



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS POSSÍVEIS IMPACTOS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS: ESTUDO DE CASO DA MALHA DA CCR VIASUL

William Fedrigo¹; Rodrigo de Sousa Rabelo¹; Bárbara Ribeiro Costa¹; Jhonnathan Preisner de Souza¹ & Luis Miguel Gutierrez Klinsky¹

RESUMO

As mudanças climáticas representam um enorme risco para a vida humana, a natureza e as estruturas construídas, como os pavimentos rodoviários. Desde o segundo semestre de 2023, o Rio Grande do Sul tem enfrentado eventos climáticos extremos, incluindo ciclones extratropicais e volumes elevados de precipitação, provocando danos significativos de cunho humano ou financeiro. Este artigo visa analisar os possíveis impactos de eventos climáticos extremos em pavimentos rodoviários, utilizando informações oriundas da literatura e dados da malha rodoviária administrada pela concessionária CCR ViaSul como estudo de caso. No estudo, utilizou-se os dados da malha rodoviária (precipitação, defeitos de pavimento e produtividade das equipes de manutenção/restauração), juntamente com registros de danos causados pelos eventos ocorridos no RS durante o segundo semestre de 2023 e o primeiro de 2024, além de observações oriundas de artigos científicos sobre o assunto. Os resultados indicam que os níveis de precipitação foram bastante superiores às médias históricas, resultando em danos visíveis nos pavimentos, especialmente após os eventos de 2024. Isso também ocasionou acréscimo no número de defeitos e redução na produtividade das equipes. A literatura também aponta consistentemente para o risco de impactos substanciais aos pavimentos devido às mudanças climáticas, mesmo quando os danos não são imediatamente evidentes. Portanto, é crucial que se passe a considerar os efeitos de eventos climáticos extremos ao projetar pavimentos e avaliar os riscos associados a esses eventos, dada a tendência à recorrência. Caso contrário, espera-se uma necessidade mais frequente de manutenção/restauração, resultando em custos mais elevados para a infraestrutura rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento rodoviário; Mudança climática; Evento climático extremo; Precipitação; Ciclone extratropical.

ABSTRACT

Climate change poses a huge risk to human life, nature, and built structures such as road pavements. Since 2023, Rio Grande do Sul has been experiencing extreme weather events, including extratropical cyclones and high precipitation volumes, causing significant human or financial damages. This article aims at analyzing the potential impacts of extreme weather events on road pavements, using information from the literature and data from the road network managed by the concessionaire CCR ViaSul as a case study. The study used data from the road network (precipitation, pavement defects, and productivity of maintenance/rehabilitation teams), along with records of damages caused by events occurred in 2023 and 2024, as well as observations from scientific articles on the subject. The results indicate that precipitation levels were higher than historical averages, resulting in visible damages to pavements, especially after the events of 2024. This also led to an increase in the number of pavement defects and a reduction in team productivity. The literature consistently points to the risk of substantial impacts on pavements due to climate change, even when damages are not immediately evident. Therefore, it is crucial to consider the effects of extreme weather events when designing pavements and assessing the risks associated with these events, given their tendency to recur. Otherwise, a more frequent need for maintenance/rehabilitation is expected, resulting in higher costs for the road infrastructure.

KEY WORDS: Road pavement; Climate change; Extreme weather event; Precipitation; Extratropical cyclone.

¹ Grupo CCR, william.fedrigo@grupoccr.com.br; rodrigo.rabelo@grupoccr.com.br; barbara.costa@grupoccr.com.br; jhonnathan.souza@grupoccr.com.br; luis.klinsky@grupoccr.com.br



INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um enorme risco para a vida humana, a natureza e as estruturas construídas. Entre essas estruturas, a malha rodoviária desempenha um papel crucial, garantindo o deslocamento eficiente, seguro e confiável de pessoas, mercadorias e serviços. Essa rede está constantemente exposta às intempéries naturais, tornando-a particularmente suscetível aos impactos das mudanças climáticas.

A integridade estrutural e funcional do pavimento rodoviário é significativamente afetada pelas condições ambientais, embora muitas vezes esses aspectos não sejam considerados nos projetos. As condições climáticas, combinadas com as cargas de tráfego, os materiais de pavimentação utilizados e o regime de manutenção, podem resultar em deterioração e falha do pavimento se não forem adequadamente controladas.

Desde o segundo semestre de 2023, o Estado do Rio Grande do Sul tem enfrentado eventos climáticos extremos, incluindo ciclones extratropicais e volumes elevados de precipitação. Esses eventos provocam, entre outras consequências, inundações e alagamentos, que por sua vez geram danos significativos, sejam eles de cunho humano e financeiro.

Como mencionado, a infraestrutura rodoviária, incluindo o pavimento, é severamente afetada por eventos dessa natureza. Portanto, este artigo visa analisar os possíveis impactos de eventos climáticos extremos nos pavimentos rodoviários, utilizando informações oriundas da literatura e dados respectivos à malha rodoviária administrada pela concessionária CCR ViaSul (rodovias BR-101, BR-290, BR-386 e BR-448) como estudo de caso.

EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS OCORRIDOS NO RS EM 2023

Nesta etapa da pesquisa, foram analisados dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de forma a evidenciar a natureza extrema dos eventos climáticos registrados no RS.

