAD), serão instalados para drenar a água do maciço, e um sistema de drenagem será projetado no topo do talude para evitar o acúmulo de água, garantindo a estabilidade da estrutura e protegendo a rodovia contra futuros eventos climáticos extremos (DUTRA, 2013; CAVALCANTI, 2017; CARMO et al., 2024).

4.3.3. Soluções propostas para obras de arte especiais

As soluções propostas para as pontes incluem o reforço estrutural das estruturas que apresentaram patologias, especialmente pilares e fundações expostos a processos erosivos. Para proteger essas áreas, será necessária a aplicação de enrocamento e a recomposição dos aterros com material pétreo, conforme as normativas vigentes e os manuais técnicos aplicáveis a esses serviços. Além das intervenções nas estruturas principais, é fundamental atuar nas cabeceiras das pontes, desobstruir os sistemas de drenagem e recuperar elementos de segurança, como guarda-corpos, barreiras New Jersey e defensas metálicas. Está prevista, ainda, a construção de novas pontes, incluindo pontes de várzea elevadas, projetadas para evitar o represamento da água em eventos extremos e a consequente elevação do nível das cheias, mitigando os danos à rodovia e às áreas adjacentes (DNIT, 2010).

4.3.4. Compilação das soluções propostas

Com o objetivo de facilitar a análise das diversas soluções propostas para a recuperação das rodovias afetadas, abrangendo intervenções relacionadas a contenções, restauração de pavimentos e recuperação de obras de arte especiais, foi elaborada a Tabela 2. Essa tabela organiza as soluções de forma sistemática, sintetizando-as de acordo com suas especificidades técnicas e aplicações práticas.

Tabela 2: Resumo das soluções propostas

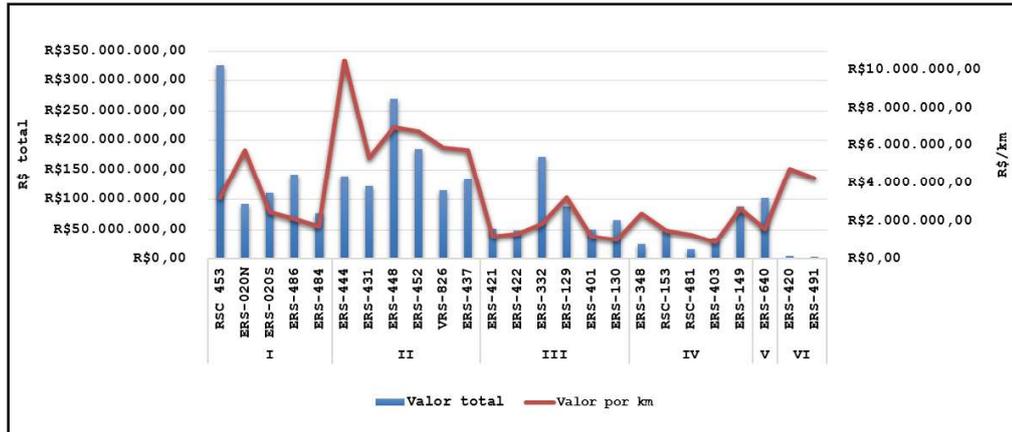
Categoria	Solução Proposta	Benefícios/Objetivos
Pavimentos	Reparos localizados e superficiais	Corrigir danos menores no pavimento
	Reparos profundos, fresagem, reperfilagem e recapeamento	Restaurar a funcionalidade em trechos mais danificados
	Reconstrução completa com regularização do subleito, sub-base e novo revestimento asfáltico	Garantir durabilidade e resistência a variações de temperatura e cargas pesadas
Contenções	Muro de gabião com conformação do talude e drenagem superficial	Conter deslizamentos e estabilizar encostas
	Cortina atirantada com drenos horizontais	Proporcionar alta resistência e estabilidade a encostas
	Muro Terrae com dispositivos de drenagem	Garantir rapidez na execução e estabilidade
	Muro de rocha com chaveta de travamento e drenos profundos	Assegurar estabilidade contra deslizamentos graves
Obras de Arte Especiais	Reforço estrutural de pilares e fundações com enrocamento e recomposição de aterros	Prevenir erosões e reforçar estruturas existentes
	Desobstrução dos sistemas de drenagem	Evitar acúmulo de água e prolongar a vida útil das estruturas
	Construção de pontes elevadas	Minimizar danos durante enchentes e evitar represamento de água

