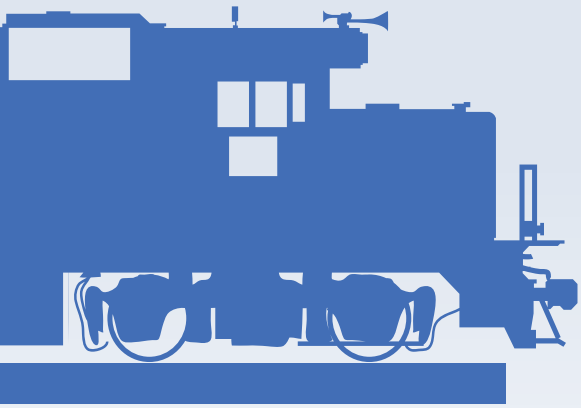




LEVANTAMENTO DE IMPACTOS E RISCOS CLIMÁTICOS SOBRE A INFRAESTRUTURA FEDERAL DE TRANSPORTE TERRESTRES (RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO) EXISTENTE E PROJETADA

SUMÁRIO EXECUTIVO
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

Por ordem do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear da República Federal da Alemanha

Por meio da giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

PROADAPTA Adaptação à Mudança do Clima

INPE

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente da República

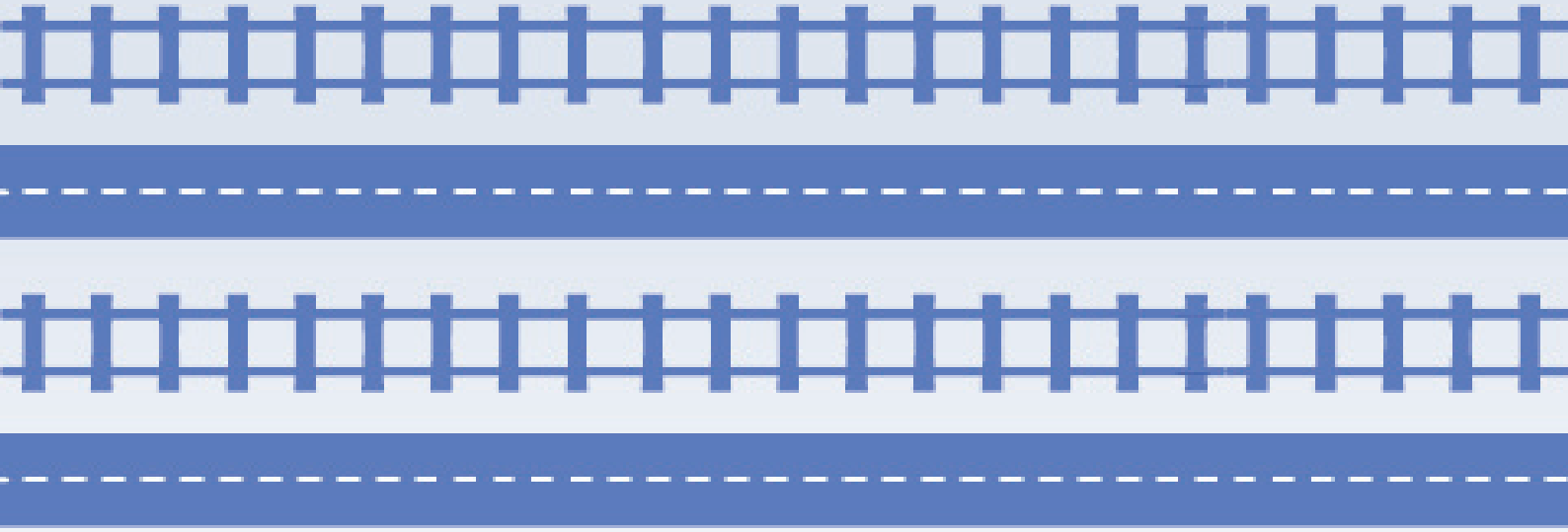
José Renan Vasconcelos Calheiros Filho
Ministro dos Transportes

George André Palermo Santoro
Secretário Executivo

Cloves Eduardo Benevides
Subsecretário de Sustentabilidade

LEVANTAMENTO DE IMPACTOS E RISCOS CLIMÁTICOS SOBRE A INFRAESTRUTURA FEDERAL DE TRANSPORTE TERRESTRES (RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO) EXISTENTE E PROJETADA

SUMÁRIO EXECUTIVO



Expediente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente da República

José Renan Vasconcelos Calheiros Filho
Ministro dos Transportes

George André Palermo Santoro
Secretário Executivo do Ministério dos Transportes

Cloves Eduardo Benevides
Subsecretário de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes

ELABORAÇÃO
Associação GITEC/COPPE - Composta por GITEC Brasil Consultoria Socioambiental Ltda. (empresa líder), GITEC-IGIP GmbH e Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ

EQUIPE TÉCNICA – GITEC Brasil
Adriano Vasconcelos
Isadora Timbó
Luiza Maia de Castro
Patrícia Fontinha de Alcantara
Wolfram J. Lange

EQUIPE TÉCNICA – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ)
Andrea Souza Santos
Cristiene Ribeiro
Victor Hugo Souza de Abreu

EQUIPE TÉCNICA – Ministério dos Transportes
Fani Mamede
George Yun
Ricardo Luiz Medeiros Meirelles
Thiago Olante Casagrande

EQUIPE APOIO – Ministério dos Transportes
Fernanda de Carvalho Borges
Joyce Correia dos Anjos da Silva
Natália de Oliveira Hayne

EQUIPE TÉCNICA – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)
Diogo Victor Santos
Lidiane Rocha de Oliveira Melo
Márcio Rojas da Cruz

EQUIPE TÉCNICA – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Jean Pierre Henry Balbaud Ometto
Lincoln Muniz Alves

EQUIPE TÉCNICA - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ)
Ana Carolina Câmara – Diretora de projetos
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas – Assessora técnica
Pablo Borges de Amorim – Assessor técnico

DESIGN E DIAGRAMAÇÃO
Hugo Luiz Rego

CONTATOS
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil

A encargo de:
Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:
Ana Carolina Câmara
T:+55 61 9 99 89 71 71
T +55 61 2101 2098
E ana-carolina.camara@giz.de
Brasília, dezembro de 2022.

Índice

Apresentação	01
Introdução	02
Metodologia	06
Principais Resultados	09
Ferrovias e Índices de Risco Climático	15
Rodovias e Índices de Risco Climático	19
Medidas de Adaptação	25
Conclusões e Recomendações	37
Referências Bibliográficas	39

Apresentação

Conforme estabelecido na MP n 1.154, de 1 de janeiro de 2023 e no Decreto n 11.360, de 1 de janeiro de 2023, é designado Ministério dos Transportes o anterior Ministério da Infraestrutura, cuja denominação é aqui utilizada.

A Portaria nº 05 de 31 de janeiro de 2020 instituiu as Diretrizes de Sustentabilidade do Ministério dos Transportes. São cinco diretrizes que orientam as políticas, os planos, os programas e os projetos setoriais, bem como viabilizam a expansão da oferta de infraestrutura de transportes de modo sustentável. Este documento de ato administrativo se configura como a principal referência socioambiental e climática para as ações estratégicas e políticas do Ministério e suas entidades vinculadas.

Tendo em vista que os governos do Brasil e da Alemanha cooperam tecnicamente para atingir os compromissos assumidos nos acordos internacionais sobre o clima, o Ministério Alemão do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Segurança Nuclear e Proteção ao Consumidor (BMUV) (*Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz - BMWK*) vem apoiando o governo brasileiro em ações para o aumento da resiliência do país por meio da Iniciativa Internacional de Proteção do Clima (*Internationalen Klimaschutzinitiative - IKI*). Implementado pela Agência de Cooperação Técnica Alemã *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, o projeto "Apoio ao Brasil na Implantação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – ProAdapta" visa fomentar o aumento da resiliência climática no Brasil, por meio da implementação efetiva da Agenda Nacional de Adaptação para diversos setores e áreas temáticas, incluindo o setor de transportes.

Neste contexto, foi estabelecido um acordo de cooperação entre GIZ e o Ministério dos Transportes, que tem como sua principal ação o desenvolvimento do estudo "Impactos e riscos da mudança do clima nos setores rodoviário e ferroviário". Apelidado de "AdaptaVias", o estudo vem ao encontro da Diretriz 2, das Diretrizes de Sustentabilidade que visa "promover a inserção das questões relacionadas à mudança do clima na infraestrutura de transportes". O estudo teve como objetivo levantar e sistematizar os impactos e os riscos da mudança do clima sobre a infraestrutura federal de transportes ferroviário e rodoviário, existente e projetada, como subsídio para o desenvolvimento de estratégias de adaptação para o setor.

O estudo foi desenvolvido pela GITEC Brasil Consultoria Socioambiental e GITEC-IGIP GmbH (GITEC) em associação com o Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE/UFRJ), juntamente com o Comitê Gestor formado por representantes do MT, da GIZ, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Entre os desafios enfrentados ao longo do estudo, cabe destacar a limitação de dados sobre danos e prejuízos associadas ao clima e sobre características das infraestruturas. Devido à grande relevância, à amplitude e ao caráter inovador, espera-se que o estudo seja utilizado como ponto de partida para revisão e melhoria do processo regulatório do setor de transporte terrestres, bem como se constitua em um direcionador de políticas públicas sobre a temática, tão importante para a economia nacional, sendo esses os principais modos de transporte de bens, mercadorias e pessoas entre as diferentes regiões do Brasil.



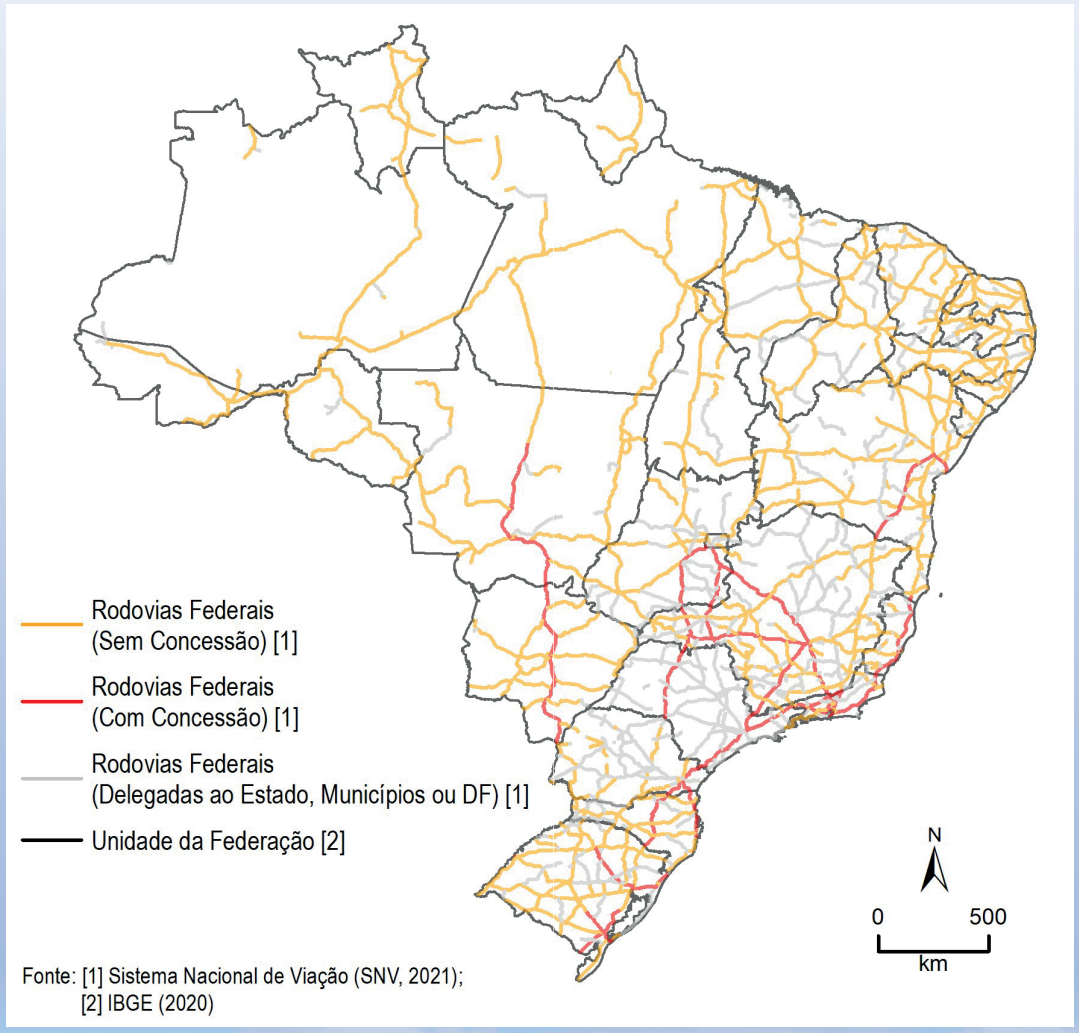
Créditos: Ministério dos Transportes

Introdução

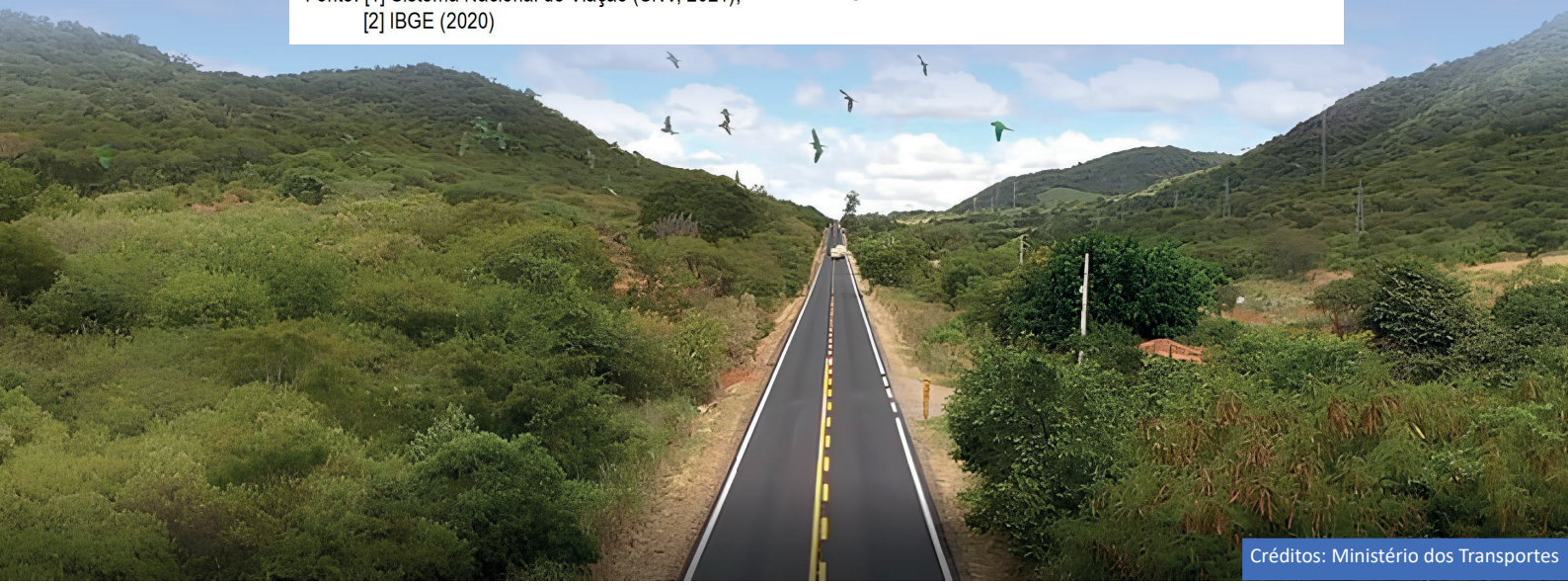
A mudança do clima já é uma realidade e figura como um dos maiores desafios globais do século XXI, causando danos e prejuízos para a sociedade que não podem mais ser ignorados. Além do aumento da temperatura, a mudança do clima causa alterações no regime de chuvas, acarretando desde estiagens a inundações e deslizamentos de terra, bem como aumento do nível do mar, aumento na frequência e intensidade de tempestades e outras ameaças climáticas, as quais podem ocasionar impactos diretos e indiretos sobre diversos setores econômicos (BRASIL, 2016). Os sistemas de transportes são projetados com base em padrões climáticos históricos onde se assume a condição de estacionariedade, ou seja, constância. No entanto, já existem evidências robustas de que os padrões climáticos estão mudando (IPCC, 2022), podendo causar danos e prejuízos na infraestrutura e, consequentemente, reduzir a eficiência das operações de transporte. Estes impactos geram custos adicionais de manutenção, recuperação ou reconstrução de ativos eventualmente danificados, de maneira que determinados efeitos são percebidos imediatamente, enquanto outros manifestam-se em médio ou longo prazo. Além desses impactos na própria infraestrutura, os impactos da mudança do clima no setor de transportes podem afetar de forma direta ou indireta as condições de deslocamento das pessoas e a distribuição de insumos e de serviços, além de aumentar a probabilidade de ocorrência de acidentes de tráfego (EVANS *et al.*, 2009).