O segundo semestre de 2023 foi excepcionalmente adverso para o Rio Grande do Sul (RS) no que tange a eventos climáticos. A ocorrência de eventos como ciclones extratropicais ocasionando alto volume de chuvas, cheias, alagamentos e ventos de alta velocidade foi amplamente divulgada pela mídia. Especificamente nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, diversos episódios desta natureza foram registrados no estado, levando a prejuízos significativos.

Do ponto de vista das chuvas, o volume de precipitação superou a média em diversas regiões, e em alguns casos, como em Porto Alegre, atingiu marcas históricas. Durante o mês de setembro, foram registrados 447,3 mm, o que corresponde a aproximadamente 300 mm a mais do que a normal climatológica e duas vezes a média histórica (1991-2020) para a região, tendo sido o maior volume registrado em um único mês desde 1916, quando iniciaram-se os registros meteorológicos.

Entre os meses de junho e outubro, o estado enfrentou a incidência de 9 ciclones tropicais, caracterizados por ventos intensos e precipitações pluviométricas volumosas (G1, 2023). Conforme Figura 1, o volume médio de chuvas ao longo do período compreendido entre junho e novembro de 2023 excedeu em 130% a média registrada nos meses de janeiro a maio do mesmo ano.

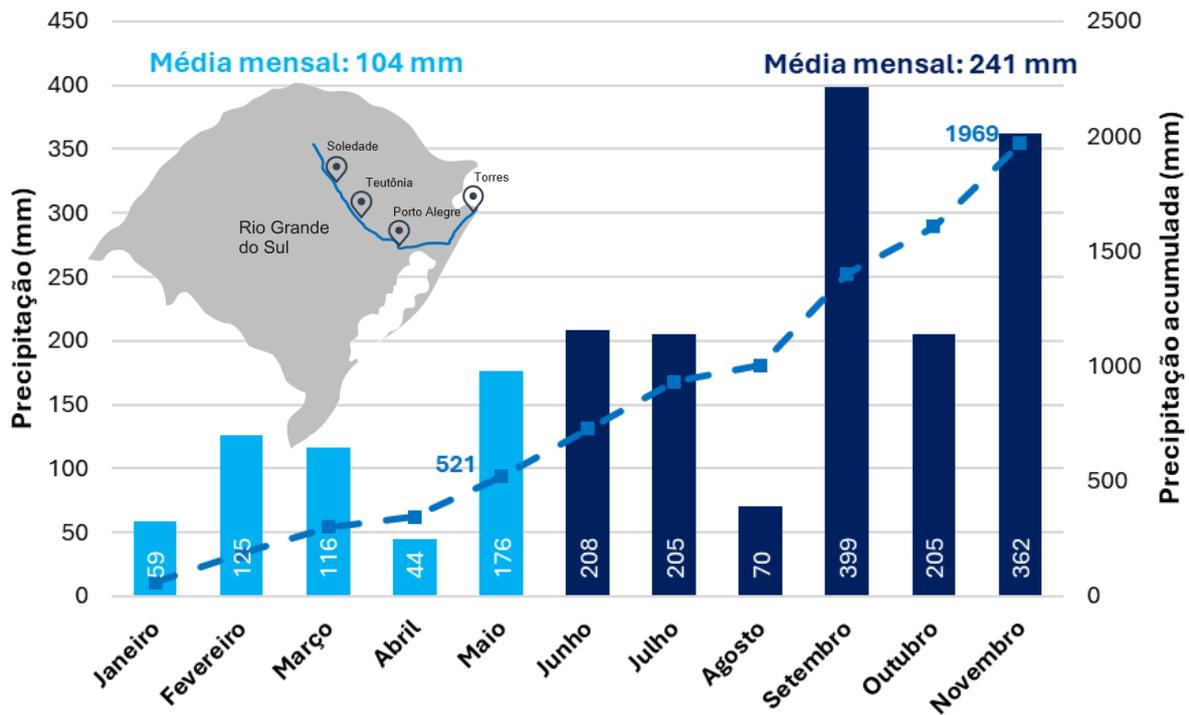


Figura 1. Precipitação registrada na malha da CCR ViaSul em 2023 (Dados: INMET)

Conforme mencionado, particularmente, o mês de setembro destacou-se de maneira preocupante em Porto Alegre, com registros históricos indicando ser este o mês mais chuvoso em um período de 107 anos. Os dados apresentados são do INMET, para as estações ao longo da malha administrada pela CCR ViaSul (Porto Alegre, Soledade, Torres e Teutônia, estação mais próxima à Lajeado).