(Fonte: Autor, 2024)

4.3.5. Estimativas de custos

Conforme os levantamentos preliminares realizados e as soluções propostas, os custos estimados para os blocos, assim como o valor por quilômetro, foram compilados a partir dos dados fornecidos pelo DAER (2024) e são apresentados na Figura 19. Essas estimativas de custos foram baseadas no Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do DNIT, e os quantitativos de serviços necessários foram mensurados por meio de levantamento de campo expedito, abrangendo todas as etapas da obra. Esses elementos fornecem uma visão detalhada dos investimentos por trecho, permitindo uma análise comparativa entre os blocos e contribuindo para uma compreensão mais precisa dos recursos financeiros envolvidos.

Figura 19: Estimativa de valores para as obras de recuperação



(Fonte: Autor, 2024)

Na Figura 19 é possível observar a correlação entre os custos totais necessários para a recuperação das rodovias e os valores estimados por quilômetro. Nesse contexto, nota-se uma variação significativa entre as rodovias analisadas, refletindo suas especificidades. Essa variação se deve principalmente à quantidade de serviços relacionados a contenções, obras de arte especiais e recuperação de pavimentos, que apresentam custos significativamente diferentes entre si. As rodovias que demandam intervenções mais complexas, como a construção de contenções e a restauração de pontes e cabeceiras, tendem a ter valores por quilômetro mais elevados em comparação àquelas onde predominam serviços de pavimentação, resultando em disparidades no custo total de recuperação.

Ressalta-se que as demais rodovias que não foram englobadas inicialmente, por não apresentarem problemas de alta gravidade ou por demandarem intervenções menos complexas, serão atendidas de forma diferenciada. Nessas vias, os serviços necessários são mais pontuais e têm um impacto reduzido em comparação com as rodovias prioritárias. Para garantir a manutenção adequada, serão utilizados os contratos contínuos de conservação rotineira. Esses contratos permitem a execução de serviços de manutenção regular, como reparos localizados, revitalização de pavimentos e melhoria de sinalização, assegurando que as rodovias continuem operando em condições seguras e adequadas para o tráfego.

4.4 Correlação entre práticas adotadas no Rio Grande do Sul e internacionalmente

Uma avaliação acerca das medidas adotadas na recuperação da infraestrutura viária do Rio Grande do Sul após fenômenos climáticos severos revela uma forte correlação com as diretrizes e práticas propostas por estudos internacionais, tanto em termos de diagnóstico quanto de implementação de medidas de recuperação. Os estudos internacionais abordados fornecem uma

base sólida para a avaliação e o planejamento das ações, ao mesmo tempo em que destacam desafios específicos e soluções eficazes.

Os estudos realizados por instituições como a Universidade Griffith, na Austrália (SULTANA et al., 2015), e a Universidade de New Hampshire, nos Estados Unidos (AJORLOU et al., 2024), evidenciam a importância de considerar as flutuações na umidade do solo e seus efeitos adversos sobre pavimentos flexíveis após inundações. Essas conclusões se mostram particularmente relevantes para o contexto local, onde eventos de inundação têm gerado deformações significativas nos pavimentos e elevado os custos de manutenção. A experiência do Departamento de Transporte de Iowa, ao analisar os impactos das enchentes do rio Missouri, reforça a necessidade de abordar não apenas danos diretos às rodovias, mas também efeitos em estruturas adjacentes, como diques, bueiros e taludes (VENNAPUSA et al., 2013). Tais lições são úteis para o planejamento integrado das ações de recuperação no Estado, especialmente em áreas onde a proximidade de cursos d'água aumenta o risco de erosão e colapso de estruturas.