No Brasil, o setor de transportes é altamente dependente do modo rodoviário, que atinge um alcance territorial muito superior ao dos demais modos de transporte, cujo percentual da divisão modal correspondia a 68,5% em 2015 (MInfra, 2021). De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2021), a extensão total da malha rodoviária federal, excluindo as vias planejadas, é de 79.634 km, dos quais 69.473 km (87%) correspondem a rodovias pavimentadas e 10.161 km (13%) correspondem a rodovias não pavimentadas, conforme apresentado na Figura 1. Cabe destacar que 11.476 Km da extensão total se encontram sob concessão federal.

Figura 1 - Malha rodoviária federal.



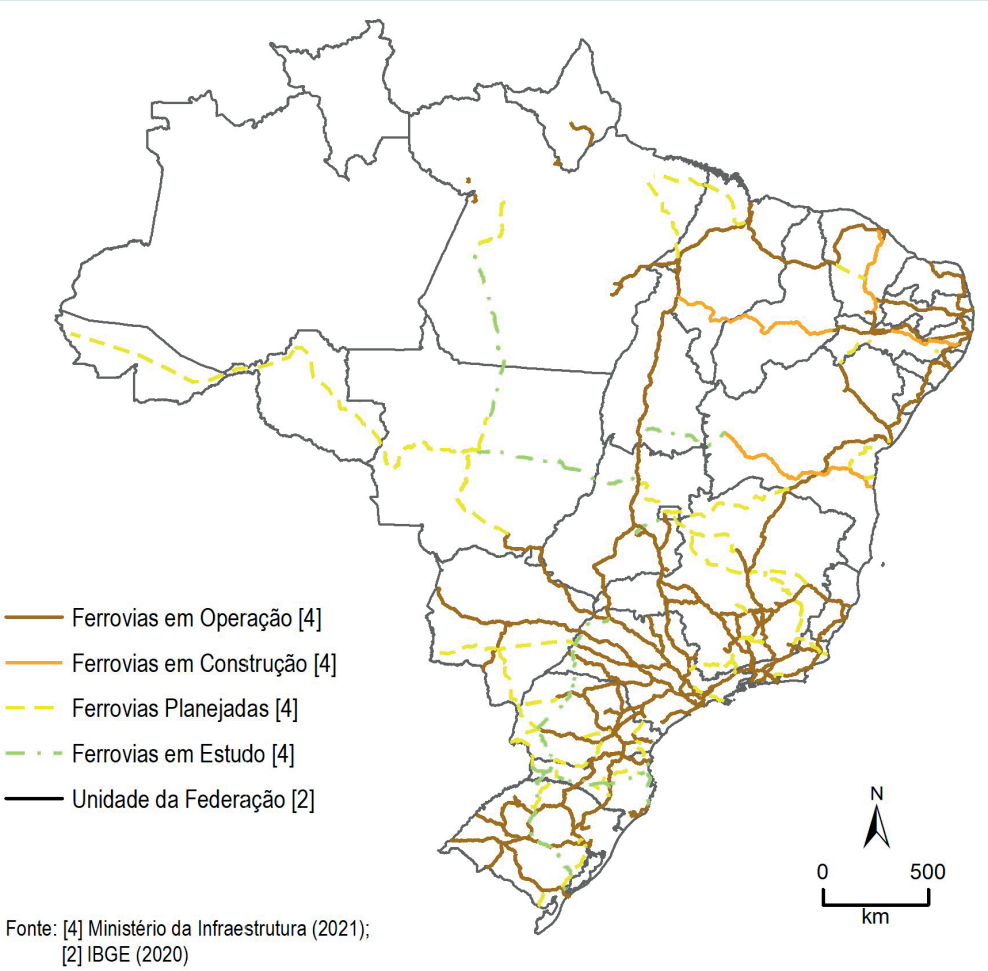
Fonte: [1] Sistema Nacional de Viação (SNV, 2021);
[2] IBGE (2020)



Créditos: Ministério dos Transportes

O setor de transporte ferroviário é o segundo mais utilizado no Brasil para o transporte de cargas, atrás somente do transporte rodoviário, correspondendo a cerca de 15,1% da divisão modal em 2015 (MInfra, 2021). De acordo com o DNIT (2021), a extensão total da malha ferroviária federal é de 30.660 km. A distribuição espacial das ferrovias se concentra nas regiões Sul e Sudeste, seguida pela Nordeste. A região Norte dispõe de poucas ferrovias, que estão limitadas aos estados do Tocantins, do Amapá e parte do Pará. A região Centro-Oeste apresenta malha ferroviária em todos os seus estados. A Figura 2 apresenta o mapa da malha ferroviária em operação e em construção no Brasil.

Figura 2 - Malha ferroviária em operação e em construção.



Dada a importância desses modos de transporte, tanto para o transporte de pessoas como de cargas, impactando social e economicamente o país, é de vital importância a adaptação da infraestrutura dos transportes ferroviário e rodoviário à mudança do clima.

O risco climático de uma infraestrutura de transportes depende de uma variedade de fatores, incluindo sua natureza, sua localização, as características de projeto e as práticas de construção (RATTANACHOT *et al.*, 2015). Desta forma, os tomadores de decisão responsáveis por determinar quando e onde a infraestrutura deve ser desenvolvida ou aprimorada estão enfrentando um novo desafio que consiste em compreender como a mudança do clima pode afetar o transporte ferroviário e rodoviário e identificar os pontos mais críticos (hotspots) (CHINOWSKY & ARNDT, 2012).



Créditos: Ministério dos Transportes

Diante da atual emergência climática, medidas de adaptação são necessárias para reduzir os riscos e minimizar os impactos, especialmente sobre a infraestrutura de transportes. Existem diversas medidas de adaptação que podem ser divididas em medidas estruturais e não estruturais, mas que dependem, para uma escolha técnica apropriada, de um profundo conhecimento dos riscos climáticos e dos fatores que os influenciam (DE ABREU; SANTOS; MONTEIRO, 2022). Assim, a avaliação de risco climático, ou levantamento de risco climático, é um instrumento essencial para identificar os fatores de risco para o clima atual e futuro, bem como nortear as medidas de adaptação a serem implementadas.

Nesse relatório, a base metodológica e a terminologia utilizadas foram fundamentadas no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) e corroboradas no Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) (IPCC, 2022), nos documentos metodológicos do AdaptaBrasil-MCTI (MCTI, INPE & RNP, 2022) e no manual sobre levantamentos de riscos climáticos de GIZ, EURAC & UNU-EHS (2018).

O Índice de Risco Climático (IRC), composto por fatores de ameaça climática, exposição e vulnerabilidade (sensibilidade e capacidade adaptativa), conforme ilustrado na Figura 3, foi elaborado a partir das seguintes etapas:

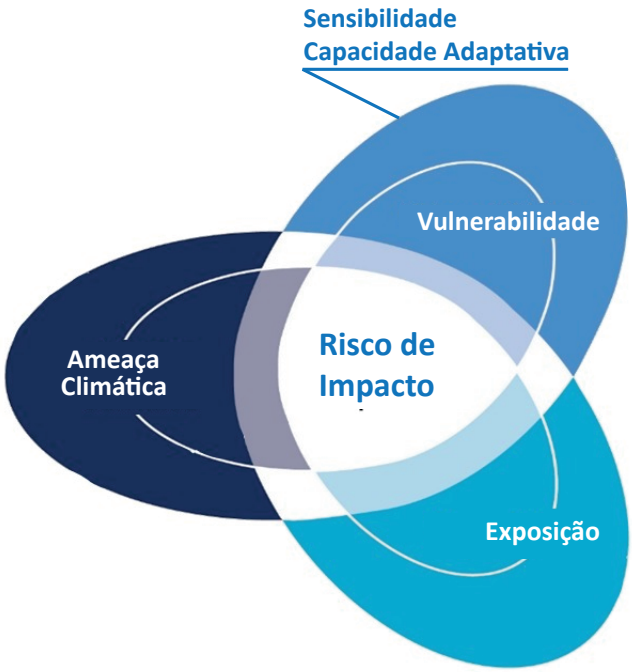
(i) definição dos impactos mais relevantes;

(ii) seleção de indicadores;

(iii) coleta de dados; e

(iv) normalização, ponderação e agregação dos dados sobre ameaça climática, exposição, capacidade adaptativa e sensibilidade (biofísica e estrutural).

Figura 3 - Quadro conceitual de risco climático e seus componentes.



Fonte: Adaptado de IPCC (2022)

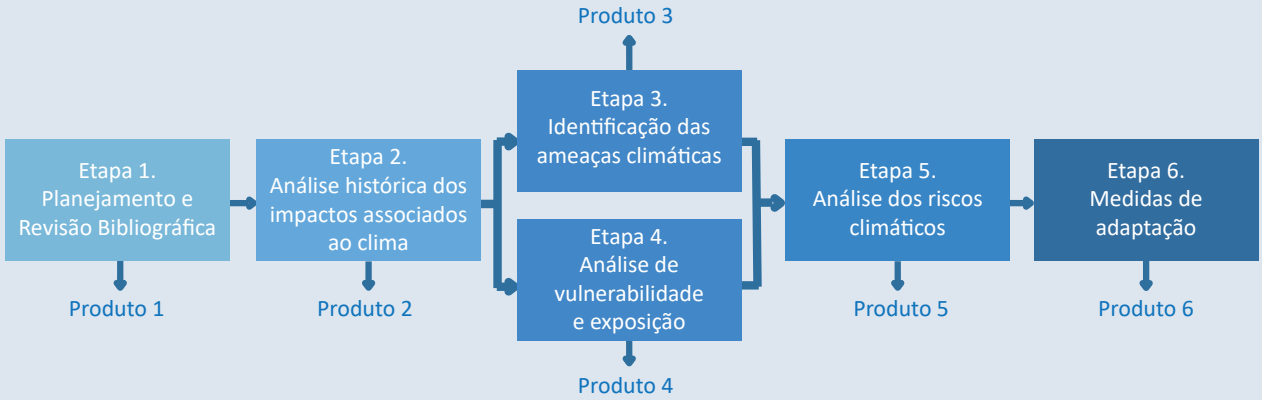
Para o alcance dos resultados desejados, além de extensa revisão bibliográfica e reuniões técnicas entre os atores do projeto, foram realizadas também oficinas de trabalho para consulta e escuta de representantes de instituições governamentais federais e concessionárias que atuam no setor de transporte terrestre ferroviário e rodoviário brasileiro.

A seguir é apresentada a metodologia do levantamento de risco climático utilizada e os principais resultados obtidos para cada modo de transporte, bem como uma lista de potenciais medidas de adaptação.

Metodologia

O estudo se dividiu em seis grandes etapas, conforme fluxo metodológico apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Etapas e produtos.



A Etapa 1, Planejamento e Revisão Bibliográfica, teve como objetivo levantar as metodologias de avaliação, levantamento e análise de risco climático e identificar a mais adequada para o contexto dos transportes terrestres brasileiros. A etapa também contou com a definição dos atores-chaves para o desenvolvimento do estudo.

Na Etapa 2 foi desenvolvida a análise histórica dos impactos relacionados ao clima nas infraestruturas federais de transportes terrestres brasileiras, de forma a identificar os principais impactos climáticos na infraestrutura de transporte ferroviário e rodoviário. Para isso, foi realizada a análise de dados e séries históricas e consultas a atores-chaves (selecionados na Etapa 1), por meio de reuniões, formulários e oficinas. A etapa também contou com o desenvolvimento do modelo conceitual para os diferentes riscos através da construção de cadeias de impacto.

Em seguida, foi realizada a Identificação das ameaças climáticas (Etapa 3), que teve como objetivo definir os indicadores climáticos para cada impacto selecionado e os critérios para a elaboração dos cenários de mudança do clima (p.ex., período base, horizonte temporal, cenários de emissões de gases de efeito estufa - GEE). Para a ponderação dos indicadores climáticos, aplicou-se a técnica multivariada Análise de Máxima Covariância (ACM), a qual consiste em identificar e destacar as relações mais significativas no conjunto de dados utilizado.

A Etapa 4, Análise de vulnerabilidade e exposição, teve como objetivo levantar o nível de sensibilidade e capacidade adaptativa (vulnerabilidade) e o nível de exposição de cada tipo de infraestrutura para os diferentes impactos selecionados na Etapa 2, por meio da consulta a especialistas. Nessa etapa foram selecionados os indicadores de vulnerabilidade e exposição para cada impacto analisado, a partir da bibliografia existente e dos dados disponíveis (levantados na Etapa 1), A análise considerou apenas dados georreferenciados e disponíveis para todo o território nacional. As principais bases utilizadas para dados de exposição e sensibilidade da infraestrutura foram provenientes do Plano Nacional de Logística (PNL-2035, MInfra 2021), do Sistema

Nacional de Viação (SNV) e dados do DNIT, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e das concessionárias, repassados pelo Ministérios dos Transportes. Com a definição dos indicadores, os dados brutos foram normalizados e ponderados em oficinas participativas e reuniões técnicas.

Com os resultados das etapas 3 e 4, ou seja, diante dos indicadores de ameaça, vulnerabilidade e exposição das infraestruturas de transportes terrestres para os modos ferroviário e rodoviário, foi possível elaborar a Análise de Risco Climático (Etapa 5) de forma detalhada. A análise de risco climático considerou tanto aspectos operacionais quanto estruturais e resultou em Índices de Risco Climático (IRC) para os modos de transporte ferroviário e rodoviário, bem como, na análise de seus impactos.

O IRC foi obtido em função da interação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade, sem atribuição de pesos específicos para cada componente de risco, conforme a metodologia aplicada para o cálculo de risco de impacto no setor de energia, disponível na plataforma AdaptaBrasil-MCTI (MCTI, INPE & RNP, 2022) e adaptada para esse estudo, segundo a Equação 1:

Equação 1 - Cálculo de risco de impacto.

$$\text{RISCO} = \frac{(\text{AMEAÇA} + \text{EXPOSIÇÃO} + \text{VULNERABILIDADE})}{3}$$

Os valores normalizados tanto do IRC quanto dos componentes foram classificados em cinco classes, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala dos 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

Nessa classificação linear, os riscos “alto” e “muito alto” não significam necessariamente que o nível de criticidade é alto, pois esta é uma avaliação relativa e não absoluta.

CONCEITOS:

Risco climático: potencial para consequências (impactos), onde algo de valor pode ser afetado e o resultado é incerto.

Componentes do risco climático:

- **Ameaça climática:** potencial de ocorrência de um evento climático que pode causar impactos à saúde, danos à propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, ecossistemas;
- **Exposição:** presença de pessoas, meios de subsistência, ecossistemas e seus serviços, infraestrutura ou ativos econômicos e sociais em lugares que poderiam ser adversamente afetados;
- **Vulnerabilidade:** propensão ou predisposição a ser adversamente afetada. A vulnerabilidade é composta por sensibilidade e capacidade adaptativa.

Fonte: IPCC (2022).

Por fim, a Etapa 6 (Medidas de Adaptação) teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sistemática e compreensiva, em âmbito nacional e internacional, sobre medidas de adaptação à mudança do clima para as infraestruturas de transportes terrestres. As medidas de adaptação foram classificadas em diferentes categorias, tais como estrutural/não-estrutural, fase no ciclo do ativo e nível de planejamento.



Créditos: DNIT

Principais Resultados

Na **Etapa 1 (Planejamento e Revisão Bibliográfica)** foram levantados os dados e as informações necessárias para identificar impactos na infraestrutura de transportes terrestres decorrentes de ameaças climáticas, em análises históricas, considerando aspectos operacionais e estruturais, que embasaram o desenvolvimento da **Etapa 2**.

A partir desse levantamento, por meio de reuniões, formulários e oficinas, foram consultadas 41 instituições, entre órgãos públicos federais e concessionárias, além de 62 atores-chaves para identificação dos impactos. Tais impactos foram priorizados por meio de um processo participativo[1], resultando em **três impactos da mudança do clima comuns às ferrovias e rodovias**, a saber: impactos devido a deslizamentos, a erosão e impactos diretos devido a altas temperaturas; e **dois impactos da mudança do clima exclusivos das rodovias**, a saber: decorrentes de alagamentos/inundações e de queimadas/incêndios, apresentados na Figura 5. Salienta-se que, no presente estudo, optou-se por concentrar-se principalmente nos impactos biofísicos (intermediários), ao invés de impactos sobre a infraestrutura, devido à complexidade das inter-relações que exige a utilização de dados mais específicos, em falta atualmente no contexto brasileiro. Os resultados foram validados e consolidados em oficinas de trabalho em conjunto com o Comitê Gestor do Estudo, integrado por técnicos do MT, MCTI, INPE e GIZ, entre outros atores relevantes.