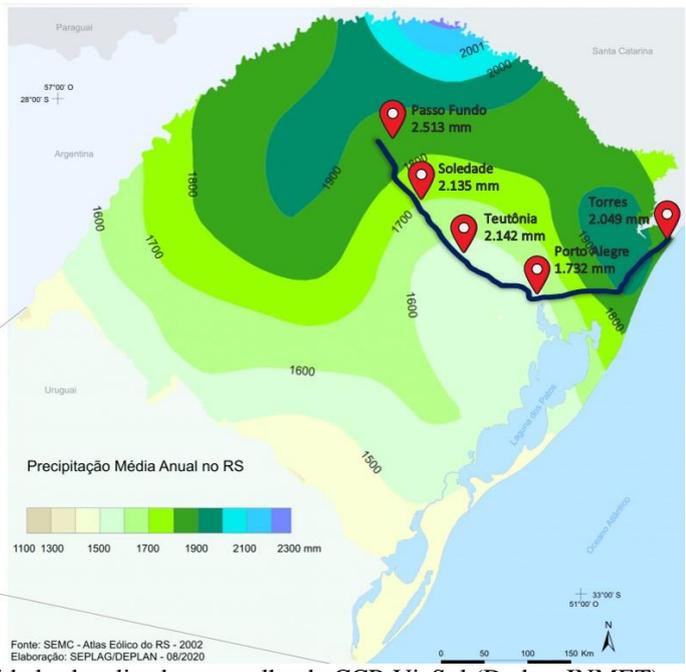
Tal anormalidade nos índices pluviométricos resultou em inundações generalizadas. Doze cidades foram submetidas a interrupções no fornecimento de energia, afetando aproximadamente 100 mil habitantes (BAND, 2023). Conforme a Defesa Civil, cerca de 360 mil pessoas foram impactadas pelos eventos, enfrentando deslocamentos, danos em residências e a necessidade de assistência humanitária, além de terem sido registrados 49 óbitos diretamente atribuíveis aos fenômenos (G1, 2023). Os prejuízos econômicos foram igualmente expressivos, com estimativas da Confederação Nacional de Municípios apontando para perdas da ordem de 1,3 bilhão de reais (VEJA, 2023).

No mês de dezembro de 2023, observou-se a manutenção do cenário acima narrado, registrando-se novamente valores acumulados de precipitação em volume significativamente maiores do que a média histórica (INMET, 2023a). Os eventos extremos ocorridos no mês foram, inclusive, objeto de nota técnica do INMET (INMET, 2024a), apresentando como causa de tais eventos a combinação de frentes frias, baixas pressões, em conjunto com os efeitos do El Niño.

Em 2023, a precipitação registrada nas cidades localizadas ao longo da malha administrada pela CCR ViaSul que possuem estações pluviométricas do INMET foi bastante superior (em média, 30%) à média histórica anual até 2022 (dados da SEPLAG/DEPLAN) no estado, conforme Figura 2. Por exemplo, na cidade de Teutônia, localizada na região de Lajeado, cidade pela qual passa a rodovia BR-386, a precipitação registrada foi 45% acima da média histórica para a região. Em Passo Fundo, próxima à Carazinho (km 180 da BR-386), esse número chega a 40%.



Precipitação média anual registrada em 2023 nas cidades ao longo da malha da ViaSul



Fonte: [INMET :: Tempo](#)

*Fonte: [Núcleo de Informações Hidrometeorológicas - Histórico de Dados \(univates.br\)](#)

Fonte: SEMC - Atlas Edítico do RS - 2002
Elaboração: SEPLAG/DEPLAN - 08/2020

Figura 2. Precipitação média em 2023 em cidades localizadas na malha da CCR ViaSul (Dados: INMET)

Os dados apresentados na Figura 3 corroboram as informações previamente descritas, ou seja, após o final de 2023, observa-se que o segundo semestre se mostrou muito mais chuvoso do que o primeiro. Nesse período choveu, em média, no estado, o correspondente a 74% da precipitação do ano, confirmando a natureza extrema dos eventos. Em todas as cidades analisadas (aquelas que possuem estações pluviométricas do INMET), observa-se que tal percentual excedeu 60%.

Precipitação registrada no segundo semestre de 2023 em comparação com o ano inteiro

No segundo semestre de 2023, choveu o correspondente a 74% da precipitação registrada para o ano inteiro

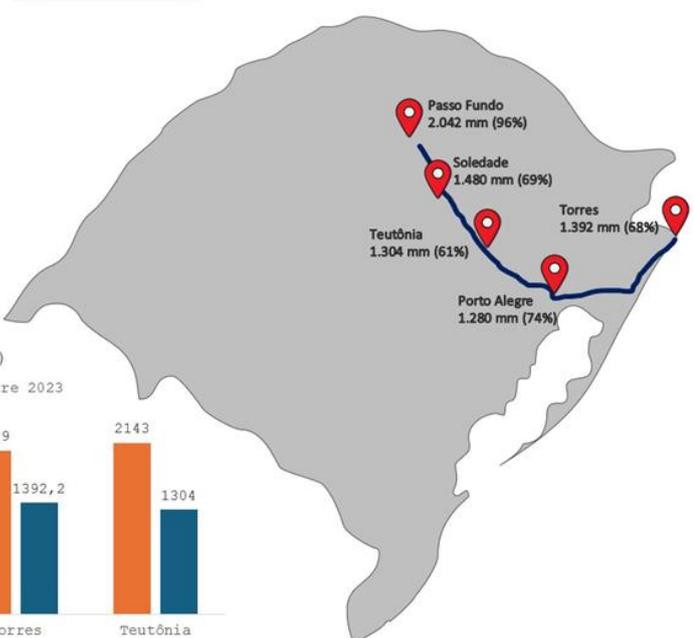


Figura 3. Precipitação no segundo semestre de 2023 em cidades localizadas na malha da CCR ViaSul (Dados: INMET)



De forma complementar, os dados do INPE também demonstram que a precipitação excessiva registrada em 2023 foi uma anomalia climática. Conforme as Figuras 4, 5 e 6, percebe-se que, independentemente da região (124, 120 e 119), o nível de chuvas em 2023 foi superior à média histórica utilizada pelo órgão (1981-2010) e aos valores registrados entre 2020 e 2022.