No que diz respeito a pontes rodoviárias, o estudo conduzido pelo Centro de Pesquisa em Transportes da Louisiana (TAO e MALLICK, 2020) destaca a vulnerabilidade das fundações e estruturas de suporte expostas a fluxos de água intensos e contínuos. Essa abordagem encontra paralelos no trabalho realizado, onde foram priorizadas intervenções nas fundações de pontes afetadas, incluindo o reforço de pilares, proteção contra erosão com enrocamento e recomposição de aterros. A estabilidade de taludes e encostas após chuvas intensas, tema de estudo no Reino Unido (DIJKSTRA e DIXON, 2010), também é uma preocupação, dada a frequência de deslizamentos observados em regiões montanhosas e áreas costeiras do Rio Grande do Sul.

Ademais, as respostas internacionais a desastres naturais, como o furacão Katrina nos Estados Unidos, os incêndios florestais na Austrália e o terremoto seguido de tsunami no Japão, fornecem exemplos práticos de planejamento e execução de ações pós-catástrofe. Tais eventos evidenciam a importância de estratégias coordenadas que integram avaliações iniciais rápidas, inspeções detalhadas e priorização de recursos, conforme preconizado pelo protocolo do Centro de Pesquisa em Transportes da Louisiana (TAO e MALLICK, 2020). Esse protocolo, é particularmente alinhado às práticas adotadas no Rio Grande do Sul, visto que o Estado tem aplicado metodologias similares para identificar áreas críticas, analisar condições específicas de pavimentos e estruturas, e priorizar intervenções com base em riscos à segurança e mobilidade.

Portanto, a correlação entre as diretrizes internacionais e as práticas implementadas no Rio Grande do Sul não apenas confirma a relevância dos estudos internacionais para o contexto local, mas também aponta para a necessidade de uma adaptação criteriosa dessas estratégias às especificidades climáticas, geológicas e econômicas do Estado. A aplicação de protocolos internacionais, ajustados às condições locais, representa uma abordagem eficaz para maximizar a eficiência das ações de recuperação e garantir a resiliência da infraestrutura viária frente a eventos climáticos extremos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da recuperação da infraestrutura viária do estado do Rio Grande do Sul após o evento climático extremo de 2024, aliada à comparação com abordagens internacionais adotadas por outros países, permitiu identificar boas práticas e estratégias passíveis de adaptação à realidade local. Esses países, com experiência no enfrentamento de desastres naturais em grande escala, oferecem exemplos valiosos de gestão eficiente e técnicas de engenharia que podem ser implementadas no estado, de forma que o foco reside na recuperação e no aprimoramento da infraestrutura, visando aumentar sua resiliência a eventos climáticos futuros.

No contexto do Rio Grande do Sul, a recuperação da malha viária exigiu, além da restauração das condições prévias às enchentes, um planejamento que incluísse a melhoria da infraestrutura para torná-la mais resiliente a eventos climáticos extremos futuros. A adoção de técnicas de engenharia avançadas, como o uso de materiais de maior durabilidade e resistência a variações climáticas, foi uma das soluções propostas para aumentar a durabilidade dos pavimentos e mitigar danos futuros. Além disso, a implementação de sistemas de drenagem mais eficientes, capazes de suportar volumes excepcionais de precipitação, e a elevação de rodovias em áreas propensas a alagamentos, como a construção de pontes elevadas em planícies inundáveis, foram medidas consideradas essenciais.

Comparando com as estratégias internacionais, observou-se que a recuperação no Rio Grande do Sul enfrentou desafios significativos em termos de financiamento e logística, devido às limitações de recursos e à extensa área afetada. Enquanto alguns países contam com fundos federais robustos e protocolos pré-estabelecidos para intervenções rápidas, no contexto estadual, a limitação de recursos financeiros e técnicos adequados restringiu a execução imediata das soluções mais avançadas. No entanto, as adaptações realizadas com base nos protocolos internacionais, ajustadas às condições locais, mostraram-se eficazes dentro das possibilidades disponíveis.