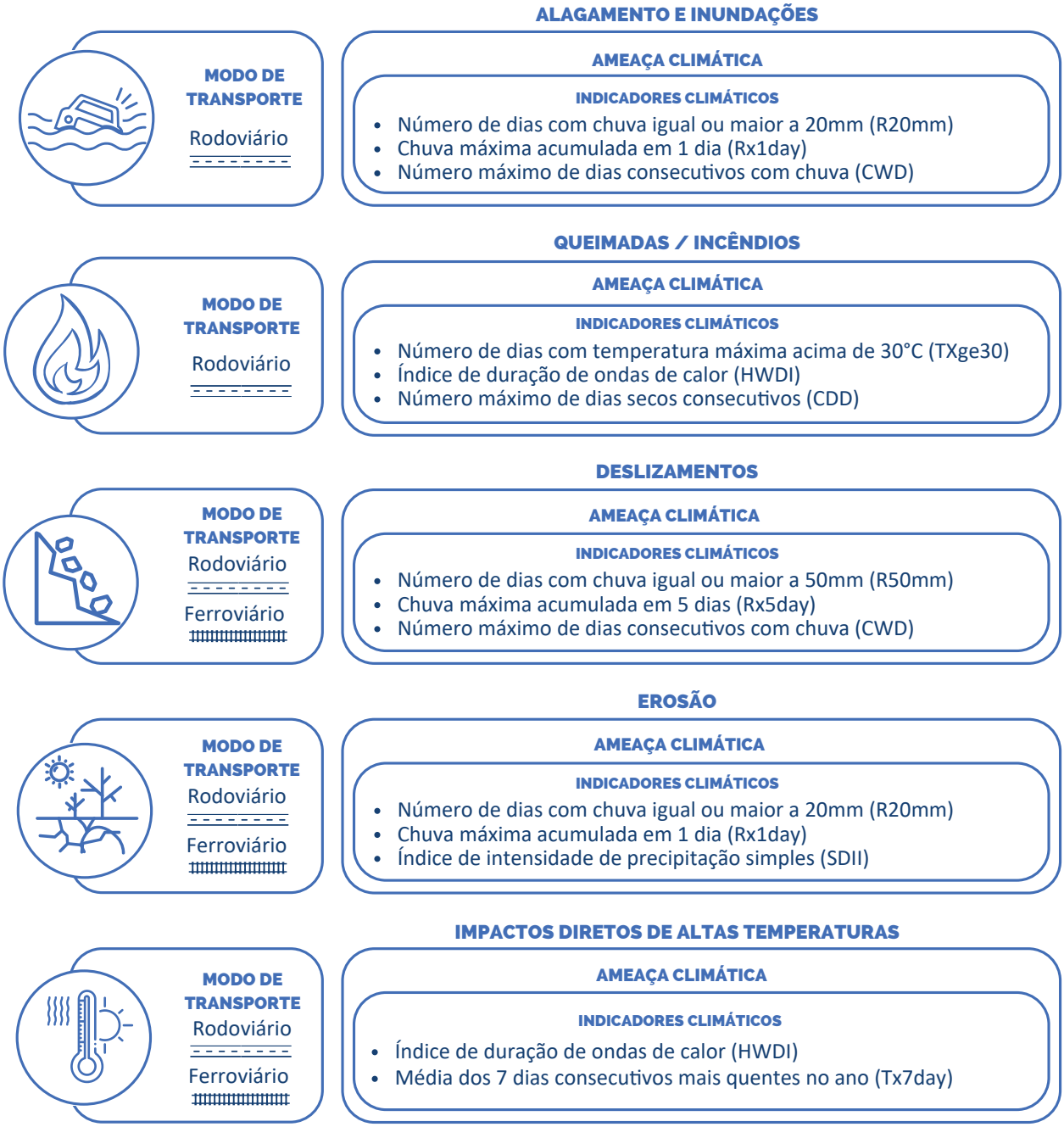
Na **Etapa 3**, a partir da definição dos impactos, foram definidos os indicadores climáticos que compõem os indicadores temáticos da ameaça climática (Figura 5). Para a seleção e a priorização dos indicadores de ameaça climática, os seguintes critérios foram aplicados: (i) revisão da literatura; (ii) análise de ocorrência versus dados meteorológicos; (iii) análises de tendência e (iv) análise de cenários de mudanças futuras.

[1]Para maiores detalhes sobre a metodologia participativa de priorização, ver o Produto 2 do estudo "Impactos e riscos da mudança do clima nos setores rodoviário e ferroviário".



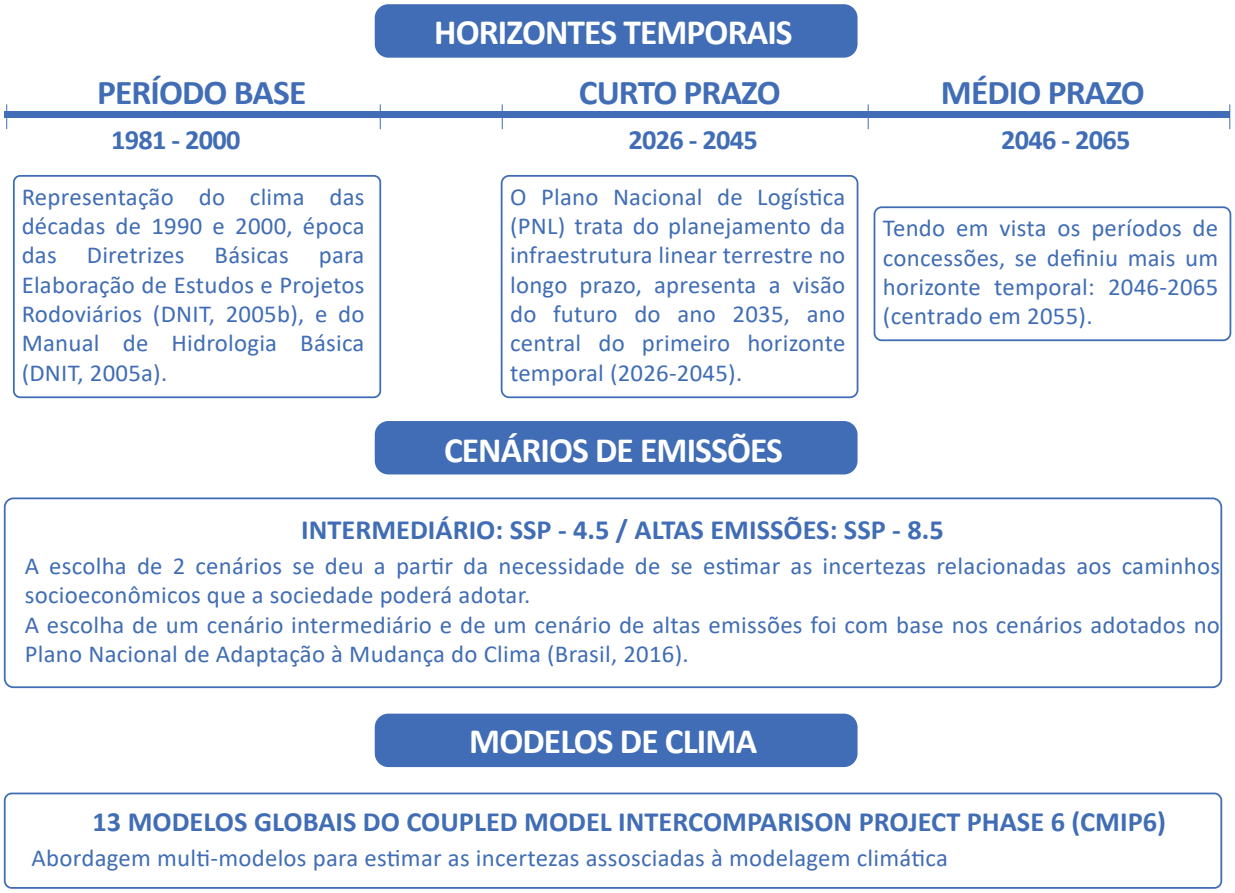
Créditos: Agência Brasil

Figura 5 - Indicadores climáticos selecionados para os impactos priorizados nas ferrovias e rodovias.



Além disso, foram definidos na **Etapa 3** os critérios para a construção dos cenários de mudança do clima, apresentados na Figura 6. O período base ou período de referência considera os anos de 1981-2000. Os dados usados para o cálculo do período base são dados observacionais provenientes do *Climate Prediction Center* (CPC, CHEN *et al*., 2008) e do *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS, FUNK *et al*., 2015) para os indicadores de temperatura e precipitação, respectivamente. Para o cálculo dos cenários de mudança do clima, utilizou-se o método *Change Factor* (ANANDHI *et al*., 2011) com base em dados das rodadas históricas e dos cenários de emissões de GEE de modelos de clima. Os cenários de emissões de GEE considerados neste estudo são o intermediário (*Shared Socioeconomic Pathways* - SSP2-4.5) e de altas emissões (SSP5-8.5) provenientes de projeções de 13 modelos globais de clima do C*oupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6).

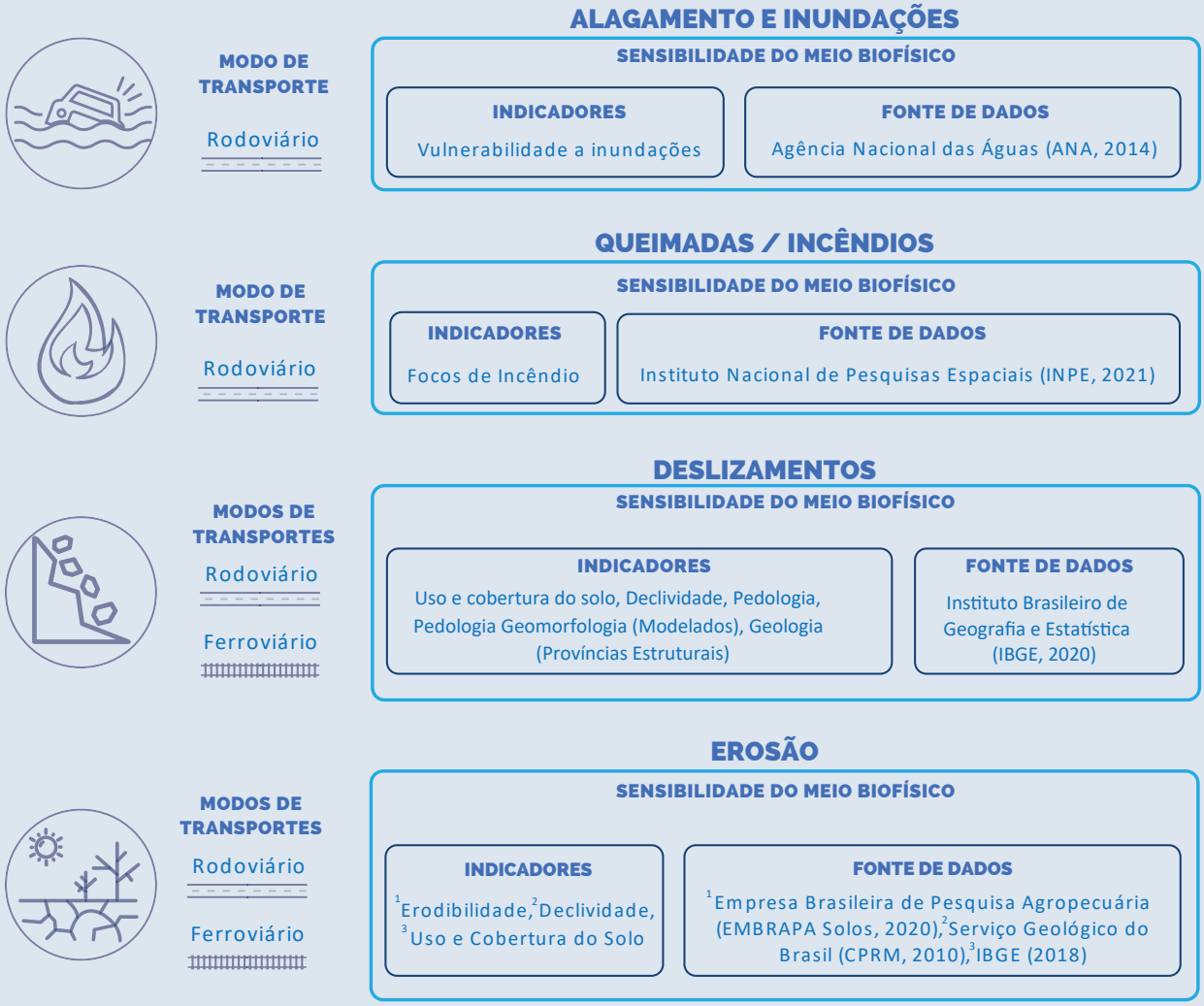
Figura 6 - Critérios para customização das informações climáticas.



A partir dos dados disponíveis, na **Etapa 4** foi feita a análise da vulnerabilidade e exposição, onde foram levantados e ponderados três indicadores de exposição para o modo rodoviário: localização do eixo central da rodovia (base de dados do Ministério dos Transportes); localização das Obras de Arte Especiais (OAE, base de dados do DNIT); e Volume Médio Diário Anual (VMDA, base de dados do DNIT) e dois indicadores de exposição para o modo ferroviário (localização do trecho ferroviário - base de dados do Ministério dos Transportes e Volume de Veículos - base de dados do PNL 2035).

Já a vulnerabilidade foi composta por indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa. A sensibilidade da infraestrutura ferroviária foi composta pelo tipo de bitola (base de dados do Ministério dos Transportes) e pelo peso da carga (base de dados do PNL). Já a sensibilidade rodoviária foi composta pelo Índice de Condição da Superfície (ICS) (base de dados do DNIT), pelo tipo de rodovias (base de dados do DNIT) e pelo peso da carga transportada (base de dados do PNL-2035). A sensibilidade biofísica de ambos os modos de transporte varia de acordo com o impacto intermediário analisado (ver Figura 7). Vale ressaltar que, no contexto das altas temperaturas, o impacto é direto na infraestrutura, ou seja, não há um impacto biofísico intermediário. Dessa forma, não há indicador de sensibilidade do meio biofísico para esse caso em específico.

Figura 7 - Indicadores de sensibilidade do meio biofísico e base de dados brutos utilizados para os impactos priorizados nas ferrovias e rodovias.



Especificamente em relação à capacidade adaptativa, considerou-se que o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), que serve de parâmetro para avaliar a eficiência e a qualidade da gestão ambiental nos empreendimentos de infraestrutura de transportes, configurava-se como o melhor indicador para representar essa subcomponente da vulnerabilidade. Entretanto, como o índice em questão só analisa as rodovias e as ferrovias concessionadas, considerou-se que ele não apresentava abrangência nacional suficiente para ser incorporado na base de dados.

As figuras 8 e 9 ilustram a estrutura hierárquica dos indicadores para o modo ferroviário e rodoviário, respectivamente. Os indicadores de exposição e de sensibilidade da infraestrutura utilizados foram os mesmos para todos os impactos dentro de um mesmo modo, havendo alterações nos indicadores climáticos (ver Figura 5) e de sensibilidade do meio biofísico (ver Figura 7).

Figura 8 - Estrutura hierárquica entre as composições de indicadores e índices de risco climático de deslizamento, erosão e altas temperaturas para infraestrutura ferroviária.