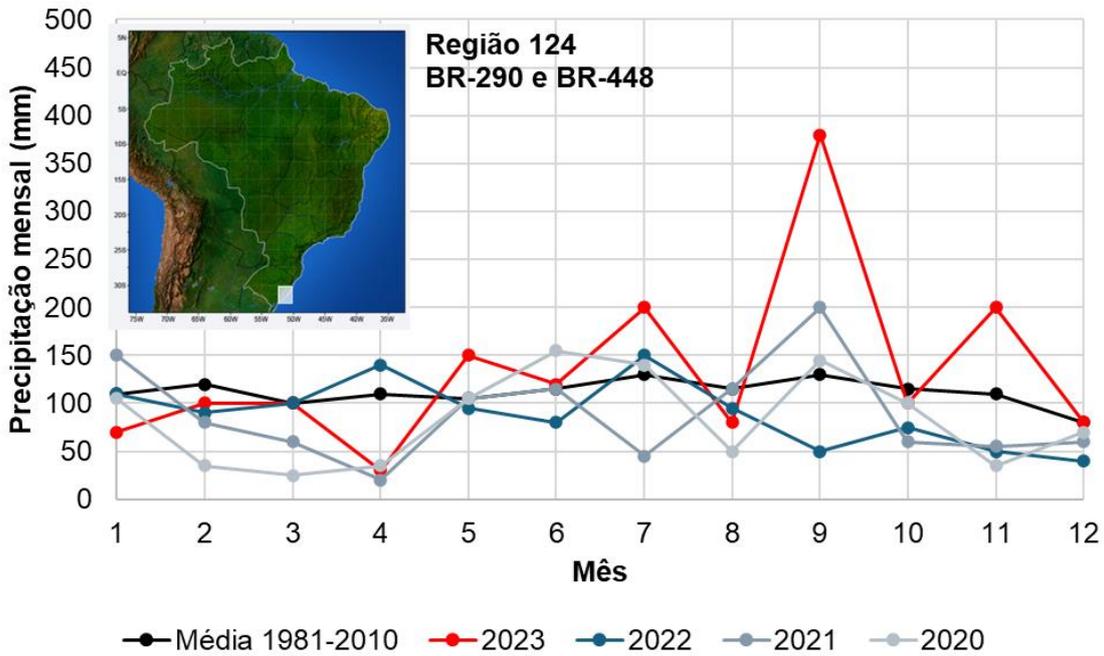


Figura 4. Precipitação mensal para a região 124 (BR-290 e BR-448) de 2020 a 2023 (Dados: INPE)

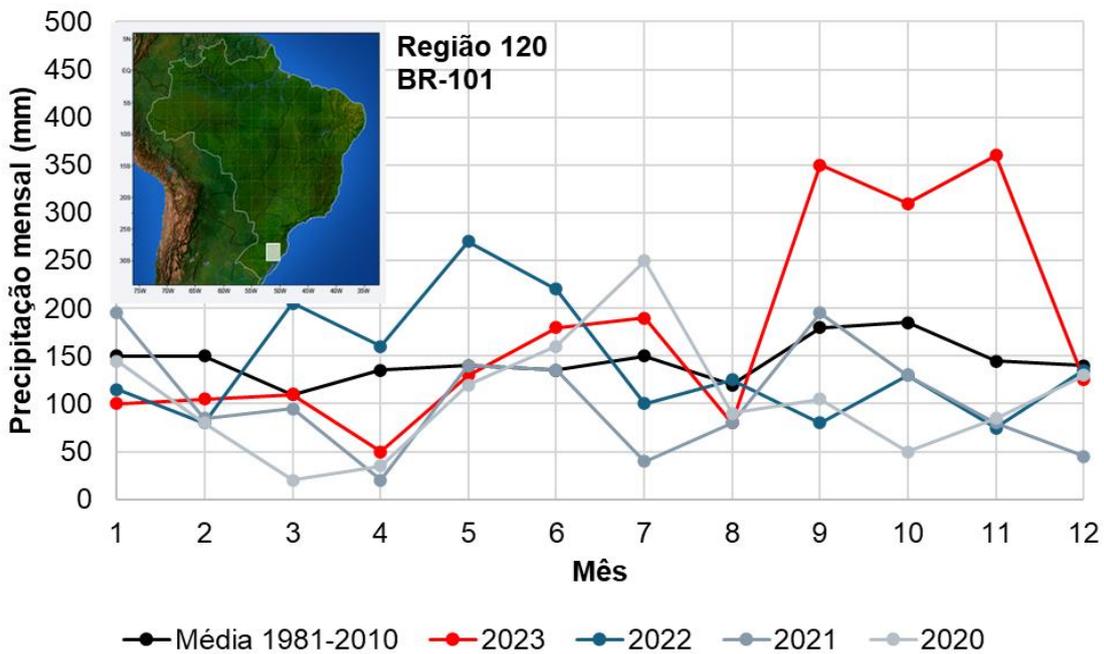


Figura 5. Precipitação mensal para a região 120 (BR-101) de 2020 a 2023 (Dados: INPE)