A análise das soluções propostas revela que, embora o foco inicial seja restaurar as condições prévias às enchentes, a experiência levou à adoção de uma abordagem mais preventiva, buscando o aprimoramento da infraestrutura para minimizar os impactos de futuros eventos climáticos. Ainda assim, a implementação dessas medidas preventivas enfrenta obstáculos, como a necessidade de coordenação entre os diferentes órgãos governamentais e a dependência de recursos para viabilizar as obras de grande porte.

Desta forma, conclui-se que, embora a adaptação estadual tenha conseguido implementar soluções dentro de suas limitações, ainda há espaço para o desenvolvimento de políticas mais integradas e contínuas, que priorizem a resiliência viária e a preparação para eventos climáticos extremos. A experiência de 2024 mostrou que a infraestrutura viária precisa ser vista não apenas como um fator de mobilidade, mas também como uma linha de defesa contra desastres naturais, exigindo planejamento e investimento constantes.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em 13 de setembro de 2024.
- AJORLOU, E.; MOUSAVI, S.; GHAYOOMI, M.; DAVE, E. V. **Performance of flooded flexible pavements: A data-driven sensitivity analysis considering soil moisture fluctuations**. *Transportation Geotechnics*. Acton, 2024.
- BARROS, B. H.; NASCIMENTO, E. P.; AMARAL, H.; TENORIO, J. L.; CAVALCANTE, B. **Análise da viabilidade do uso do asfalto modificado com polímero nas vias urbanas de grande tráfego**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Centro Universitário Brasileiro. Recife, 2022.
- CAVALCANTI, I.; FERREIRA, N.; SILVA, M.; DIAS, M. **Dicionário Meteorológico**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2010.
- CAVALCANTI, M. M. **Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017.
- CARDOSO, I. P.; SIQUEIRA, T. M.; TIMM, L. C.; RODRIGUES, A. A.; NUNES, A. B. **Analysis of average annual temperatures and rainfall in southern region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil**. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 57, n. 1, p. 58-71. Rio de Janeiro, 2022.
- CARMO, L.; OLIVEIRA, E. E.; ALMEIDA, R.; MELO, F.; AGNOLETTI, E. **Avaliação do Impacto de Drenagem Superficial na Vida Útil de Pavimentos**. *Nativa – Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso*, v. 13, n.1, p. 77-84. Cuiabá, 2024.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Enchentes no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://educacao.cemaden.gov.br/tag/enchentes-no-rs/>>. Acesso em 5 de setembro de 2024.
- CHAGAS, V.; CHAFFE, P.; BLÖSCHL, G. **Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle**. *Nature Communications*, v. 13, n. 1, p. 5136. Londres, 2022.

CLARKE et al., **Climate change, El Niño and infrastructure failures behind massive floods in southern Brazil**. *Imperial College London - World Weather Attribution*. Londres, 2024.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Composição da Malha Rodoviária**. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/composicao-da-malha>>. Acesso em 9 de setembro de 2024.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Mapa Rodoviário do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/mapas>>. Acesso em 9 de setembro de 2024.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **O impacto da enchente no RS**. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/noticias>>. Acesso em 3 de setembro de 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Publicação IPR 744. Rio de Janeiro, 2010.

DIJKSTRA, T. A.; DIXON, N. **Climate change and slope stability in the UK: challenges and approaches**. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 43, n. 4, p. 371-385. Loughborough, 2010.

DUTRA, V. **Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

ENDLICH, A.; SILVA, M. A. **Utilização de muro de gabião para contenção de encostas**. *Revista Episteme Transversalis*, v. 10, n. 3, p. 140-164. Volta Redonda, 2019.

FEDRIGO, W.; RABELO, R.; COSTA, B.; SOUZA, J.; KLINSKY, L. M. **Considerações sobre os possíveis impactos de eventos climáticos extremos em pavimentos rodoviários: estudo de caso da malha da CCR ViaSul**. 26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) - 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv). Aracaju, 2024.