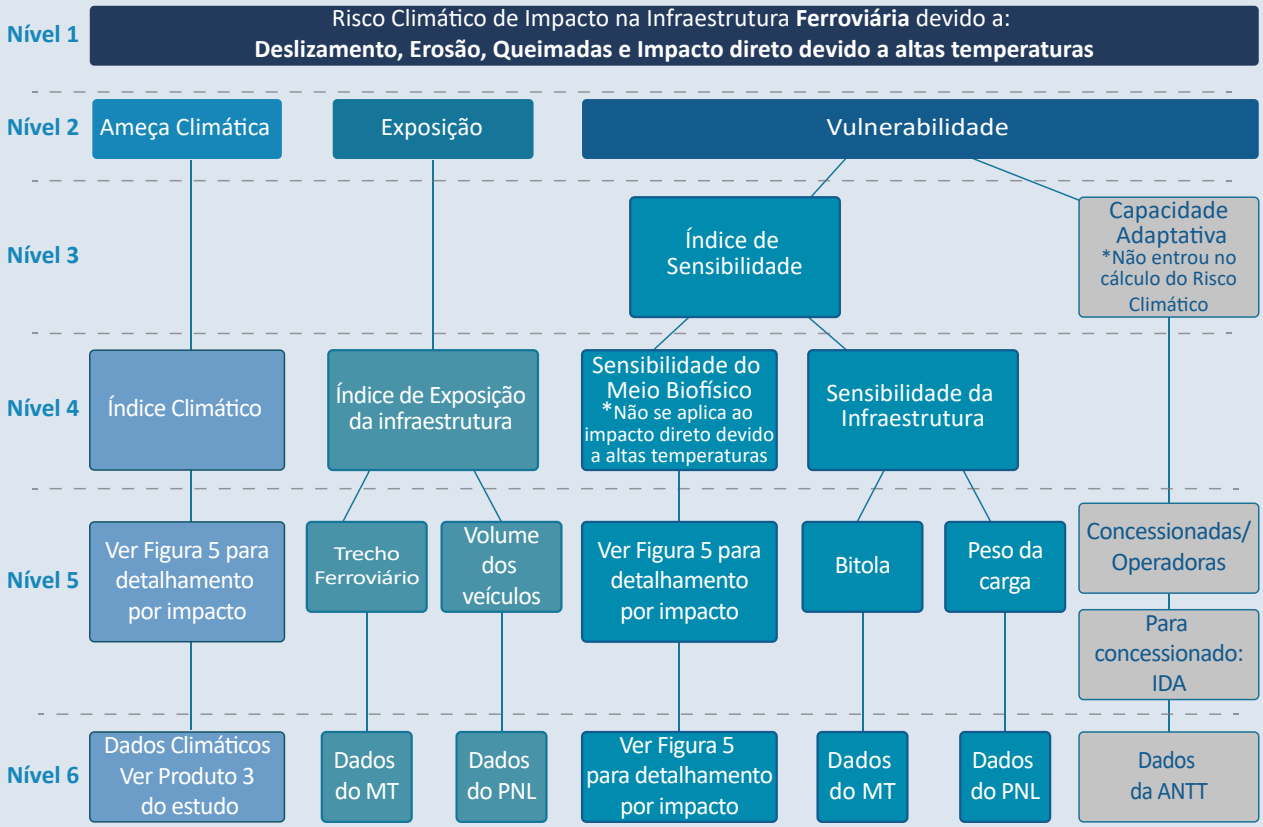
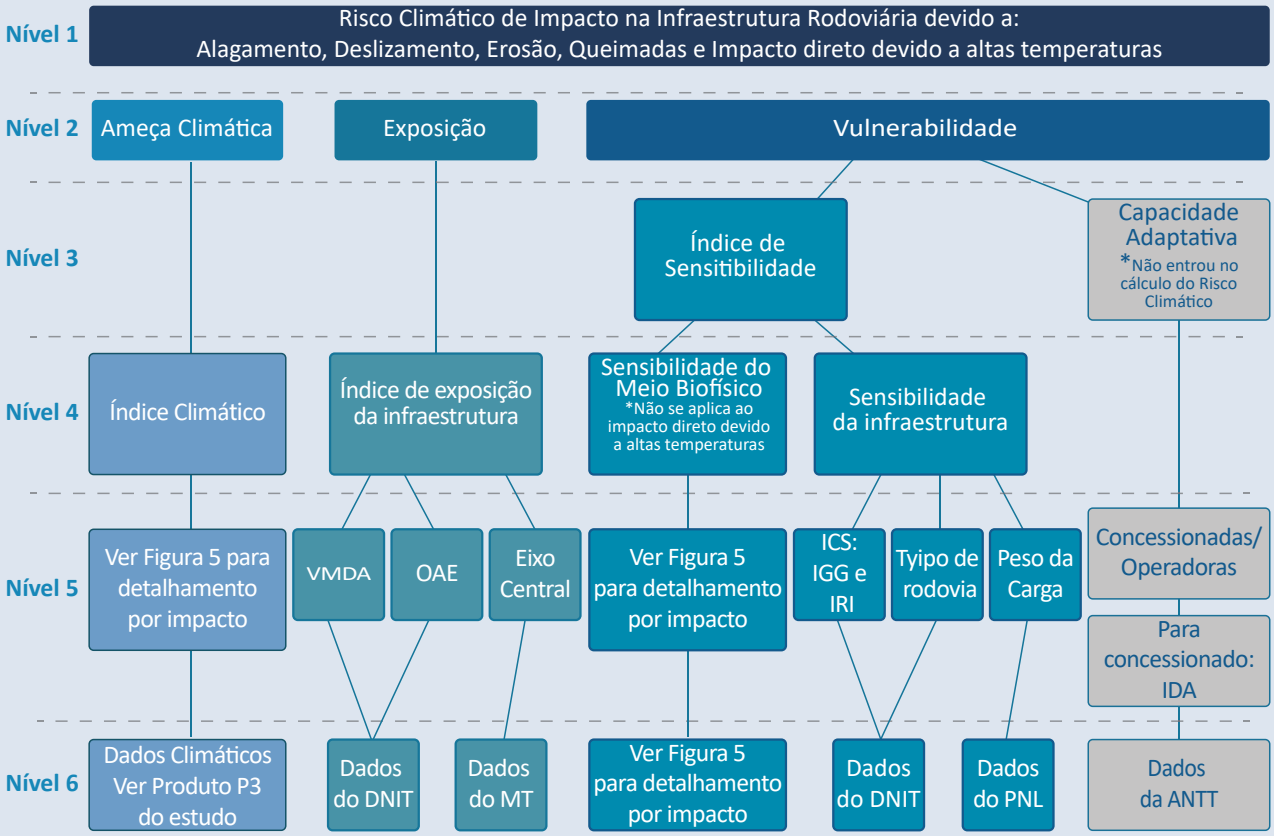
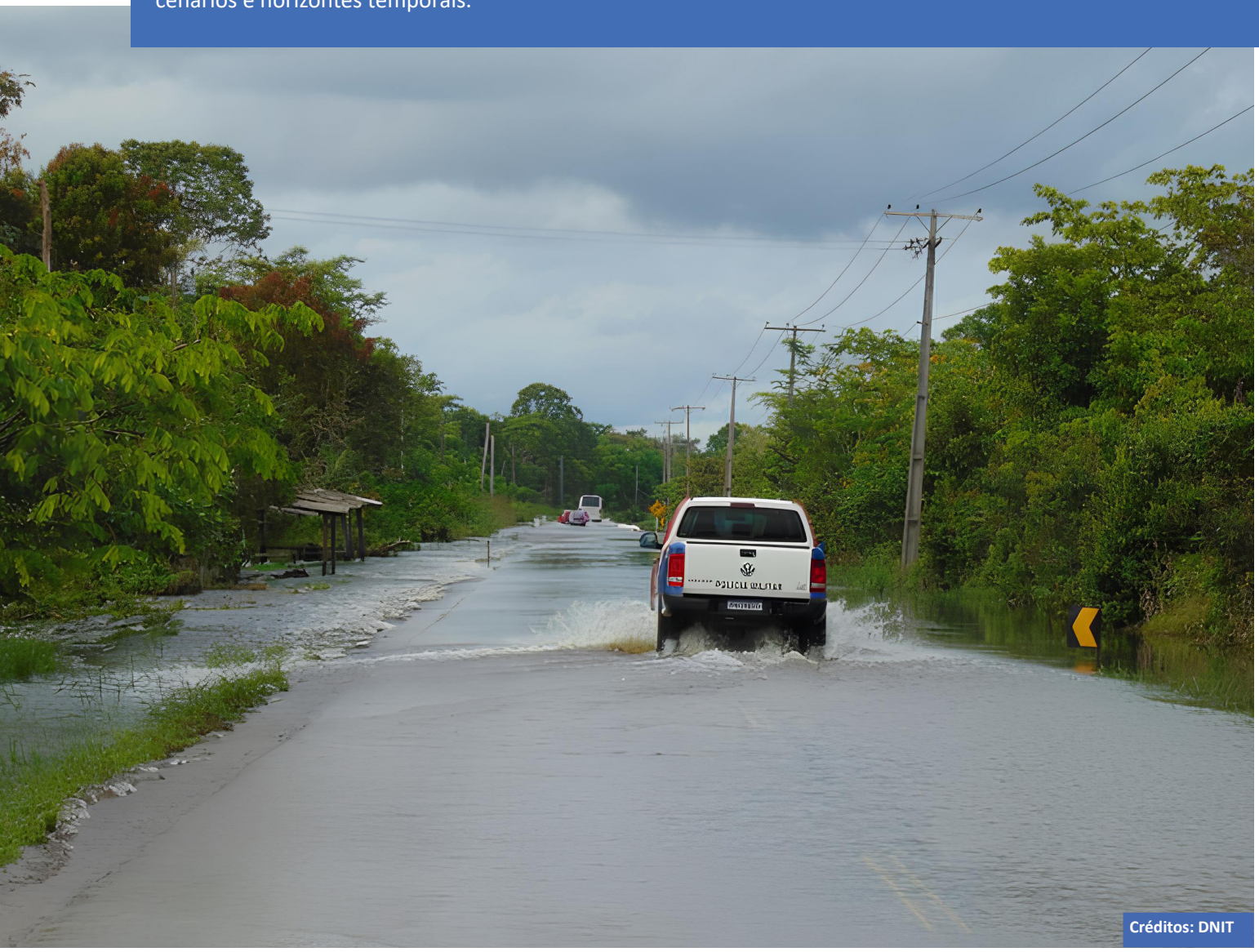


Figura 9 - Estrutura hierárquica entre as composições de indicadores e índices de risco climático de alagamento, deslizamento, erosão, queimadas e altas temperaturas para infraestrutura rodoviária.



Para compreender os mapas dos componentes do IRC (Nível 1), é necessário observar os mapas relacionados à ameaça climática, à exposição e à vulnerabilidade (Nível 2 da estrutura hierárquica), já que o risco é o resultado da combinação destes componentes.

Cabe destacar ainda que, em um mesmo modo de transporte, os mapas de ameaça climática variam entre os impactos e entre os cenários e horizontes temporais analisados, os mapas de vulnerabilidade só variam de impacto para impacto, e os mapas de sensibilidade são considerados os mesmos em todos os impactos, cenários e horizontes temporais.



Créditos: DNIT

O componente de vulnerabilidade foi calculado apenas com informações sobre sensibilidade do meio biofísico e sensibilidade da infraestrutura (Nível 3), uma vez que os dados necessários para capacidade adaptativa não estavam disponíveis ou não existiam para toda a malha ferroviária e rodoviária até a conclusão deste estudo, de tal modo que não puderam ser incorporados na análise.

A seguir são apresentadas informações gerais sobre a malha ferroviária e rodoviária brasileira, que auxiliam na compreensão dos resultados das etapas 5 (Análise de Risco Climático) e 6 (Medidas de Adaptação).

Ferrovias e índices climáticos


Créditos: Prefeitura de Divinópolis/MG

Esta seção tem como objetivo destacar os principais resultados relativos ao levantamento de risco climático para os impactos biofísicos de deslizamento e erosão e para os impactos diretos na infraestrutura ferroviária devido a altas temperaturas. Cabe salientar que a análise temporal do risco climático se associa ao indicador de ameaça climática, dado que, dentre os indicadores envolvidos no cálculo do levantamento de risco climático, apenas esse foi avaliado considerando sua variação ao longo do período analisado. Nesse sentido, os indicadores de exposição e vulnerabilidade foram considerados como variáveis constantes, atentando-se às condições atuais de cada trecho ferroviário. Ao avaliar esses indicadores como variáveis constantes, foi possível compreender o quanto uma ameaça climática poderá afetar as ferrovias, caso nenhuma medida de adaptação seja adotada.

- **Índices de Risco Climático (IRC) - Ferrovias**

Ao considerar os impactos relativos aos **deslizamentos**, o IRC da infraestrutura ferroviária para o período base apresentou nível alto e muito alto na Região Sudeste, com destaque para:

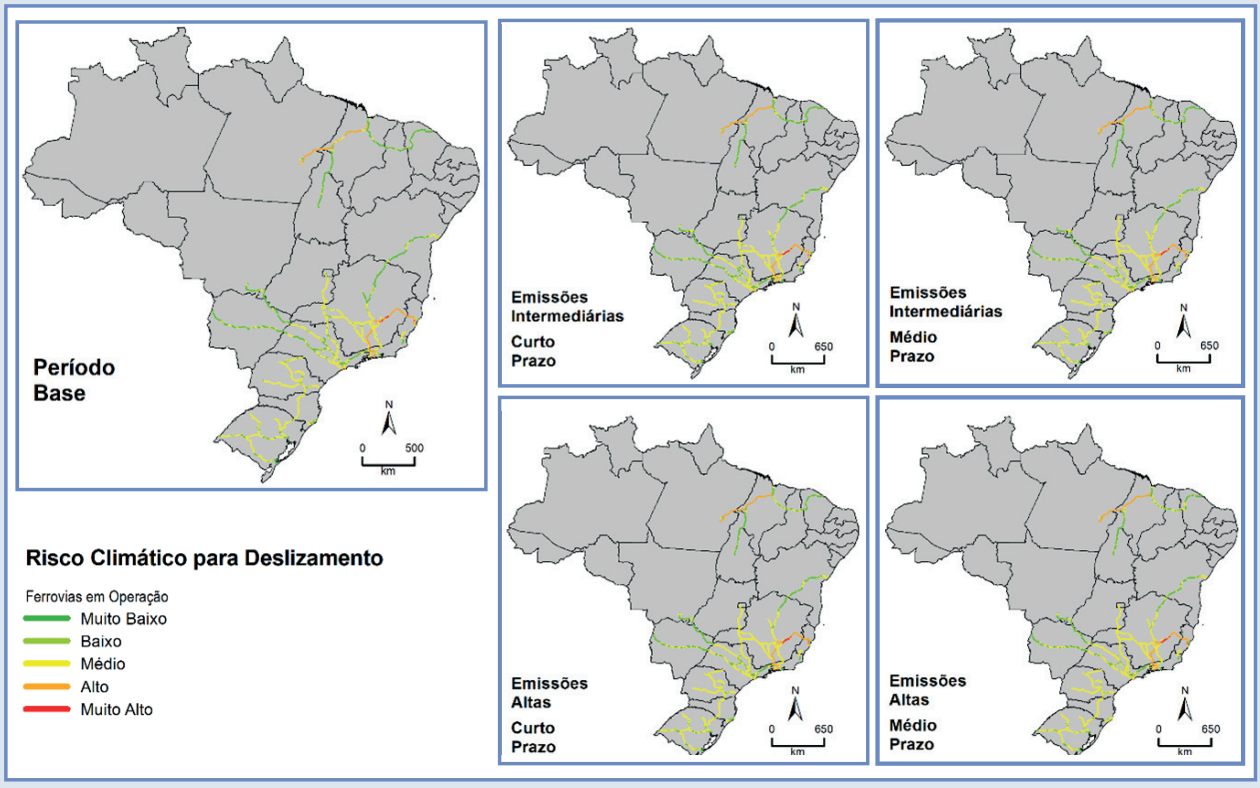
- São Paulo (Estrada de Ferro do Litoral, operada pela MRS Logística);
- Minas Gerais/Rio de Janeiro (Estrada de Ferro Minas x Rio, operada pela MRS Logística);
- Espírito Santo/Minas Gerais (Estrada de Ferro Vitória a Minas, operada pela Vale S.A); e
- Norte/Nordeste no eixo Pará-Maranhão, mais especificamente na Estrada de Ferro Carajás, operada pela Vale S.A.


Créditos: TVCI

Ressalta-se que esses resultados do IRC advêm principalmente dos componentes de **exposição**, destacando as ferrovias com maior tráfego de composições, especialmente aquelas estradas de ferro associadas ao escoamento da produção mineral brasileira, e **vulnerabilidade**, composta pela sensibilidade da infraestrutura, com destaque às regiões que transportam um maior peso de carga, e sensibilidade do meio biofísico aos deslizamentos, principalmente pela presença da Serra do Mar (altas declividades). Nesta região, podem ser encontrados níveis médios e altos para erodibilidade e uso e cobertura do solo profundamente antropizados.

Em relação especificamente à **ameaça climática**, verifica-se que apenas trechos de ferrovias no litoral de São Paulo se encontram com nível alto. Além destes, destacam-se trechos com nível de ameaça médio no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. Essa realidade é constatada tanto no período base quanto nos cenários futuros. De forma geral, observa-se um padrão de redução das extensões de ferrovias sob baixo risco climático ao impacto deslizamento e um aumento de tais extensões sob risco médio, alto ou muito alto, conforme se modifica o cenário de emissões ou o horizonte temporal. Essa variação decorre das mudanças observadas no subíndice de ameaça climática e não foram identificadas variações significativas entre cenários e horizontes, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de risco de impacto de deslizamento em ferrovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



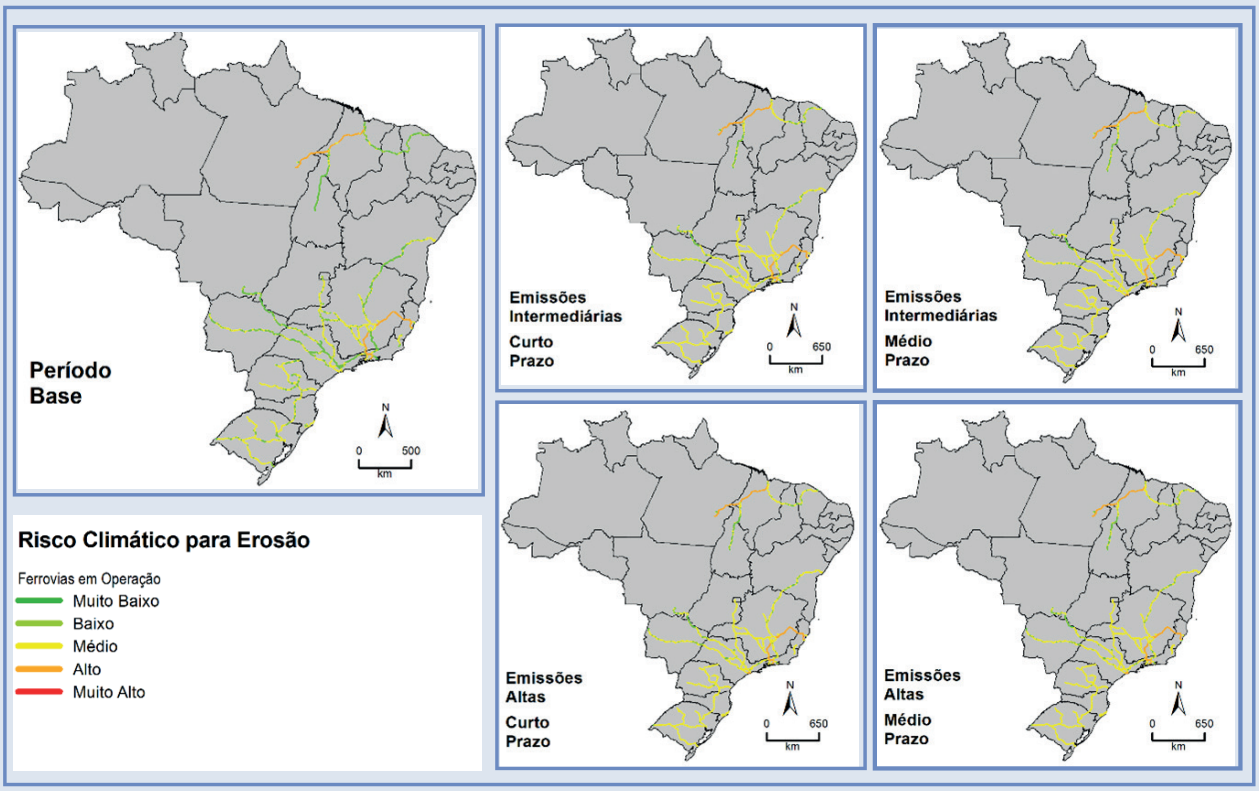
Quanto aos impactos devido à **erosão**, nota-se uma configuração de trechos com nível alto concentrados em:

- Pará/Maranhão (Estrada de Ferro Carajás, operada pela Vale S.A);
- Rio de Janeiro/Minas Gerais (Estrada de Ferro Minas x Rio, operada pela MRS Logística); e
- Espírito Santo/Minas Gerais (Estrada de Ferro Vitória a Minas, operada pela Vale S.A).