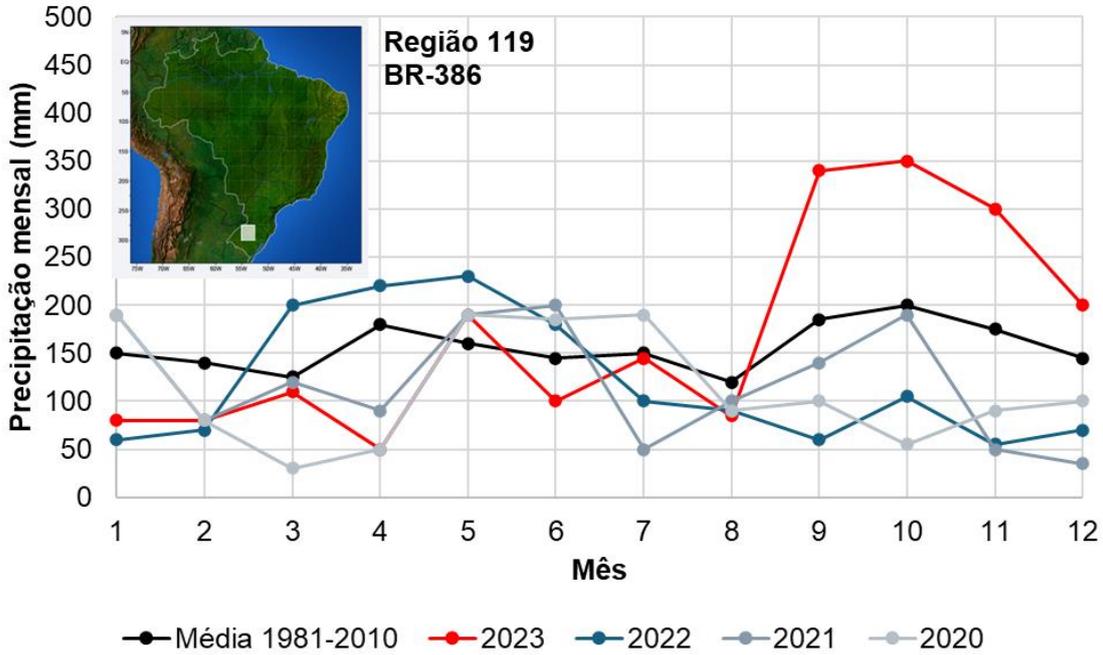


Figura 6. Precipitação mensal para a região 119 (BR-386) de 2020 a 2023 (Dados: INPE)

Analisando-se o período de setembro a novembro (Figura 7), trimestre de maior precipitação, verifica-se níveis superiores aos anos anteriores e acréscimo de 92% com relação à média histórica.

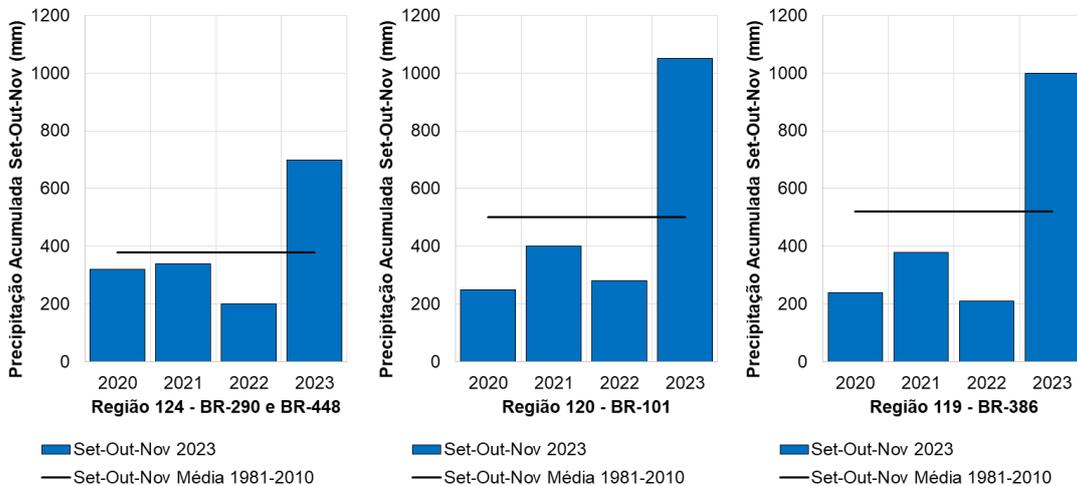


Figura 7. Precipitação do trimestre setembro a novembro para as regiões 124, 120 e 119 de 2020 a 2023 (Dados: INPE)

IMPACTOS DOS EVENTOS CLIMÁTICOS DE 2023 NO PAVIMENTO

Nesta etapa, buscou-se analisar o que a literatura relata sobre o impacto de eventos climáticos no desempenho de pavimentos. Além disso, foram analisados dados que serviriam como indicadores dos impactos diretos dos eventos climáticos observados no RS no pavimento das rodovias da malha



administrada pela CCR ViaSul (defeitos não permissíveis no contrato de concessão e produtividade das equipes de manutenção/restauração).

Os eventos naturais extremos que ocorreram no Rio Grande do Sul entre junho e novembro de 2023 tiveram consequências significativas nos pavimentos das rodovias da malha administrada pela CCR ViaSul, demandando a implementação de estratégias apropriadas para a manutenção e a restauração das vias.

É de conhecimento dos engenheiros de pavimentação que a água (chuvas) tem impacto na degradação do pavimento asfáltico, acelerando tal processo. A água infiltrada promove a desagregação do concreto asfáltico, resultando em trincas e panelas evidentes na superfície da rodovia. O acúmulo de água propicia o surgimento de patologias superficiais, como desprendimento de materiais e deterioração precoce da superfície do pavimento.

A comunidade científica corrobora com essa perspectiva, embora ainda seja escasso o número de artigos sobre o assunto. Pesquisa publicada na revista *Nature* relata que as mudanças climáticas podem ter impactos generalizados nas rodovias, principalmente nos pavimentos. Esses impactos acontecem devido a precipitações intensas, temperatura extremas (calor/frio) e outros desafios não físicos que degradam a qualidade e a longevidade da infraestrutura (UNDERWOOD *et al.*, 2017).

Outras duas pesquisas anteriores também apontam que mudanças nos níveis de precipitação têm um impacto significativo na vida útil do pavimento (HEITZMAN *et al.*, 2011; MNDawe *et al.*, 2015). Da mesma forma, furacões, ciclones e outros eventos climáticos extremos também impactam negativamente o desempenho de pavimentos. É relatado na literatura que pavimentos que tiveram sua estrutura submersa durante o Furacão Katrina tornaram-se mais frágeis do que aqueles que não foram submersos (GASPARD *et al.*, 2007).

Em estudo realizado na *North Carolina State University*, verificou-se que danos na estrutura de pavimentos causados por enchentes são prováveis. Os resultados mostram que o pavimento pode parecer funcional por resistir a um evento extremo ou devido à reabilitação da superfície após tais eventos, mas abaixo das camadas superficiais, o pavimento pode continuar a se deteriorar após o evento, levando a problemas de longo prazo e redução da vida útil do pavimento. As simulações de desempenho de pavimento realizadas sugerem que o aumento do afundamento causado por enchentes pode chegar a 16% no caso de uma estrutura com subleito arenoso e 19% no caso de subleito argiloso. Além disso, o estudo demonstra que o trincamento por fadiga também é exacerbado pela ação das chuvas (MATINI *et al.*, 2022).

A Figura 8 mostra o efeito de inundações na serventia (condição do pavimento em relação a conforto, rolamento e segurança) e na vida útil de pavimentos. Percebe-se uma queda brusca de serventia imediatamente após o evento de inundação e uma diminuição de dois anos na vida útil da estrutura do pavimento. Os autores do estudo relatam que a ação do tráfego durante ou imediatamente após a água das enchentes baixar resulta em uma deterioração precoce e significativa do pavimento, além de exigir manutenção e restauração mais custosas (MATINI; QIAO; SIAS, 2022).

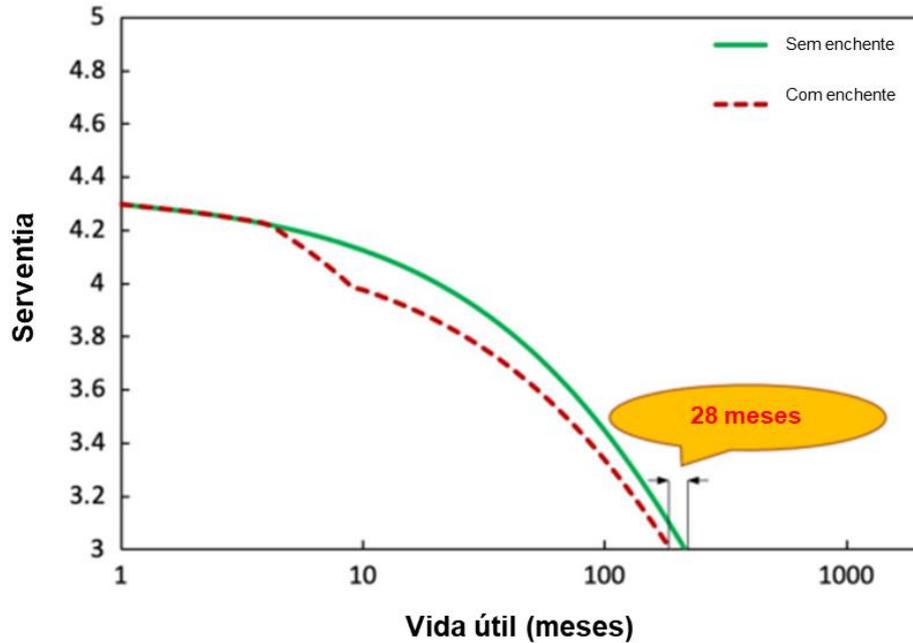


Figura 8. Efeito de inundações no desempenho de pavimentos (MATINI; QIAO; SIAS, 2022)

A Figura 9 mostra que o número de notificações de defeitos não permissíveis de pavimento acompanhou os índices pluviométricos em 2023. Durante o período crítico (junho a novembro), foi registrado um aumento de 180% nas notificações em comparação com o intervalo de janeiro a maio. Além disso, comparando-se esse período (junho a novembro) com o mesmo período de 2022, ocorreu um aumento de 180% na precipitação e de 75% no número de notificações de defeitos.

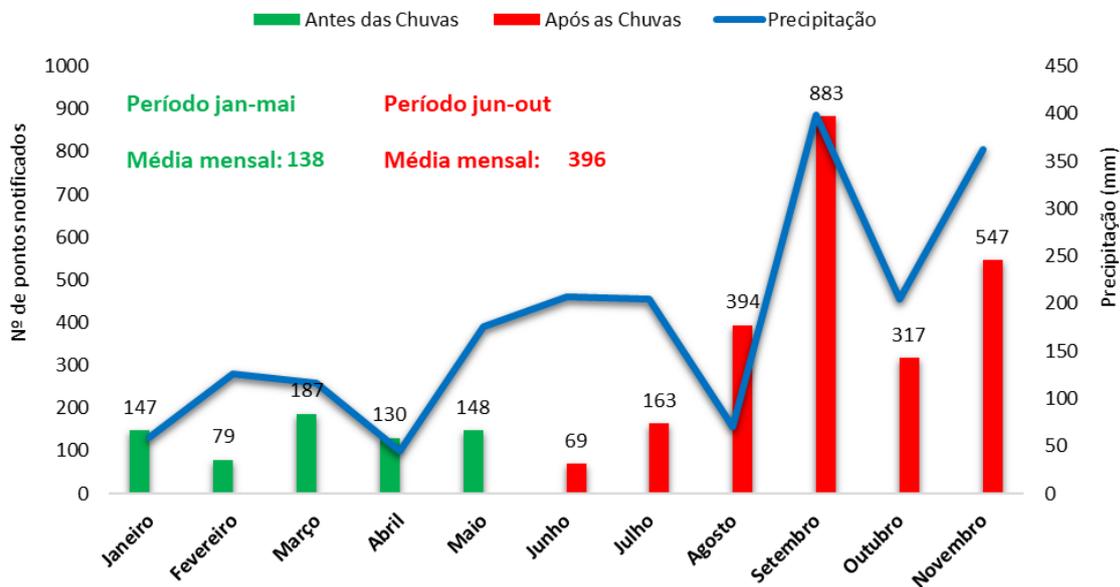


Figura 9. Notificações de defeitos não permissíveis e precipitação em 2023



A produtividade das equipes de manutenção/restauração de pavimento também foi prejudicada (Figura 10). As equipes registraram 58 dias de trabalho de junho a novembro, enquanto, de janeiro a maio, foram registrados 93 dias de trabalho por equipe. Isso representa uma queda de 30% na produtividade das equipes durante os eventos climáticos. Ainda, no período de junho a novembro de 2023, apenas em 43 dias não foi observada precipitação nas estações pluviométricas ao longo da malha administrada pela CCR ViaSul, contrastando com o mesmo período do ano anterior, no qual foram observados 68 dias não chuvosos.

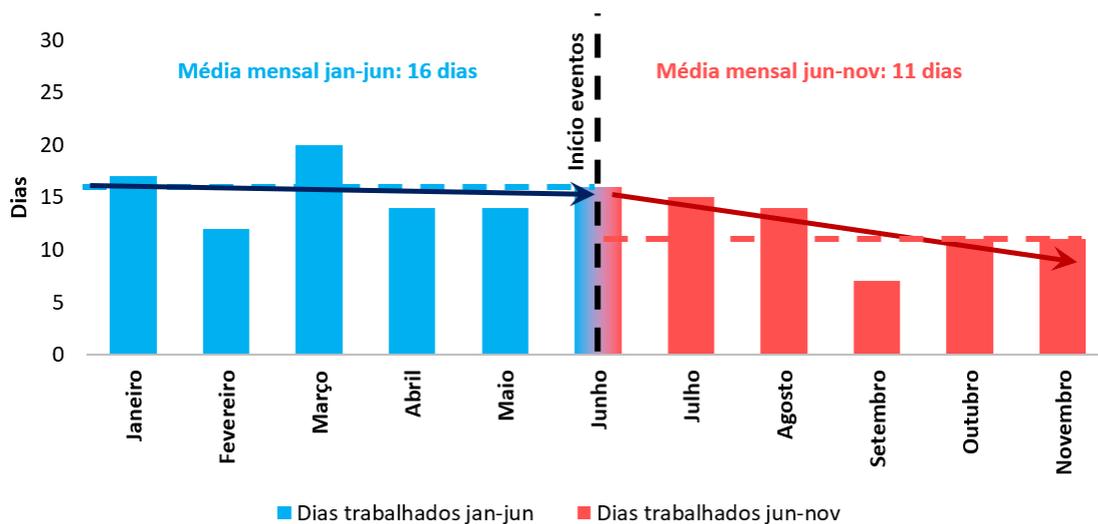


Figura 10. Produtividade das equipes de pavimentação em 2023

EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS DE 2024

Nesta seção, faz-se um relato dos novos eventos climáticos extremos registrados no RS entre abril e maio de 2024, sendo necessário destacar que fenômenos como os ocorridos no ano de 2023 não parecem ter sido fatos isolados e aparentemente se tornarão cada mais frequentes.

Os eventos de 2024 foram ainda mais devastadores que os registrados em 2023. No dia 30 de abril de 2024, o governo do Rio Grande do Sul decretou estado de calamidade pública (situação reconhecida também pelo Governo Federal) após as fortes chuvas que atingiram diferentes cidades e ocasionaram 75 óbitos (CNN, 2024), até o momento, já superando os eventos de 2023.

O Instituto Nacional de Meteorologia emitiu mais três alertas de temporais para o Rio Grande do Sul (INMET, 2024b), com diferentes graus de perigo, a depender das regiões abrangidas. A metade norte do Estado foi a área de maior preocupação. Os eventos foram considerados de grande intensidade, sendo classificados como desastres de Nível III (BRASIL, 2024), resultando em chuvas intensas, alagamentos, granizo, inundações, enxurradas e vendavais em várias regiões do estado. Confirmando as piores projeções, a cheia do lago Guaíba superou a inundação histórica de 1941, até então, a maior do estado, quando as águas chegaram a 5,27 metros e alagaram o Centro Histórico e outros bairros da cidade de Porto Alegre (METSUL, 2024).

