



## **INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA COM BASE NO PROJETO ADAPTAVIAS DO GOVERNO**

### **INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON ASPHALT PAVEMENT BASED ON THE GOVERNMENT'S ADAPTAVIAS PROJECT**

**Gabrieli da Silveira Miranda<sup>2</sup>, Regina Sipmann<sup>3</sup>, Daiana Bruxel<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí; trabalho da disciplina de Rodovias II, realizado em julho de 2024.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

<sup>5</sup> Docente do curso em Engenharia Civil da UNIJUÍ;

### **INTRODUÇÃO**

As condições climáticas são um dos principais desafios para a pavimentação, afetando negativamente a integridade e a durabilidade dos pavimentos. O Governo do Estado do Rio Grande do Sul destaca que as catástrofes climáticas expuseram a vulnerabilidade das infraestruturas. Os impactos incluem deterioração acelerada dos pavimentos, instabilidade de taludes, inundações e interrupção das operações, resultando no aumento dos custos de manutenção e redução da eficiência dos sistemas de transporte, o que afeta a mobilidade e a economia. As mudanças climáticas globais, com aumento da temperatura média e maior frequência de eventos extremos, ameaçam ainda mais a infraestrutura rodoviária, especialmente na região Sul do Brasil, que enfrenta desafios agravados por deslizamentos, enchentes e outros eventos climáticos extremos.

### **METODOLOGIA**

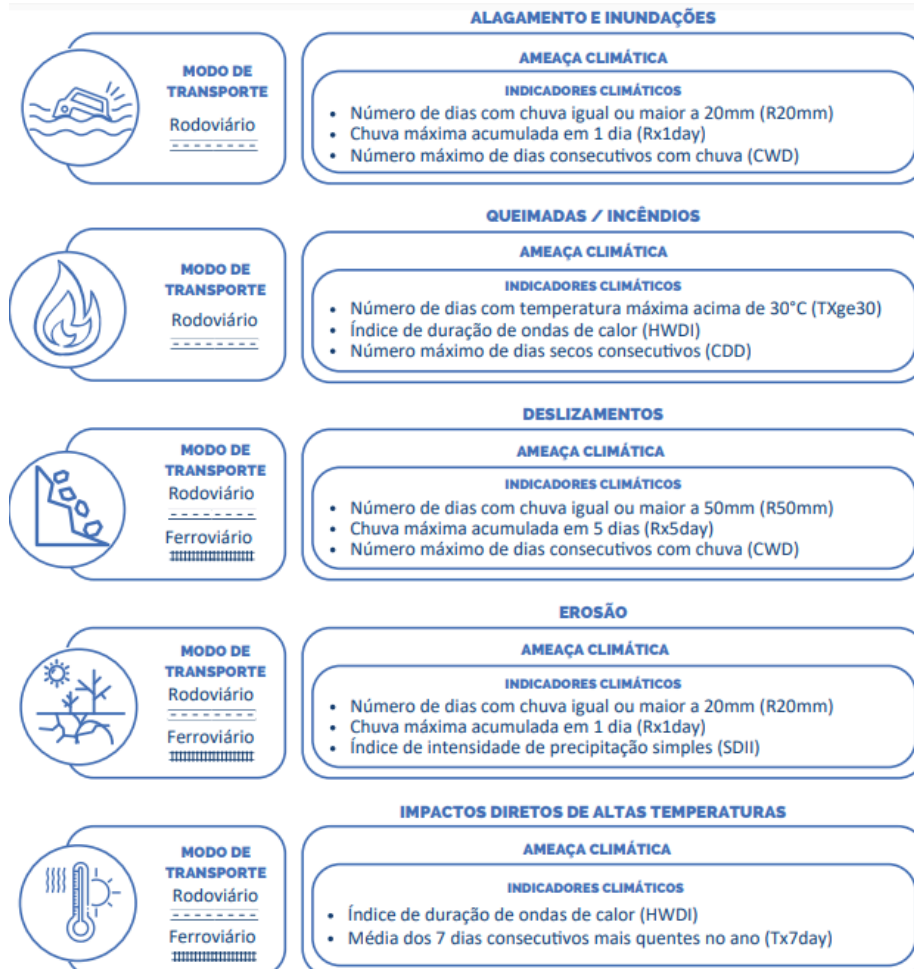
Para atingir os objetivos desta pesquisa, que consistem em apresentar o comportamento dos pavimentos asfálticos em relação às mudanças climáticas, foi utilizado o método de pesquisa bibliográfica, coletando dados de artigos, livros e reportagens com ênfase ao projeto Adaptavias do Ministério do Transporte.