Além disso, conforme já exposto nas considerações quanto aos deslizamentos de terra, os componentes de risco de impacto que mais influenciam no cálculo do IRC em relação à erosão são a **exposição** e a **vulnerabilidade**. A ameaça climática de erosão para o período base apresentou nível baixo em quase a totalidade do país (98,2%). Já nas projeções, aproximadamente 60% da malha ferroviária apresenta níveis médios de ameaça climática.

Cabe ainda destacar que se notam poucas variações de nível de risco entre os cenários futuros, porém notável diferença entre o período base e cenários futuros, conforme pode ser identificado na Figura 11. Isso ocorre em virtude das variações ocorridas na **ameaça climática**, que fazem com que, entre o período base e os cenários futuros, ocorra um aumento de 27% na extensão da quilometragem das ferrovias com risco climático médio, o que representava 1,4% dos trechos em nível médio no período base, passando, por exemplo, para 59,8% no cenário de altas emissões (SSP5-8.5) em um horizonte de médio prazo (2046-2065).

Figura 11 - Mapa de risco de impacto de erosão em ferrovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



Em análise relativa aos **impactos diretos devido às altas temperaturas** na infraestrutura ferroviária federal brasileira, os maiores IRC foram observados na Região Sudeste, com destaque para as ferrovias:

- que ligam Minas Gerais ao Espírito Santo (Estrada de Ferro Vitória a Minas, operada pela Vale S.A) – incluindo trechos com nível muito alto e alto;
- que ligam Minas Gerais ao Rio de Janeiro (Estrada de Ferro Minas x Rio, operada pela MRS Logística) – incluindo trechos com nível alto e médio;
- no Norte/Nordeste, o eixo Pará-Maranhão (Estrada de Ferro Carajás, operada pela Vale S.A) – incluindo trechos com nível alto e médio; e
- no Sul, um trecho no Rio Grande do Sul, entre Cacequi e Dilermando de Aguiar (Estrada de Ferro Porto Alegre-Uruguaiana) – incluindo trechos com nível alto e médio.

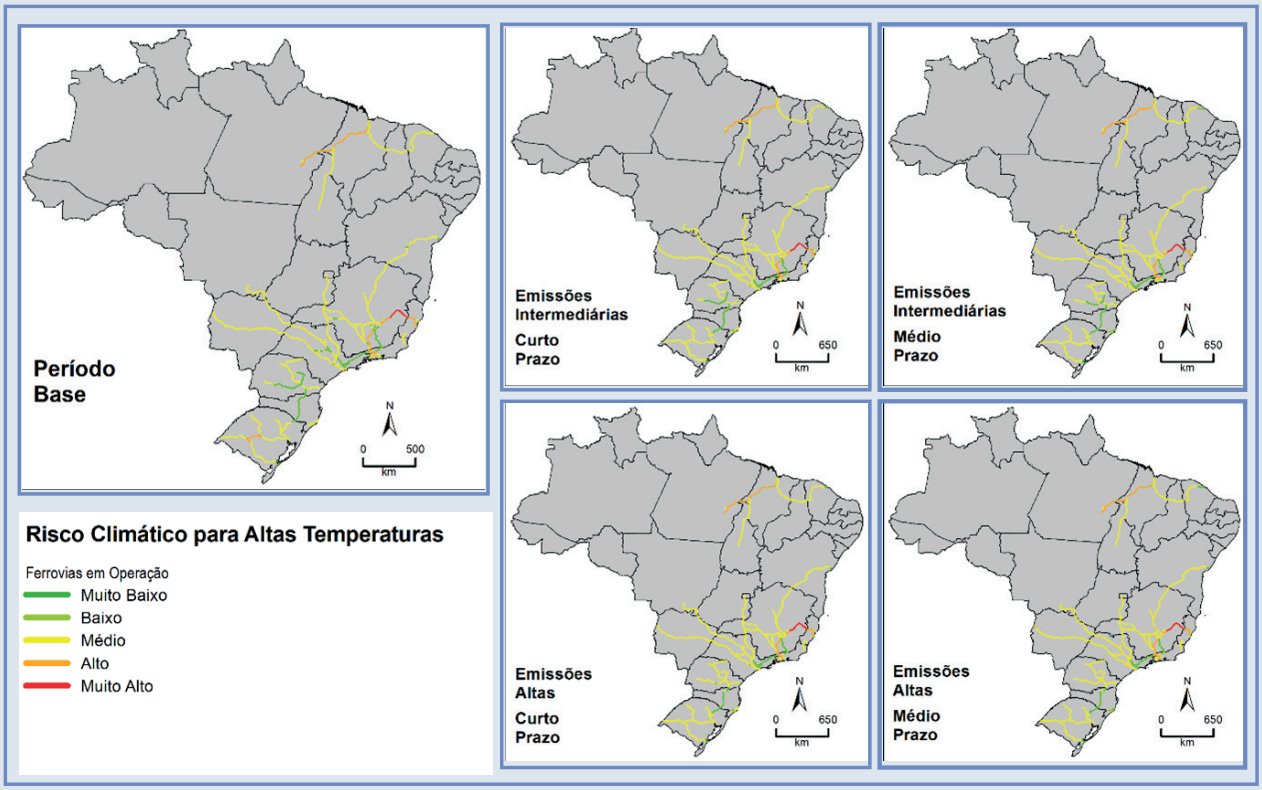
Destaca-se, mais uma vez, a expressiva contribuição das componentes **exposição** e **vulnerabilidade** para determinação do nível do IRC quanto aos impactos diretos devido às altas temperaturas. Cabe, entretanto, salientar que diferente dos impactos intermediários (ou indiretos) apresentados anteriormente, como se trata de um impacto direto na infraestrutura, não foram considerados indicadores de sensibilidade do meio biofísico para o cálculo da vulnerabilidade.

Outro ponto que merece destaque é o alto nível de **ameaça climática** nas ferrovias localizadas no estado do Rio Grande do Sul, no trecho entre Uruguaiana e Santa Maria (Estrada de Ferro Porto Alegre-Uruguaiana), que fez com que essa região fosse incluída nas áreas com maiores IRC quanto aos impactos diretos devido às altas temperaturas, diferentemente dos demais impactos analisados anteriormente.

De acordo com o exposto na Figura 12, pela análise comparativa entre o período base e os cenários e horizontes, destacam-se as reduções nos trechos de ferrovias sob nível baixo de risco climático à medida que se aumentam os cenários de emissões e/ou modificam-se os horizontes temporais (havendo uma ampliação apenas diante do cenário de emissões altas, considerando-se um horizonte temporal de médio prazo), e os crescimentos para as áreas sob risco médio e muito alto.

Vale ressaltar, também, as variações verificadas nos mapas de ameaça climática, que representaram um sinal de aumento no nível deste componente do risco climático, em especial na Região Centro-Oeste brasileira, e em alguns estados localizados nas regiões Sudeste e Nordeste; no nordeste do estado de São Paulo (Estrada de Ferro Noroeste do Brasil), bem como, em partes dos estados de Minas Gerais e da Bahia (Estrada de Ferro Bahia-Minas FCA 116).

Figura 12 - Mapa de risco de impacto de altas temperaturas em ferrovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



Rodovias e índices climáticos

Esta seção busca salientar os principais resultados do levantamento de risco climático para os impactos biofísicos de alagamento/inundação, deslizamento, erosão e queimada e para os impactos diretos na infraestrutura rodoviária devido às altas temperaturas. Vale mencionar que, assim como estabelecido na análise de ferrovias, a análise temporal para as rodovias considerou variações apenas na ameaça climática, sendo os indicadores de exposição e vulnerabilidade mantidos constantes, atentando-se às condições atuais de cada trecho rodoviário.

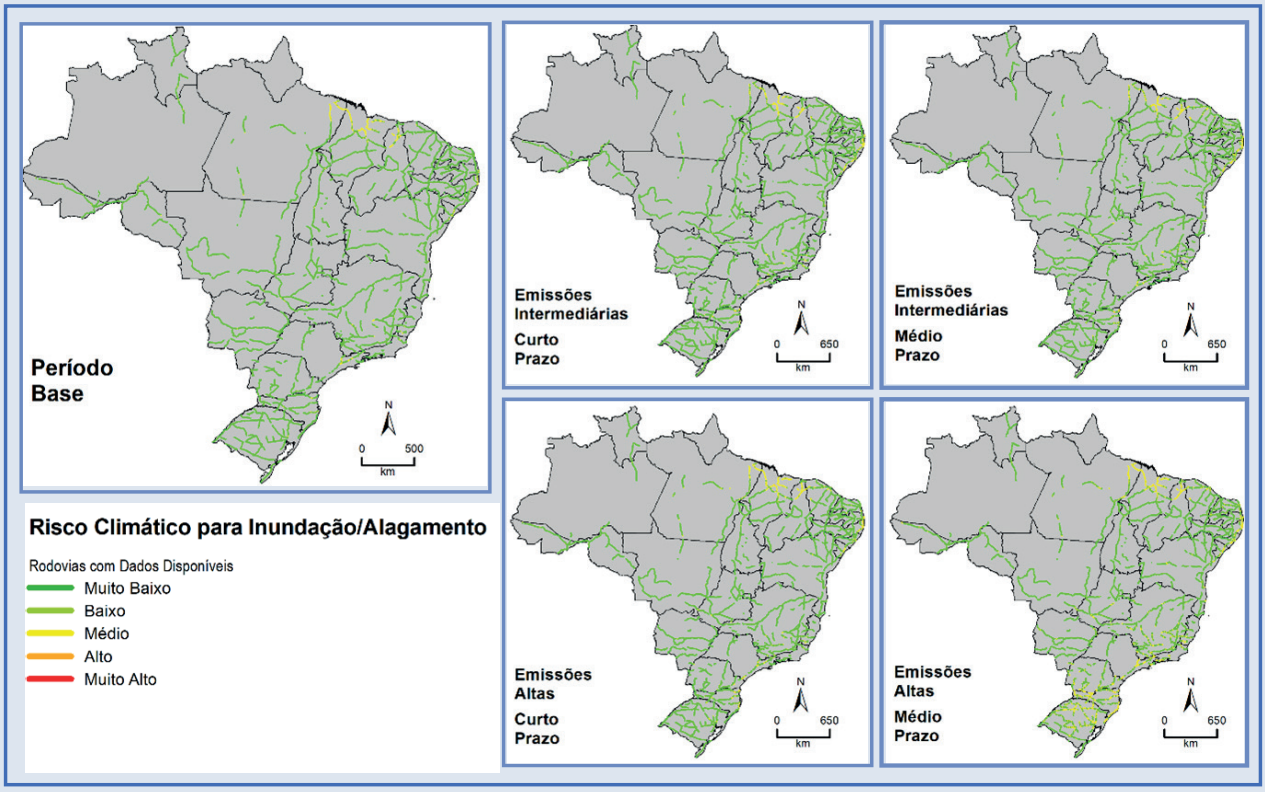
Índice de Risco Climático (IRC) - Rodovias

Quanto a **alagamento/inundação**, no período base, todas as rodovias apresentaram nível de IRC muito baixo ou baixo, com exceção de alguns trechos no Pará e no Maranhão, além de partes de rodovias no litoral do Nordeste, as quais têm nível de risco climático médio. Os baixos níveis de IRC advêm principalmente da **exposição**, que implica em alto e médio risco de impacto apenas em trechos da BR-116 e BR-381, em função do elevado volume de veículos que transitam por ela diariamente, e da **vulnerabilidade**, composta pela sensibilidade da infraestrutura e sensibilidade do meio biofísico, que implica em médio e alto risco apenas em trechos da BR-163, no Pará. Todas as demais rodovias têm nível baixo ou muito baixo para essas duas componentes, o que impacta diretamente nos resultados do IRC. Conforme exposto na Figura 13, destaca-se que variações quase imperceptíveis são encontradas entre o período base e os cenários de emissões intermediárias nos horizontes de curto e médio prazos. Porém, no cenário de emissões altas, nota-se um aumento do número de rodovias com nível médio de risco climático, em especial nas regiões Sul e Sudeste. No cenário de altas emissões (SSP5-8.5) para o curto prazo (2046-2065), 84,1% das rodovias se mantêm em nível baixo. Contudo, observa-se um sinal de aumento dos trechos com nível médio, em função do aumento do nível de **ameaça climática.**



Créditos: DNIT

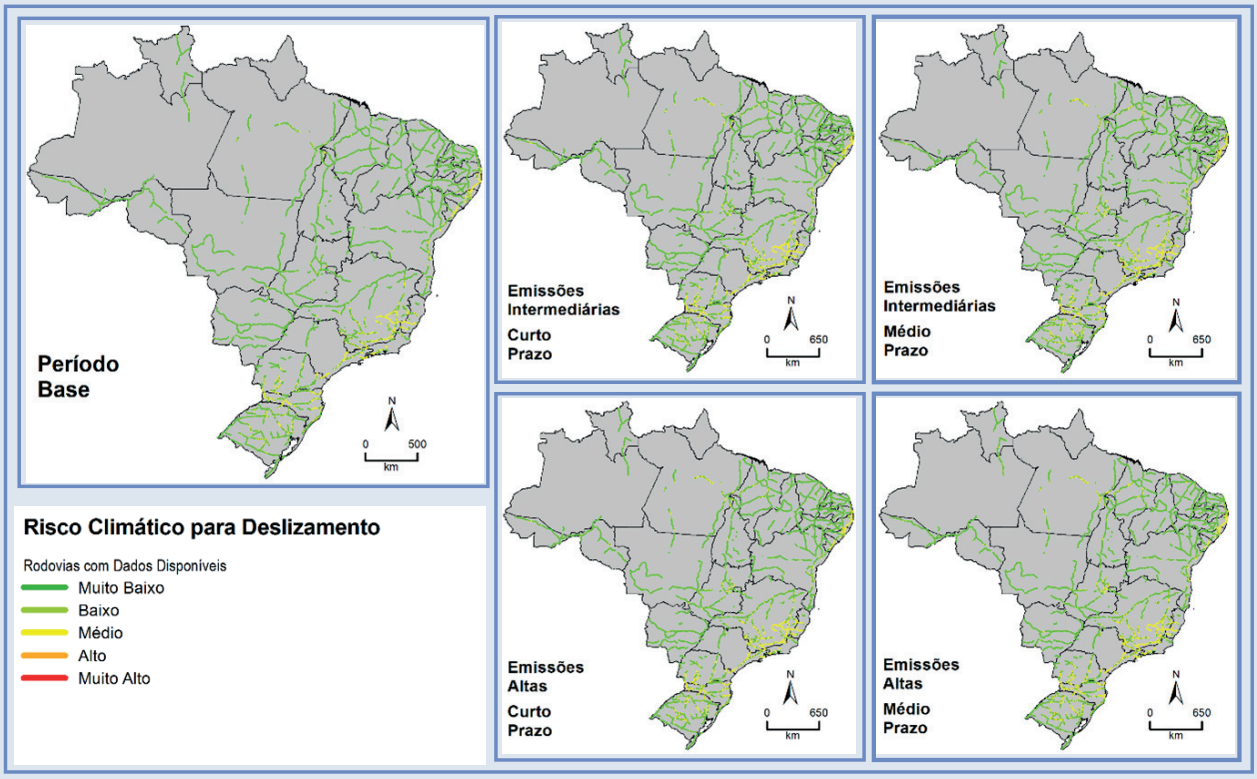
Figura 13 - Mapa de risco de impacto de inundação em rodovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



As rodovias que apresentaram os maiores níveis de IRC (nível médio) devido ao impacto de **deslizamento**, em todos os cenários e horizontes considerados no presente estudo, conforme exposto na Figura 14, estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste (Serra do Mar e Serra Geral), além de rodovias litorâneas do Nordeste. Na Região Norte apenas a BR-230 (Altamira-Marabá), no Pará, apresenta-se nesta situação devido ao nível médio para ameaça e alto para vulnerabilidade. Cabe destacar que o IRC é significativamente afetado pela componente de **vulnerabilidade**, principalmente no que se refere à susceptibilidade aos deslizamentos (relevo mais acidentado, entre outros fatores) no Sudeste e Sul (Serra do Mar e Serra Geral) e litoral dos estados de Pernambuco e de Alagoas.