Ainda é incerto o tempo necessário para que se determine os danos totais causados pelos eventos climáticos de abril/maio de 2024, visto que os efeitos deles continuam a ocorrer. Quanto ao pavimento da malha administrada pela CCR ViaSul, enquanto em 2023, os impactos dos eventos climáticos eram de certa forma subjetiva, estando em linha com o reportado por Matini *et al.*



(2022), aqueles de 2024 podem ser observados visualmente em diversos locais, conforme demonstrado nas Figuras 11, 12 e 13.



Figura 11. Ruptura de talude no km 276 da rodovia BR-386



Figura 12. Danos severos no pavimento da rodovia BR-386



Figura 13. Danos severos no pavimento da rodovia BR-290

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foram realizadas considerações sobre os impactos de eventos climáticos extremos em pavimentos rodoviários. Para tal, utilizou-se os dados do ano de 2023 da malha rodoviária administrada pela concessionária CCR ViaSul (precipitação, notificações de defeitos não permissíveis e produtividade das equipes de manutenção/restauração), juntamente com registros de danos causados pelos eventos ocorridos no Rio Grande do Sul durante o segundo semestre de 2023 e o primeiro de 2024, além de observações oriundas de artigos científicos sobre o assunto.

Os resultados do estudo destacam que os níveis de precipitação registrados no RS excederam significativamente as médias históricas. Com o acréscimo da precipitação (em magnitude e duração), ocorreu também um acréscimo no número de notificações de defeitos não permissíveis, bem como a redução da produtividade das equipes de manutenção/restauração de pavimento. Além disso, os danos físicos aos pavimentos se tornaram visíveis, especialmente após os eventos de 2024. É importante destacar que, mesmo quando os danos não são imediatamente evidentes, a literatura aponta consistentemente para o risco de impactos substanciais na infraestrutura do pavimento devido às mudanças climáticas. O pavimento pode parecer funcional à primeira vista, mas abaixo da superfície pode continuar a se deteriorar no período pós-evento, resultando em problemas de longo prazo e redução da vida útil.



Portanto, torna-se cada vez mais crucial considerar elevadas precipitações e outros eventos extremos ao analisar e projetar pavimentos. Além disso, os riscos associados a esses eventos devem ser avaliados com maior frequência e magnitude, dada a aparente tendência à recorrência. Caso contrário, é esperada uma necessidade de manutenção/restauração mais frequente, resultando em custos mais elevados para a infraestrutura rodoviária.

REFERÊNCIAS

Chuvas no RS: número de vítimas fatais sobe para 75; veja onde ocorreram as mortes | CNN Brasil. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/chuvas-no-rs-numero-de-vitimas-fatais-sobe-para-75-veja-onde-ocorreram-as-mortes/>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

Ciclone no RS: 12 cidades sofrem com a falta de energia | Vídeos Band. Disponível em: <<https://www.band.uol.com.br/videos/ciclone-no-rs-12-cidades-sofrem-com-a-falta-de-energia-17179850>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

Ciclone no RS: mais uma morte é confirmada pelo governo e total de vítimas chega a 49 | Rio Grande do Sul | G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/09/19/ciclone-no-rs-mais-uma-morte-e-confirmada-e-total-chega-a-49.ghtml>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

Contraste térmico e El Niño: especialistas explicam sequência de 9 ciclones no RS em 3 meses | Rio Grande do Sul | G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/09/28/contraste-termico-e-el-nino-especialistas-explicam-sequencia-de-9-ciclones-no-rs-em-3-meses.ghtml>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

INMET. **Eventos extremos de dezembro de 2023 no Brasil.** Serviço de Pesquisa Aplicada. 2024.

Eventos extremos: dezembro/2023 foi marcado por diversos episódios de chuva com impactos no agronegócio | INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-dezembro-2023-foi-marcado-por-bastante-calor-e-diversos-epis%C3%B3dios-de-chuva-com-impactos-no-agroneg%C3%B3cio>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

GASPARD, K. *et al.* Impact of Hurricane Katrina on Roadways in the New Orleans Area. 2007.

Governador decreta estado de calamidade pública por conta das cheias no RS - Portal do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.estado.rs.gov.br/governador-decreta-estado-de-calamidade-publica-por-conta-das-cheias-no-rs>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

HEITZMAN, M. *et al.* **Developing MEPDG Climate Data Input Files for Mississippi.** Final Report FHWA/MS-DOT-RD-11-232. 2011.

INMET :: **Alert-AS.** Disponível em: <<https://alertas2.inmet.gov.br/47288>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

MATINI, N. *et al.* Evaluation of Structural Performance of Pavements under Extreme Events: Flooding and Heatwave Case Studies. <https://doi.org/10.1177/03611981221077984>, v. 2676, n. 7, p. 233–248, 9 mar. 2022.

MATINI, N.; QIAO, Y.; SIAS, J. E. Development of Time–Depth–Damage Functions for Flooded Flexible Pavements. **Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements**, v. 148, n. 2, p. 04022011, 22 fev. 2022.

MNDAWE, M. B. *et al.* Assessment of the effects of climate change on the performance of pavement subgrade. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 7, n. 2, p. 111–115, 2015.

Porto Alegre, uma zona de guerra | METSUL. Disponível em: <<https://metsul.com/porto-alegre-uma-zona-de-guerra/>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

UNDERWOOD, B. S. *et al.* Increased costs to US pavement infrastructure from future temperature rise. **Nature Climate Change** 2017 7:10, v. 7, n. 10, p. 704–707, 18 set. 2017.