FERNANDES, L.G.; RODRIGUES, R.R. **Changes in the patterns of extreme rainfall events in southern Brazil**. *International Journal of Climatology*, v. 38, n. 3, p. 1337-1352. Nova Jersey, 2017.

FINOTTI, G.; RIBEIRO, M.; TAVARES, R. **Estruturas de contenção em gabiões para estabilidade de encostas em processos erosivos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2013.

FONSECA, L. **Sistemas de contenção e drenagem para obras de taludes: processo executivo de um trecho na BR-116**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Instituto Politécnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Macaé, 2023.

FONTANETTO, R. **Um estado submerso**. *Revista Pesquisa FAPESP*. Edição impressa nº 340, de junho de 2024. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/chuvas-extremas-falhas-de-prevencao-e-geografia-local-causaram-desastre-no-sul/>>. Acesso em 27 de agosto de 2024.

GOVERNO DA AUSTRÁLIA. **Bushfire Recovery Plan**. Departamento de Infraestrutura, Transporte, Desenvolvimento Regional e Comunicações. Canberra, 2020.

GOVERNO DO JAPÃO. **Great East Japan Earthquake Reconstruction Plan**. Ministério do Território, Infraestrutura, Transportes e Turismo do Japão (MLIT). Kasumigaseki, 2012.

GOVERNO DOS ESTADOS UNIDOS. **Hurricane Katrina in the Gulf Coast: Mitigation Assessment Team Report**. Agência Federal de Gerenciamento de Emergências (FEMA). Washington, 2006.

GUSMÃO, M. **Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero**. Dissertação (mestrado). Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (IPH). **Previsões atualizadas de níveis d'água no Guaíba**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/iph/previsoes-atualizadas-de-niveis-dagua-no-guaiba-domingo-12-05-24-12h/>>. Acesso em 10 de setembro de 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Relatórios anuais de precipitações**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em 10 setembro 2024.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; SILVEIRA, H.; MAN WAI ZEE, D. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil: Cenários e Impactos**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2020.

MIRANDA, L. C. **Técnicas e métodos de proteção e estabilização para controle de erosão em talude de corte**. Revista Científica Semana Acadêmica, v. 148, n. 1. Fortaleza, 2018.

RITTER, M.; MORGADO, R. **Estabilização de taludes com cortina atirantada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Fortificação e Construção). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2017.

RODRIGUES, L. R.; MEDEIROS, L. C. **Aplicações de geossintéticos na geotecnia ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal Rural do Semiárido. Caraúbas, 2019.

ROSENDO, F. **Análise comparativa do dimensionamento de cortina atirantada aplicada em casos de taludes com solos diferentes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, 2017.

SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO (SECOM). **Relatório da situação de municípios atingidos pelas chuvas**. Disponível em: <<https://sosenchentes.rs.gov.br/situacao-nos-municipios>>. Acesso em 10 de setembro de 2024.

SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES (SELT). **Impacto da enchente na infraestrutura viária do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://www.transportes.rs.gov.br/noticias>>. Acesso em 3 de setembro de 2024.

SULTANA, M.; CHAI, G.; MARTIN, T.; CHOWDHURY, S. **A study on the flood affected flexible pavements in Australia**. *9th International Conference on Road and Airfield Pavement Technology*. Melbourne, 2015.

TAO, M.; MALLICK, R. B. **Best Practice for Assessing Roadway Damages Caused by Flooding**. *Louisiana Transportation Research Center*. Baton Rouge, 2020.

VENNAPUSA, P.; WHITE, D.; MILLER, K. **Western Iowa Missouri River Flooding - Geo-Infrastructure Damage Assessment, Repair and Mitigation Strategies**. *Iowa Department of Transportation*. Ames, 2013.

WOLNEY, D. **Dois décadas marcam a evolução dos muros terrae no Brasil**. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, v. 7, n. 74, p. 24-33. São Paulo, 2016.