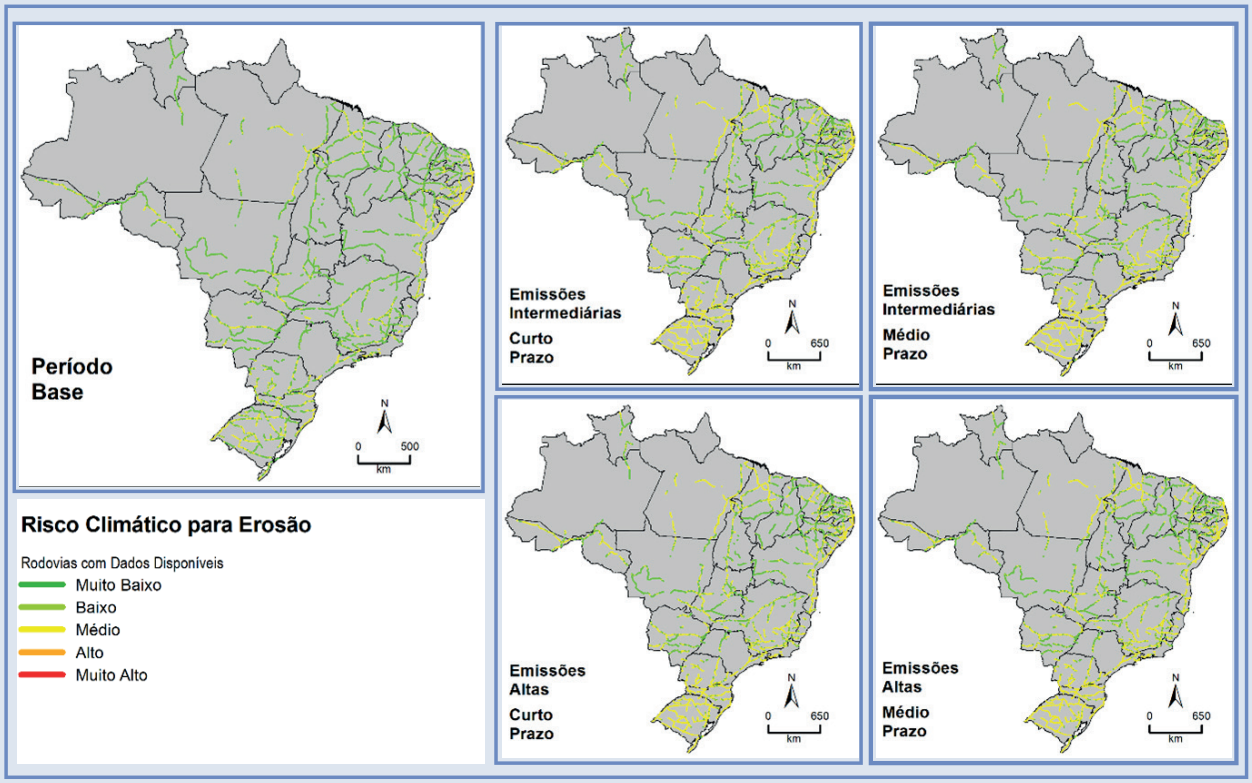
De forma geral, conforme se modifica o cenário de emissões ou o horizonte temporal, observa-se um padrão de pequena redução das extensões de rodovias sob baixo risco climático ao impacto de deslizamento e um aumento de tais extensões sob risco médio. Essa variação decorre das mudanças na componente de **ameaça climática**. Isso se deve ao aumento das áreas de nível médio de ameaça entre o período base e o cenário de altas emissões (SSP5-8.5) para o horizonte de médio prazo (2046-2065) para praticamente toda a Região Sul e para os estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás e litoral, que corresponde a BR-101.

Figura 14 - Mapa de risco de impacto de deslizamento em rodovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



Quanto ao impacto relacionado à **erosão**, que tem forte relação com o uso do solo, os trechos com IRC mais significativos, de acordo com o apresentado na Figura 15, se concentram nas rodovias no Pará, em rodovias localizadas em estados do Sul e em trechos rodoviários dos estados do Nordeste, em especial no litoral (BR-101), que apresenta risco médio de impacto na infraestrutura rodoviária. Esses resultados estão relacionados à **vulnerabilidade** à erosão, que em quase todas as rodovias apresenta nível médio ou alto de impacto, com destaque para a BR-163, no Pará, que chama a atenção por acomodar muitos trechos com nível alto e muito alto. Além disso, pode ser observado o aumento do risco climático médio em todo território brasileiro, em função do aumento do nível de risco de impacto da **ameaça climática**, quando se compara os cenários de emissões intermediárias e altas com o período base. Nesses cenários, outros trechos de IRC médio podem ser observados no litoral da Região Nordeste, além de parte dos estados do Acre, Rondônia, Pará e Maranhão.

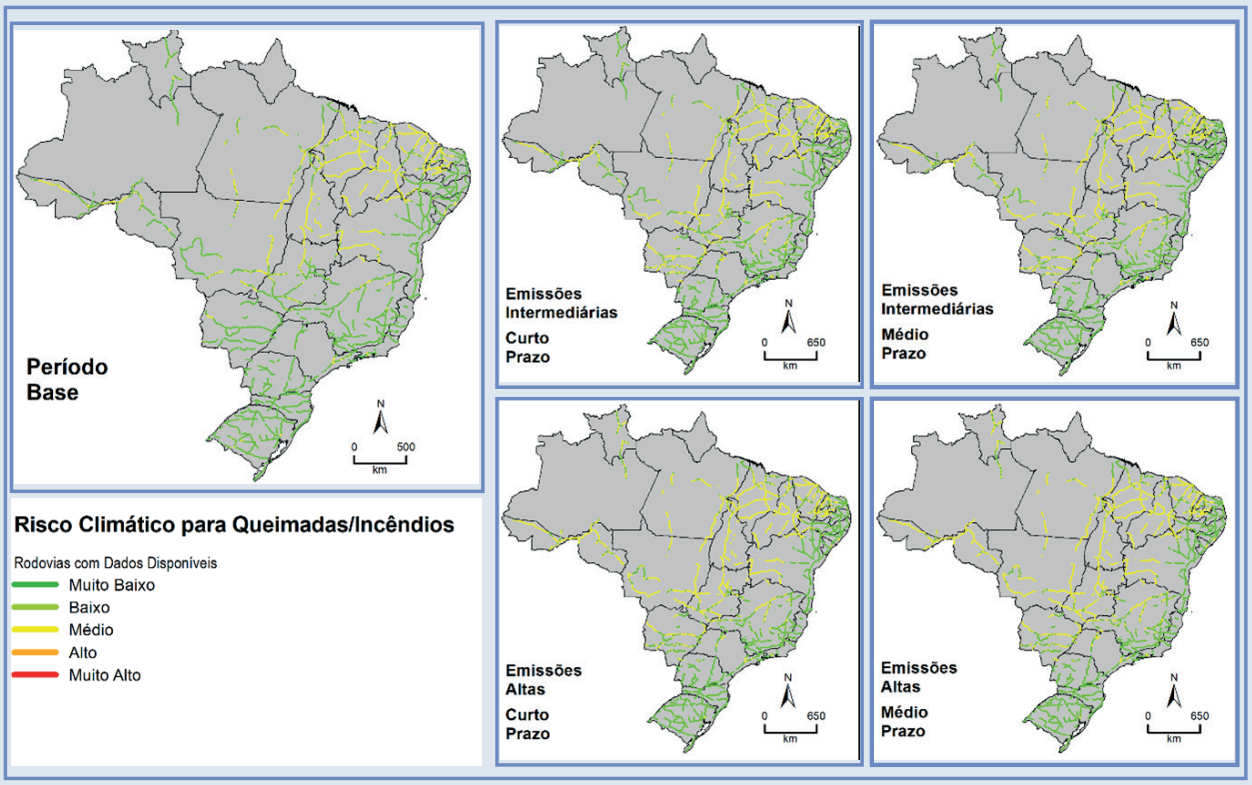
Figura 15 - Mapa de risco de impacto de erosão em rodovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



O IRC para **queimadas/incêndios** para o período base (Figura 16) é baixo para 68,1% da malha rodoviária brasileira, com 31,9% da extensão rodoviária com risco médio no interior do Nordeste brasileiro (Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte e sertão da Bahia) e parte do Norte (Tocantins e Pará). No que diz respeito à **vulnerabilidade** a queimadas/incêndios, as rodovias com nível de ameaça climática muito alto e/ou alto concentram-se nos estados do Maranhão, Piauí e Pará. Conforme modifica-se o cenário para emissões intermediárias, os trechos de rodovias sob baixo risco diminuem, se considerado o horizonte temporal de curto prazo, reduzindo progressivamente para o horizonte temporal de médio prazo, e para o cenário de emissões altas, de curto e longo prazos. Assim, os trechos sob risco médio aumentam na mesma proporção.

Esse aumento de trechos rodoviários de nível médio ocorre especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, em que os impactos das **ameaças climáticas** crescem conforme o horizonte temporal e cenários de emissões. No cenário de altas emissões (SSP5-8.5) e médio prazo (2046-2065), 50,5% dos trechos apresentam nível baixo de risco e 49,5% nível médio.

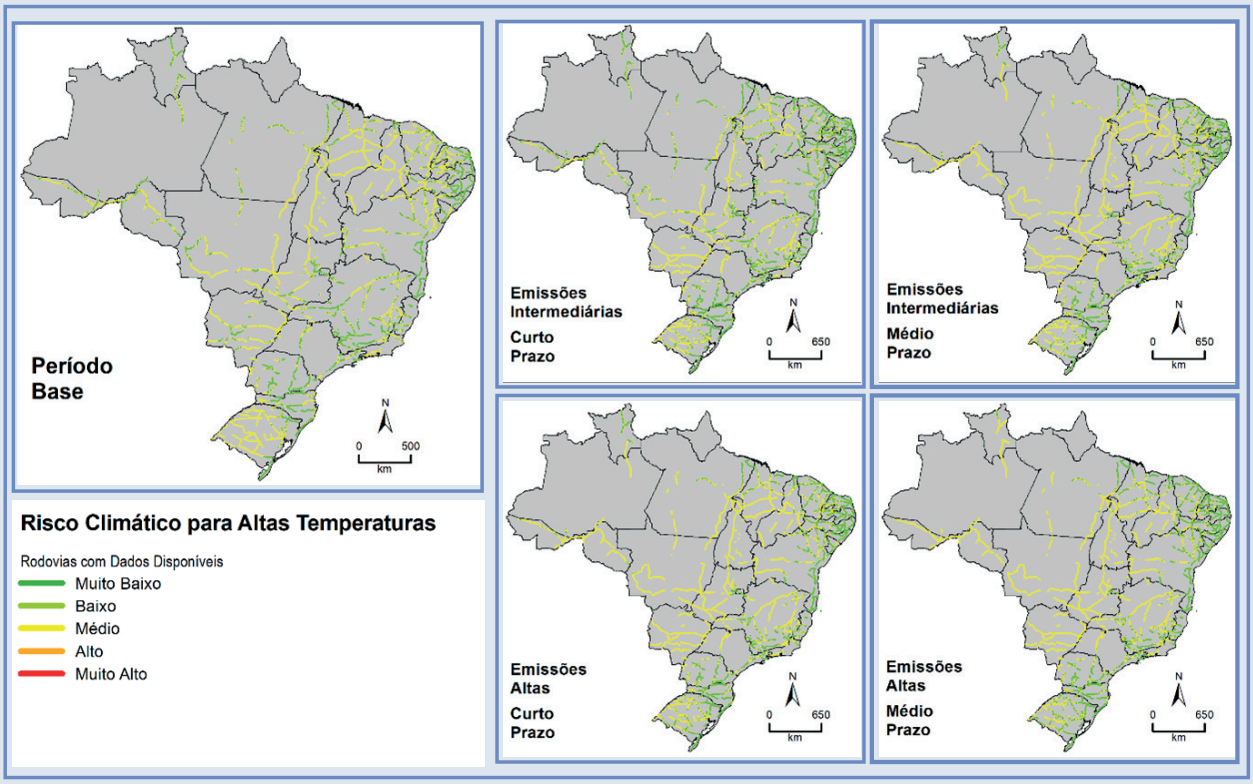
Figura 16 - Mapa de risco de impacto de queimadas em rodovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



De acordo com a Figura 17, em relação aos **impactos diretos devido às altas temperaturas**, nota-se que, diferente do que ocorre com os demais impactos analisados, já no período base há um predomínio de trechos com risco em nível médio (63,2%). Isso ocorre porque aproximadamente 60% dos trechos rodoviários apresentam nível alto ou muito alto de ameaça climática no período base e nos cenários futuros. Os trechos rodoviários que apresentam os maiores riscos devido ao impacto direto das altas temperaturas localizam-se no interior, distribuídos em todas as regiões do País. Por outro lado, as rodovias localizadas no litoral, apresentam baixo risco para todos os cenários e horizontes temporais. No Sul do País, há um destaque para o Estado do Rio Grande do Sul, que tem suas rodovias sob médio risco para todos os cenários considerados. No que diz respeito à **vulnerabilidade** a altas temperaturas, composta apenas pela sensibilidade da infraestrutura, já que não existe sensibilidade do meio biofísico para esse impacto, destacam-se os estados do Rio Grande do Sul, com nível de ameaça climática médio em muitos trechos, e do Pará, com trechos rodoviários com nível alto e muito alto.

Esse resultado se deve principalmente pela componente de **ameaça climática**, que apresenta níveis mais altos de risco de impacto no interior do País, e pela vulnerabilidade média, que contribui especialmente na Região Sul para os valores dos riscos mais altos. Cabe destacar ainda que, considerando-se o cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5), os trechos com nível médio de risco caem para 50,3% em curto prazo (2026-2045) e sobem para 67,4% em médio prazo (2046-2065) em comparação ao período base. Já para o cenário de altas emissões (SSP5-8.5), os trechos com médio risco representam 65,3% em curto prazo (2026-2045) e 62,6% em médio prazo (2046-2065).

Figura 17 - Mapa de risco de impacto de altas temperaturas em rodovias para o clima atual e quatros cenários futuros de mudança do clima.



Créditos: DNIT



Medidas de Adaptação

A adaptação pode ser definida como "*processo de ajuste em sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados e seus efeitos, que moderam ou evitam danos ou exploram oportunidades benéficas*" (IPCC, 2022). Em infraestrutura de transportes terrestres, o objetivo das medidas de adaptação é reduzir a vulnerabilidade e a exposição dos ativos, de modo a manter o sistema de transportes operante. As medidas de adaptação podem ser tanto não estruturais (do inglês, *soft adaptation*), quanto estruturais (do inglês, *hard adaptation*) (IPCC, 2022). Tais medidas devem estar ligadas às práticas atuais e futuras de planejamento, gestão de risco, operação e manutenção para aumentar a resiliência dos transportes e reduzir os impactos de eventos climáticos extremos (DE ABREU; SANTOS; MONTEIRO, 2022). As medidas de adaptação devem ser compatíveis e, sempre que possível, estar combinadas com as estratégias de mitigação para reduzir as emissões de GEE, como por exemplo as SbN (IPCC, 2022).

O levantamento das medidas de adaptação à mudança do clima para a infraestrutura de transportes terrestres ferroviária e rodoviária foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica sistemática e compreensiva, em âmbito nacional e internacional. Ao todo foram levantadas 179 medidas de adaptação, considerando-se os dois modos de transportes terrestres (ferroviário e rodoviário), das quais 121 são medidas estruturais e 58 são medidas não estruturais (Figura 18). As figuras 18, 19 e 20 apresentam o quantitativo de medidas de adaptação identificadas por cada tipo de impacto, fase do ciclo de vida do ativo e por nível de planejamento. Essa separação entre as diferentes medidas de adaptação foi acordada em alinhamento com o Comitê Gestor, que separou cada medida de adaptação por tipo de impacto e ameaça, tipo de medida (estrutural e não-estrutural), se pode ser considerada como uma SbN, se consiste em uma medida de mitigação de emissões de GEE, além da adaptação, categorizando-as por etapas do ciclo do ativo e por níveis de planejamento.

Figura 18 – Medidas de Adaptação por tipo de impacto e classificação estrutural e não-estrutural.