O projeto Adaptavias se baseia em fatores climáticos que vêm ocorrendo nos últimos anos, com base nisso foram relacionados indicadores climáticos e os impactos que eles causam ao longo do tempo, dando norte a todo o projeto do Governo. Conforme



ilustrado na Figura 1, os impactos e indicadores climáticos destacados foram avaliados na pesquisa, tomando como referência o projeto de pesquisa base.

**Figura 1:** Indicadores climáticos selecionados para os impactos priorizados nas rodovias



Fonte: Ministério do transporte, 2023

## INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PAVIMENTAÇÃO

De acordo com a pesquisa, o IRC (Índice de Risco Calculado) foi inicialmente calculado considerando a interação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade, sem atribuir pesos específicos a cada componente de risco. Essa metodologia foi adaptada do cálculo de risco de impacto no setor de energia da plataforma AdaptaBrasil - MCTI (MCTI, INPE & RNP, 2022). De acordo com a equação 1, foi gerado um índice que é classificado conforme a tabela 1.

$$Risco = \frac{Ameaça + Exposição + Vulnerabilidade}{3}$$



**Figura 2:** Escala de índices.

Nível	Valores
Muito baixo	< 0,01]
Baixo	0,01 - 0,24
Médio	0,25 - 0,49
Alto	0,50 - 0,74
Muito alto	≥ 0,75

**Fonte:** Ministério do Transporte, 2023.

Quanto à ocorrência de **deslizamentos**, o índice de risco climáticos (IRC), mostra um aumento de rodovias com um nível médio de risco climático na região sul. As rodovias com os maiores níveis de IRC (nível médio) devido ao impacto de deslizamentos, em todos os cenários e horizontes analisados neste estudo, estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste (Serra do Mar e Serra Geral). É importante destacar que o IRC é significativamente influenciado pela vulnerabilidade, especialmente em relação à suscetibilidade a deslizamentos (como relevo acidentado) nas regiões Sudeste e Sul (Serra do Mar e Serra Geral).

Para o risco de **alagamentos/inundações** até dezembro de 2022, todas as rodovias apresentaram nível de IRC baixo ou muito baixo, exceto trechos no Pará, Maranhão e no litoral do Nordeste, com risco climático médio. Já com as emissões altas, observa-se um aumento das rodovias com risco médio, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. No cenário de altas emissões (SSP5-8.5) a curto prazo (2046-2065), 84,1% das rodovias permanecem com risco baixo, mas há um aumento nos trechos com risco médio devido ao incremento da ameaça climática.

Segundo a pesquisa, o impacto da **erosão** está fortemente associado ao uso do solo, sendo bastante significativo nas rodovias do Pará, em estados do Sul e no litoral do Nordeste (especialmente na BR-101), que apresentam risco médio para a infraestrutura rodoviária. Esses resultados refletem uma alta vulnerabilidade à erosão, com quase todas as rodovias mostrando níveis médios ou altos de impacto.

Até dezembro de 2022, o IRC para **queimadas/incêndios** é muito baixo no Sul do país (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e baixo para 68,1% da malha rodoviária



brasileira. O risco é médio no interior do Nordeste (Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte e sertão da Bahia) e em partes do Norte (Tocantins e Pará). A vulnerabilidade a queimadas/incêndios é alta nos estados do Maranhão, Piauí e Pará. No Sul, não há alterações significativas a médio e longo prazo, mantendo-se com nível de ameaça muito baixo, independentemente do cenário de emissões.

Já os impactos diretos das **altas temperaturas** mostram que 63,2% dos trechos rodoviários possuem risco médio até dezembro de 2022 e que em cenários futuros, 60% enfrentam altos níveis de ameaça climática. Os maiores riscos estão no interior do país, especialmente no Rio Grande do Sul, que apresenta risco médio em todos os cenários. A vulnerabilidade, considerando apenas a sensibilidade da infraestrutura, é mais significativa nos estados do Rio Grande do Sul e do Pará. No cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5), o risco médio cai para 50,3% a curto prazo e sobe para 67,4% a médio prazo. No cenário de altas emissões (SSP5-8.5), representa 65,3% a curto prazo e 62,6% a médio prazo.

Esse resultado se deve principalmente ao componente de ameaça climática, que apresenta níveis mais altos de risco de impacto na região Sul, e à vulnerabilidade média, que contribui para os valores mais elevados dos riscos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destaca a interferência das condições climáticas na durabilidade e integridade das infraestruturas rodoviárias no Brasil, com um foco principal na região Sul. A análise se baseou no projeto Adaptavias do Ministério dos Transportes, e destaca como as mudanças climáticas (caracterizadas pelo aumento da temperatura média global e pela intensificação de eventos extremos) afetam negativamente os pavimentos asfálticos.

A deterioração acelerada dos pavimentos, a instabilidade de taludes e o aumento das inundações são consequências diretas desses fenômenos climáticos. A região Sul, em particular, enfrenta desafios significativos devido à sua vulnerabilidade a deslizamentos e enchentes (ainda mais evidenciado após as catástrofes de maio/2024), o que compromete a segurança e a eficiência das rodovias, além de impactar a mobilidade e a economia local.

O IRC ofereceu uma visão detalhada sobre como diferentes cenários climáticos afetam as rodovias em termos de risco de deslizamentos, alagamentos, erosão e incêndios. A análise revelou que, enquanto alguns trechos rodoviários apresentam baixo risco climático,



outros enfrentam níveis médios ou altos de vulnerabilidade, especialmente sob cenários de altas emissões. A correlação entre a ameaça climática e a vulnerabilidade das infraestruturas sugere que são necessárias medidas proativas para mitigar os impactos e adaptar as rodovias às novas condições climáticas.

As considerações finais do estudo destacam a necessidade urgente de revisar e adaptar os projetos rodoviários para considerar as projeções climáticas futuras. É essencial que as políticas e práticas de construção e manutenção de pavimentos integrem as alterações climáticas para garantir a resiliência das infraestruturas. Investimentos em tecnologias de monitoramento, melhorias nos sistemas de drenagem e a utilização de materiais mais resistentes são fundamentais para enfrentar os desafios emergentes. Além disso, a pesquisa ressalta a importância de um planejamento para desenvolver estratégias eficazes de adaptação e mitigação. A colaboração entre os setores público e privado será crucial para assegurar a durabilidade e funcionalidade das rodovias brasileiras diante das mudanças climáticas.

Em suma, adaptar-se às mudanças climáticas é um desafio inevitável e urgente para a infraestrutura rodoviária, e a adoção de medidas proativas é essencial para minimizar os impactos adversos e garantir a continuidade e segurança das redes de transporte no País.

**Palavras-chave:** ALTERAÇÃO. CLIMA. RISCO. INFRAESTRUTURA. RODOVIAS

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

MCTI, INPE & RNP. **Sobre o AdaptaBrasil, Infraestrutura Rodoviária**. AdaptaBrasil MCTI. 2022. Disponível em: <<https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre/metodologia>> . Acesso em: 22 julho 2024.

MINISTÉRIO DO TRANSPORTE. **Levantamento de impactos e riscos climáticos sobre a infraestrutura federal de transporte terrestres (rodoviário e ferroviário) existente e projetada**. AdaptaVias. Sumário executivo ministério dos transportes, 2023. Disponível em: <[https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/Sumario\\_Executivo\\_ADAPTA\\_VIAS.pdf](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/Sumario_Executivo_ADAPTA_VIAS.pdf)> . Acesso em: 17 de julho de 2024.