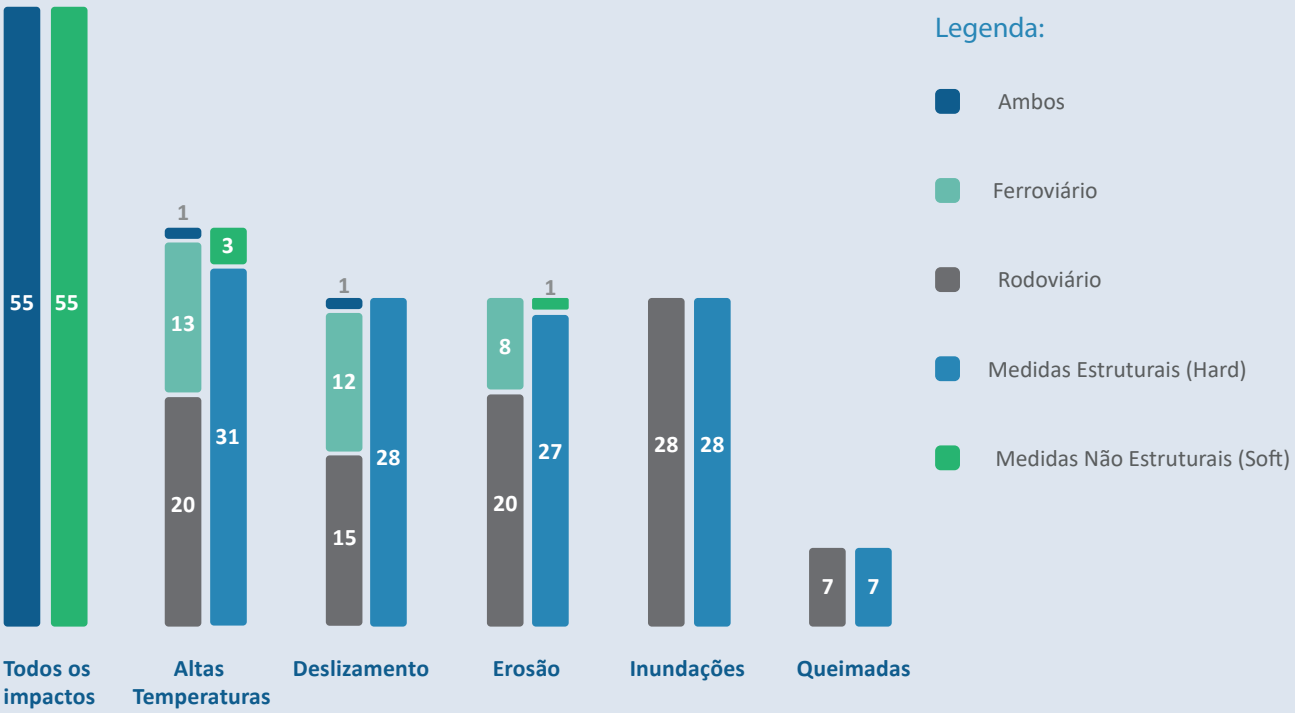


Figura 19 – Medidas de Adaptação por fase do ciclo de vida do ativo e classificação estrutural e não-estrutural.

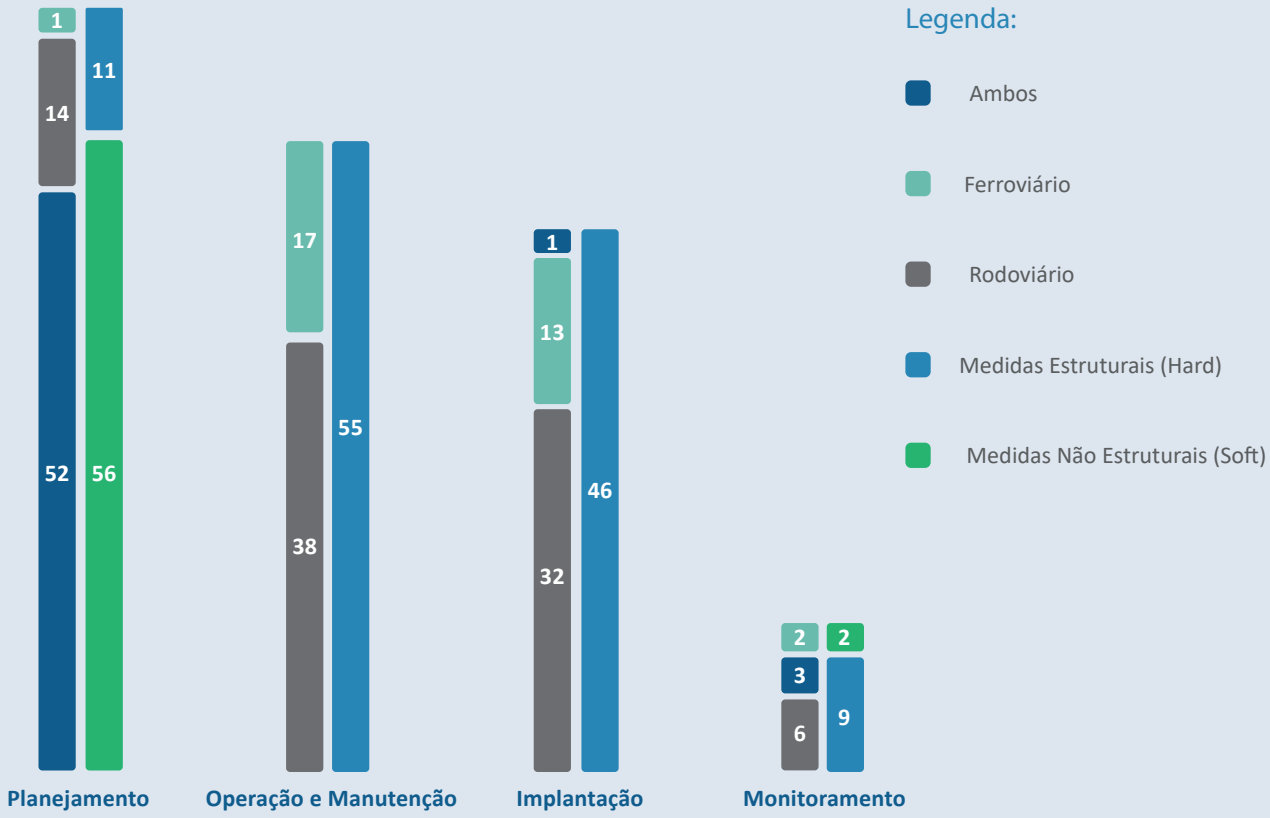


Figura 20 – Medidas de Adaptação por nível de planejamento, classificação estrutural e não-estrutural e SbN.



Dentre as 179 medidas de adaptação elencadas da bibliografia consultada, 27 medidas relacionam a geração de benefícios de mitigação de emissões de GEE. A grande maioria dessas medidas que são uma combinação de adaptação com mitigação, são também consideradas SbN. A Tabela 2 a seguir apresenta esses quantitativos para os transportes ferroviário e rodoviário.

Tabela 2 – Síntese da quantidade de medidas de adaptação e mitigação, bem como SbN.

Modos de transporte	Adaptação e Mitigação	Soluções baseadas na Natureza (SBN)
Ambos	3	4
Rodoviário	10	11
Ferroviário	14	16
Total	**27**	**31**

A seguir são apresentados exemplos de medidas de adaptação não estruturais que atendem aos dois modos de transporte (Tabela 3) e, na sequência, são apresentados exemplos específicos de medidas estruturais de adaptação para os modos ferroviário (Tabela 4) e rodoviário (Tabela 5) separadamente. Para cada medida estão descritos a fase do ciclo de vida do ativo, seu nível de planejamento e se são medidas também associadas à mitigação e SbN.

Créditos: DNIT



Tabela 3 - Medidas de Adaptação não estruturais na fase de planejamento aplicáveis aos modos de transportes ferroviário e rodoviário.

Medidas de adaptação não estruturais	Nível	SBN	Mitigação
Melhoria do planejamento espacial integrado em relação aos alinhamentos de rodovias e ferrovias para garantir que os ecossistemas críticos adjacentes, que servem como amortecedores contra inundações, erosões, aumentos de temperaturas, entre outros, sejam mantidos e protegidos (ex.: AbE).	Estratégico	SBN	Mitigação
Avaliação da possibilidade de existência de co-benefícios e sinergias entre mitigação e adaptação relacionadas às diferentes alternativas aplicadas ao setor de transportes (por exemplo, a promoção do modo ferroviário é mais favorável tanto para a adaptação, quanto para a mitigação).	Estratégico		Mitigação
Integração efetiva dos transportes com outros setores no processo de planejamento e desenvolvimento por meio, por exemplo, da Avaliação Ambiental Estratégica.	Estratégico		Mitigação
Planejamento do uso da terra pautado no desenvolvimento sustentável, incluindo o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS).	Estratégico	SBN	
Proibição do desenvolvimento (construção ou expansão) da infraestrutura em áreas de vulnerabilidade ambiental, reconhecendo o custo inerente de construção em áreas propensas aos riscos.	Estratégico	SBN	
Mudanças nas normas rodoviárias e ferroviárias e nas políticas de gestão de ativos (de forma a promover a adaptação).	Estratégico		
Sistematização do registro dos dados históricos de danos e prejuízos causados por eventos climáticos, especificando o tipo de evento e o impacto biofísico decorrente p.ex., a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (BRASIL, 2014).	Estratégico		
Participação, engajamento e apoio das partes interessadas - incentivar o envolvimento das partes interessadas com as necessidades de adaptação ao clima e construção de resiliência.	Estratégico		
Sistematização de informação sobre o comportamento das infraestruturas estratégicas de transporte em situações climáticas adversas, centralizando-as em uma base de dados única.	Estratégico		
Incorporação de cláusulas de adaptação ao investimento nacional em infraestrutura de transportes.	Estratégico		

Tabela 3 - Medidas de Adaptação não estruturais na fase de planejamento aplicáveis aos modos de transportes ferroviário e rodoviário. (Continuação)

Medidas de adaptação não estruturais	Nível	SBN	Mitigação
Promoção de maior envolvimento do setor de transportes nas questões de adaptação à mudança do clima, por meio de capacitação e disseminação de informações.	Estratégico		
Elaboração de estudos e pesquisas sobre a relação da mudança do clima com a vulnerabilidade da infraestrutura de transportes, visando a subsidiar as políticas públicas, o planejamento e a identificação de soluções para o setor.	Estratégico		
Reforço, centralidade e transparência à informação sobre o histórico de monitoramento e manutenção das infraestruturas de transporte.	Estratégico		
Melhoria da gestão de risco, identificando infraestruturas críticas (hotspots).	Estratégico		
Priorização de obras corretivas para os locais avaliados como de maior risco de falha ou interrupção do serviço.	Estratégico		
Estabelecimento de mecanismos de financiamento contínuo para apoiar a estrutura de planejamento, coordenação, avaliação e monitoramento da adaptação, com a ajuda do ponto focal institucional.	Estratégico		
Identificação de necessidade de treinamento sobre avaliação de danos, seleção de respostas, análise de custo-benefício e elaboração de planos e projetos.	Estratégico		
Aumento da resiliência na fase de renovação de ativos.	Estratégico		
Aumento da capacidade de resposta do setor de transportes frente aos eventos climáticos extremos por meio de planos, protocolos de ação e medidas preventivas.	Estratégico		
Análise sistemática da redução de riscos combinada com os custos associados à implementação das medidas de adaptação.	Estratégico		

Tabela 3 - Medidas de Adaptação não estruturais na fase de planejamento aplicáveis aos modos de transportes ferroviário e rodoviário. (Continuação)

Medidas de adaptação não estruturais	Nível	SBN	Mitigação
Incentivo à utilização de novas tecnologias, como sistemas de drenagem sustentáveis, que reduzirão os riscos de inundações existentes e futuros.	Estratégico		
Estabelecimento de parcerias público-privadas para a implementação de adaptação e resiliência.	Estratégico		
Desenvolvimento de um Plano de Contingência Integrado, incorporando o sistema de transporte como um todo.	Tático		
Integração de diferentes tipos de bancos de dados de monitoramento de ativos, havendo de preferência uma certa padronização entre eles.	Tático		
Desenvolvimento de indicadores de monitoramento apropriados para avaliar a eficácia das medidas de adaptação.	Tático		
Revisão da eficácia dos procedimentos atuais de coleta de dados quantitativos para os impactos de eventos climáticos extremos e mudança do clima de longo prazo, com o objetivo de desenvolver um mecanismo de relatório intersetorial.	Tático		
Definição de funções na geração e na identificação de dados necessários, especificando os instrumentos de coleta de dados, e armazenando e mantendo em bancos de dados.	Tático		
Melhoria na capacidade de previsão do tempo e implementação de sistemas de alerta precoce.	Tático		
Realização de uma revisão intermediária dos planos estatutários de adaptação da infraestrutura crítica, com possíveis contribuições de atores relevantes.	Tático		
Aprimoramento da produção e disponibilização de informações sobre eventos extremos relacionados ao sistema de transporte.	Operacional		

Tabela 4 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário.

Medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Alteração do procedimento de instalação do trilho, para aumentar o limite de temperatura para a expansão térmica.	Planejamento	Tático		
Prevenção combinada da erosão (revestimentos, blocos de concreto e estacas de madeira com vegetação; toras, paredes de toras ou madeira morta; entre outros).	Implantação	Tático	SBN	Mitigação
Estabilização biotécnica para aprimorar estruturas de engenharia cinza.	Implantação	Tático	SBN	Mitigação
Plantio de "florestas de proteção".	Implantação	Tático	SBN	Mitigação
Reengenharia de taludes para modificar seu grau de inclinação, melhorar a drenagem ou proporcionar estabilização.	Implantação	Tático		
Proporcionar redundância dentro do sistema.	Implantação	Tático		
Instalação de proteção suave contra erosão (grama, capim, arbustos e árvores, esteiras de coco ou geotêxtil com vegetação, planta morta material)	Implantação	Operacional	SBN	Mitigação
Adequação da instalação de drenos de contraforte em taludes e reforma de drenos de crista.	Implantação	Operacional		
Estabilização de taludes, incluindo a instalação de paredes de gabiões, pregos de solo e estacas-prancha.	Implantação	Operacional		
Melhoramento de drenagem, aparafusamento/ancoramento de rochas, redirecionamento.	Implantação	Operacional		

Tabela 4 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário. (Continuação)

Medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Uso de musgo e líquens para controle de erosão.	Operação e Manutenção	Tático	SBN	Mitigação
Gerenciamento da vegetação para melhorar a estabilidade da inclinação dos taludes.	Operação e Manutenção	Tático	SBN	Mitigação
Realização de pinturas dos trilhos de branco em áreas de alto risco conhecido de expansão térmica sob luz solar direta.	Operação e Manutenção	Tático		
Substituição de pontes com o uso de materiais resistentes ao calor, com coeficientes de expansão térmica mais baixos.	Operação e Manutenção	Tático		
Substituição de trilho articulado por trilho soldado continuamente.	Operação e Manutenção	Tático		
Instalação de proteção contra sol para amenizar o calor (plantar árvores ou outras formas de cobertura, pintura de trilhos, dentre outras).	Operação e Manutenção	Tático		
Cobertura vegetal e estruturas radiculares para proteger contra a erosão do solo.	Operação e Manutenção	Operacional	SBN	Mitigação
Manutenção e melhoria das zonas úmidas naturais.	Operação e Manutenção	Operacional	SBN	Mitigação
Manejo da vegetação ao longo do corredor ferroviário, incluindo seleção de vegetação adequada.	Operação e Manutenção	Operacional	SBN	Mitigação
Instalação de proteção dura contra erosão (cascalho e pedra, blocos de concreto, gabiões e estacas de aço ou madeira).	Operação e Manutenção	Operacional		

Tabela 4 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário. (Continuação)

Medidas de adaptação estruturais para o modo ferroviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Realização de monitoramento e manutenção regulares da via e do leito da via.	Operação e Manutenção	Operacional		
Substituição de trilhos para reparar defeitos de alinhamento lateral na zona de flambagem e realinhamento de trilhos em zonas adjacentes.	Operação e Manutenção	Operacional		
Compra, instalação e manutenção dos sensores de temperatura da ferrovia e infraestrutura de software relacionada.	Operação e Manutenção	Operacional		
Remoção controlada de vegetação para evitar incêndios florestais.	Operação e Manutenção	Operacional		
Detecção de eventos por meio de monitoramento local de taludes com sensores.	Monitoramento	Tático		
Monitoramento digital que avise quando as juntas de pontes se tornarem muito densas ou houver necessidade de substituir os materiais por outros mais resistentes ao calor.	Monitoramento	Operacional		

Tabela 5 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário.

Medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Melhoria da gestão nas planícies de inundação.	Planejamento	Estratégico	SBN	Mitigação
Construção de infraestrutura redundante.	Planejamento	Estratégico		
Adaptação dos padrões de construção para os novos eventos climáticos.	Planejamento	Tático		
Realocação ou redesenho de estradas críticas localizadas em zonas de inundação.	Planejamento	Tático		
Desenvolvimento e implementação de métodos aprimorados de detecção de erosão do subleito.	Planejamento	Tático		
Utilização de novas misturas asfálticas- pavimento permeável- que auxiliam na drenagem mais rápida de água parada.	Implantação	Tático		
Desenvolvimento de túneis de drenagem embaixo de grandes estradas e rodovias para facilitar a drenagem de forma mais rápida.	Implantação	Tático		
Instalação de proteção suave contra erosão (grama, capim, arbustos e árvores, esteiras de coco ou geotêxtil com vegetação, planta morta material).	Implantação	Operacional	SBN	Mitigação
Prevenção combinada da erosão (revestimentos, blocos de concreto e estacas de madeira com vegetação; toras, paredes de toras ou madeira morta; entre outros).	Implantação	Operacional	SBN	Mitigação
Instalação de proteção suave, que inclui barreiras naturais de sedimentação e florestas, além de zonas úmidas, que criam uma zona de amortecimento.	Implantação	Operacional	SBN	Mitigação

Tabela 5 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário. (Continuação)

Medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Implementação de medidas de controle de erosão nas margens de rodovias.	Implantação	Operacional		
Instalação de drenagem melhorada nas interseções.	Implantação	Operacional		
Aumento da redundância em sistemas elétricos.	Implantação	Operacional		
Realização de plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias à erosão.	Operação e Manutenção	Tático	SBN	Mitigação
Manutenção/recuperação de áreas de mangues, que atuam como dissipadores de energia em regiões costeiras, mantendo a linha de costa.	Operação e Manutenção	Tático	SBN	Mitigação
Ajuste da frequência de inspeção e manutenção devido aos riscos.	Operação e Manutenção	Tático		
Criação de acomodações que dizem respeito à redução da gravidade dos danos, como elevação e modificação de infraestruturas para reduzir o impacto das inundações.	Operação e Manutenção	Tático		
Realização de plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias ao deslizamento de solo e rocha.	Operação e Manutenção	Operacional	SBN	Mitigação
Realização de plantio de vegetação ao longo das vias para diminuir a exposição das rodovias à inundação.	Operação e Manutenção	Operacional	SBN	Mitigação
Aumento da limpeza e manutenção das estradas e rodovias e seus arredores.	Operação e Manutenção	Operacional		

Tabela 5 - Exemplos de medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário. (Continuação)

Medidas de adaptação estruturais para o modo rodoviário	Ciclo do ativo	Nível de planejamento	SBN	Mitigação
Utilização de materiais de melhor qualidade e resistentes à erosão.	Operação e Manutenção	Operacional		
Ajuste na frequência de manutenção e limpeza periódica da rede de drenagem próxima a rodovias.	Operação e Manutenção	Operacional		
Instalação de proteção rígida, que fornece uma barricada contra a entrada de água.	Operação e Manutenção	Operacional		
Substituição do revestimento asfáltico danificado por outro revestimento composto por materiais mais resistentes ao calor.	Operação e Manutenção	Operacional		
Aumento do resfriamento do asfalto com água.	Operação e Manutenção	Operacional		
Elevação e proteção da sinalização e outros equipamentos elétricos.	Operação e Manutenção	Operacional		
Ajuste da frequência da correção dos sulcos/afundamentos no pavimento (mill out ruts).	Operação e Manutenção	Operacional		
Melhoria das condições de monitoramento do subleito, especialmente após grandes chuvas.	Monitoramento	Tático		
Pesquisa de novas técnicas e materiais adequados ao desgaste reduzido, de modo a incorporá-lo em cartilhas de instrução e normas técnicas de construção.	Monitoramento	Operacional		

Conclusões e Recomendações

A mudança do clima implica em vários desafios para o setor de transportes terrestres brasileiro. O estudo AdaptaVias levantou o nível de risco climático para os principais impactos biofísicos e diretos na infraestrutura de transportes ferroviário e rodoviário em todo o território brasileiro. O estudo visa apoiar o Ministério dos Transportes e as partes interessadas na elaboração de estratégias que busquem minimizar os danos e prejuízos causados pela mudança do clima no setor de infraestrutura de transportes.

Os resultados mostram que os trechos de ferrovias brasileiras com maiores riscos climático em decorrência de deslizamento, erosão e altas temperaturas, desde o período base até o cenário de altas emissões (SSP5-8.5) e médio prazo (2046-2065), localizam-se na Região Sudeste (Estrada de Ferro Vitória a Minas, operada pela Vale S.A, e Estrada de Ferro Minas x Rio, operada pela MRS Logística) e no Norte/Nordeste, especificamente no eixo Pará-Maranhão (Estrada de Ferro Carajás, operada pela Vale S.A). Apenas para o impacto direto devido às altas temperaturas, soma-se um trecho de ferrovia localizado no Rio Grande do Sul, entre Cacequi e Dilermando de Aguiar (Estrada de Ferro Porto Alegre-Uruguaiana).

Quanto às análises referentes à infraestrutura de transporte rodoviário, nota-se que a distribuição dos trechos em que o risco climático é mais elevado apresenta variação entre impactos distintos. No que se refere ao alagamento/inundação, nota-se que alguns trechos no Pará e no Maranhão, além de partes de rodovias no litoral do Nordeste, apresentam nível médio de risco climático, embora, mesmo no cenário de altas emissões (SSP5-8.5) e médio prazo (2046-2065), mais de 80% dos trechos rodoviários se mantenham em nível baixo. Quanto ao deslizamento, em todos os cenários e horizontes considerados, os maiores níveis de risco climático (risco médio) estão localizados nas regiões Sul e Sudeste (Serra do Mar e Serra Geral), no litoral do Nordeste, e no Pará, na Região Norte. Em relação à erosão, os trechos com maior risco se concentram nas rodovias no Pará e nos estados das regiões Sul e Nordeste do Brasil, em especial no litoral (BR-101), que apresenta nível médio de impacto na infraestrutura rodoviária. O risco impacto devido a queimada/incêndio para o período base é médio para 31,9% dos trechos rodoviários, localizados principalmente no interior do Nordeste brasileiro e parte do Norte, e baixo para 68,1% do território brasileiro. A depender do cenário de emissões de GEE, os trechos de rodovias sob baixo risco diminuem e aumentam-se trechos rodoviários de nível médio. Esse aumento ocorre especialmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. Quanto aos impactos diretos devido às altas temperaturas, nota-se que, diferente do que ocorre com os demais impactos analisados, já no período base há um predomínio de trechos com nível médio (63,2%), localizados no interior do país, distribuídos por todas as regiões, enquanto as rodovias localizadas no litoral do país, para todos os cenários e horizontes temporais considerados, encontram-se sob baixo risco de impacto.

Diante dos riscos climáticos analisados, tendo em vista as diversas implicações para o sistema de transportes, considera-se fundamental a implementação de medidas de adaptação (a exemplo daquelas expostas no Capítulo 5). Como forma de potencializar a efetividade da adaptação, é importante promover ações com diferentes abordagens de maneira integrada, incluindo tanto aquelas denominadas estruturais, que apresentam uma aplicação mais específica por tipo de impacto (atuando sobre os ciclos de projeto das infraestruturas), quanto as não estruturais, que apresentam uma aplicação mais geral de cunho governamental, educacional e de participação social (contemplando processos institucionais e de gestão).

Cabe destacar que o projeto apresentou alguns desafios, principalmente no que se refere à disponibilidade de dados para todo o território brasileiro. A ausência de dados específicos sobre a infraestrutura, ano de construção/idade do ativo, ou a dificuldade de acesso a relatórios de manutenção, correções, dificulta uma análise para possível recomendação de medidas. Outra lacuna é a falta de registros de danos e prejuízos associados ao clima e características da infraestrutura que representam a capacidade adaptativa (p.ex., manutenção, planos de contingência, seguro). Isso acarretou uma limitação na utilização de indicadores de

vulnerabilidade que pudessem representar cada um dos impactos biofísicos ou diretos na infraestrutura analisados. A falta de dados de registros de impactos nas rodovias e ferrovias impossibilitou a validação dos resultados do índice de risco climático, a qual é fundamental em mapeamentos de riscos climáticos (DE SHERBININ *et al*., 2019) e deve ser considerada em estudos futuros. Desta forma, recomenda-se sistematizar e promover o registro de danos e prejuízos causados por eventos climáticos, especificando o tipo de evento de acordo com p.ex., a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, BRASIL 2012). Outro aspecto importante é que os cenários futuros devem ser interpretados com cautela. Os cenários são baseados em um conjunto significativo de modelos de clima, porém as incertezas, embora tenham sido quantificadas, não foram incorporadas nos mapas de risco. Além disso, novos modelos estão disponíveis e dessa forma é recomendável que se atualize os mapas de ameaça climática e que se incorpore as estimativas de incerteza nos mapas de risco.

Outra oportunidade de estudo futuro consiste na realização de análises mais específicas para os trechos com maiores níveis de risco de impacto, já no período base, ou cujo risco aumenta considerando-se os diferentes cenários e horizontes temporais. Da mesma forma, levantamentos de risco climático para o setor de transportes na perspectiva de sistemas integrados, bem como avaliações econômicas intersetoriais, são possibilidades de desenvolvimento futuro que podem apoiar a incorporação da adaptação na formulação de políticas públicas. Ao focar em ferrovias e rodovias específicas, novas pesquisas podem incluir bases mais robustas sobre a infraestrutura existente, permitindo uma análise mais aprofundada dos riscos. Inclusive permitindo a inclusão de indicadores de capacidade adaptativa, em falta neste estudo, em virtude da necessidade de representação de todo o território brasileiro, que apresenta dimensões continentais. Além disso, recomenda-se estudos mais aprofundados sobre a viabilidade da implantação de medidas de adaptação com base em SbN em busca de um desenvolvimento resiliente ao clima.

Cabe destacar que o envolvimento de representantes de importantes organismos públicos brasileiros e concessionárias privadas, desde o desenvolvimento das cadeias de impacto até a atribuição dos pesos dos indicadores utilizados no levantamento de risco climático, foi de suma importância para alcançar resultados condizentes com a realidade brasileira. Além disso, esse estudo traz o tema da resiliência climática à luz das discussões de autoridades nacionais sobre as medidas de adaptação da infraestrutura de transportes ferroviária e rodoviária brasileira, servindo de base para o desenvolvimento de políticas públicas relacionadas a essa questão, bem como apoiando políticas regulatórias.



Créditos: Ministério dos Transportes

Referências bibliográficas

ANA. **Atlas da Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília: ANA, 2014. 15 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf> Acesso em: 7 maio 2021

ANANDHI, A.; FREI, A.; PIERSON, D.C.; SCHNEIDERMAN, E.M.; ZION, M.S.; LOUNSBURY, D.; MATONSE, A.H. Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment. **Water Resources Research**, v. 47, n. 3. 2011. doi:10.1029/2010WR009104

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres- COBRADE**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobrade2.pdf>. Acesso em: 21 dezembro 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume II: Estratégias Setoriais e Temáticas. MMA: Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PNA-Volume2.pdf>Acesso em: 07 julho 2022.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E.; WAYNE HIGGINS, R.; JANOWIAK, J. E. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D4, D04110. 2008. doi:10.1029/2007JD009132

CHINOWSKY, P.; ARNDT, C. Climate change and roads: A dynamic stressor–response model. **Review of Development Economics**, v. 16, n. 3, p. 448-462, 2012. doi:10.1111/j.1467-9361.2012.00673.x

CPRM. **Mapa de Declividade em Percentual do Relevo Brasileiro**. Base de dados em formato raster (tiff). 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Mapa-de-Declividade-em-Percentual-do-Relevo-Brasileiro-3497.html>. Acesso em: 7 maio 2021.

DE ABREU, V. H. S.; SANTOS, A. S.; MONTEIRO, T. G. M.. Climate Change Impacts on the Road Transport Infrastructure: A Systematic Review on Adaptation Measures. **Sustainability**, v. 14, n. 14, p. 8864, 2022. doi:10.3390/su14148864

DE SHERBININ, A. D.; BUKVIC, A.; ROHAT, G.; GALL, M.; MCCUSKER, B.; PRESTON, B.; APOTSOS, A.; FISH, C.; KIENBERGER, S.; MUHONDA, P.; WILHELMI, O.; MACHARIA, D.; SHUBERT, W.; SLIUZAS, R.; TOMASZEWSKI, B.; ZHANG, S. Climate vulnerability mapping: A systematic review and future prospects. **WIREs Climate Change,** v. 10, pp. 1–23, 2019. doi:10.1002/wcc.600

DNIT. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários. Escopos Básicos/ Instruções de serviço,** 2005a. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Diretrizes%20B%E1sicas%20para%20Elabora%E7%E3o%20de%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf>. Acesso em: 8 setembro 2022.

DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**, 2ª ed. Rio de Janeiro: IPR Publ. 715, 2005b. 133 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf Acesso em: 15 julho 2022.

DNIT. **Base de dados da malha rodoviária federal do Sistema Nacional de Viação**. Formato shapefile. Base cedida para uso do presente estudo. 2021. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr> Acesso em: 20 jun. 2022.

EMBRAPA. **Mapa de Erodibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil, 2020**. Base de dados em formato shapefile. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_erodibilidade_solo. Acesso em: 7 outubro 2021.

EVANS, C.; TSOLAKIS, D.; NAUDE, C. **Framework to address the climate change impacts on road infrastructure assets and operations**. ARRB Group: Melbourne, 2009. Disponível em: <https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/sites/default/files/2009_Evans_Tsolakis_Naude.pdf> Acesso em: 5 maio 2021.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M. *et al*. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, 2, 150066, 2015. doi:10.1038/sdata.2015.66

GIZ, EURAC & UNU-EHS. **Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation – A guidebook for planners and practitioners.** Bonn. 2018. 120 p. Disponível em: <https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/06/giz-eurac-unu-2018-en-guidebook-climate-risk-asessment-eba.pdf> Acesso em: 5 fevereiro 2022.

IBGE. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra**, 2018. Base de dados em formato shapefile. Acesso em maio de 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=downloads> Acesso em: 7 outubro 2021.

IBGE. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil: Primeira Aproximação**, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101684> Acesso em: 7 outubro 2021.

INPE. **Programa Queimadas – BDQUEIMADAS**, 2021. Base de dados em formato shapefile. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas> Acesso em: 7 maio 2021.

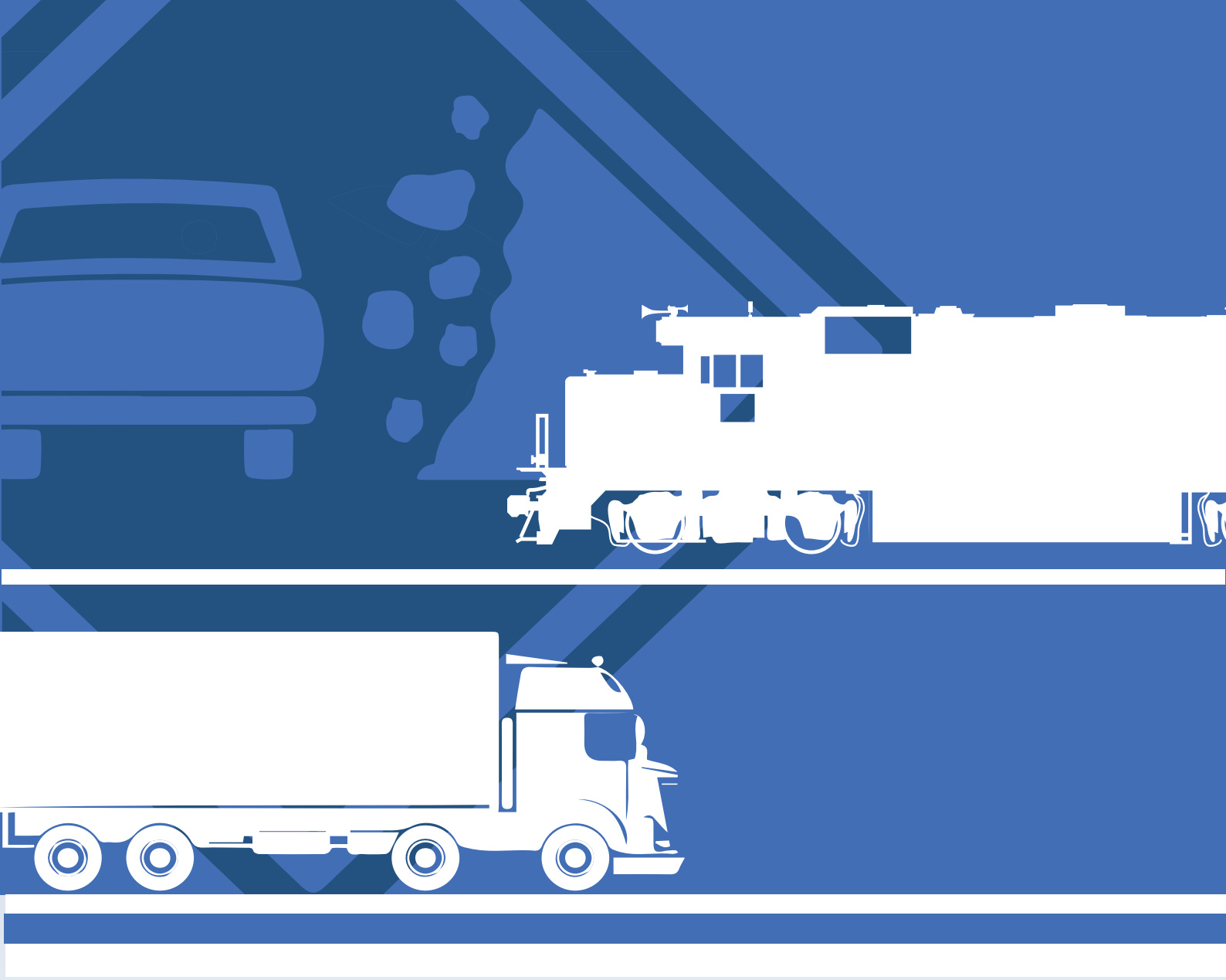
IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022. 3056 p. doi:10.1017/9781009325844.

MCTI, INPE & RNP. **Sobre o AdaptaBrasil, Metodologia**. AdaptaBrasil MCTI. 2022. Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre/metodologia>. Acesso em: 10 dezembro 2022.

MInfra. **PNL - Plano Nacional de Logística 2035**. MInfra, EPL: Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/RelatorioExecutivoPNL_2035final.pdf> Acesso em: 12 junho 2022.

RATTANACHOT, W.; WANG, Y.; CHONG, D.; SUWANSAWAS, S. Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate change. **Transport Policy**, v. 41, p. 159–166, 2015. doi:10.1016/j.tranpol.2015.03.001

SNV. **Base de dados da malha rodoviária federal do Sistema Nacional de Viação (SNV)**, 2021. Formato shapefile. Base cedida para uso do presente estudo. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr> Acesso em: 7 outubro 2021.



Por ordem do
Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear
da República Federal da Alemanha

Por meio da
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

PROADAPTA
Adaptação à Mudança do Clima

INPE

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO