

Relatório de Pesquisa IPR RP – 015

**PLANEJAMENTO INTEGRADO PARA A
RESILIÊNCIA CLIMÁTICA NA
INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA
ANÁLISE E ESTRUTURAÇÃO DOS
MÓDULOS DE PLANEJAMENTO
ESTRATÉGICO, TÁTICO E OPERACIONAL**

BRASÍLIA/DF

ABRIL/2026

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES

Relatório de Pesquisa IPR RP – 015

PLANEJAMENTO INTEGRADO PARA A RESILIÊNCIA CLIMÁTICA EM INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

*Análise e Estruturação dos Módulos de Planejamento
Estratégico, Tático e Operacional*

Elaboração: Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos –
CGPLAN/DPP/DNIT

Processo: SEI N° 50600.008736/2024-11

DOI: 10.70859/IPR-RP-015/2026

Brasília-DF

Abril/2026

EQUIPE TÉCNICA:

Eng.^a Sarah da Silva Brito, Me. – Consórcio ARRB/Dyna

Eng.^a Jéssica Mendonça Pereira de Bulhões – Consórcio ARRB/Dyna

Eng.^a Iviane Cunha e Santos, Dra. – CGPLAN/DPP/DNIT

Eng.^o Carlos Antonio Gomes Coelho – CGPLAN/DPP/DNIT

Eng.^o Rogério Calazans Verly, Me. – CGPLAN/DPP/DNIT

Eng.^o Paulo Moreira Neto – CGPLAN/DPP/DNIT

Eng.^o Luiz Guilherme Rodrigues de Mello, Dr. – DPP/DNIT

REVISÃO DE EDITORAÇÃO:

Eng.^o Galileu Silva Santos – IPR/DPP/DNIT

Eng.^a Simoneli Fernandes Mendonça – IPR/DPP/DNIT

Eng.^a Thália Raelly de Lima Romeiro Mattos – Consórcio Progen/HPT

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria-geral.
Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas em
Transportes.

Planejamento Integrado para a Resiliência Climática em Infraestrutura
Rodoviária – Análise e Estruturação dos Módulos de Planejamento
Estratégico, Tático e Operacional – Brasília -DF, 2026.

232 p. (Relatório de Pesquisa – IPR RP 015)

O conteúdo apresentado neste documento é de inteira responsabilidade dos autores.

A reprodução completa ou parcial desta publicação é permitida, sem alterar seu conteúdo, desde que não tenha fim comercial e que seja citada a referência bibliográfica completa.

RESUMO

Este estudo propõe um modelo sistêmico de gestão voltado ao fortalecimento da resiliência climática na malha rodoviária federal sob responsabilidade do DNIT. Esse modelo organiza o processo de planejamento e gestão em diferentes níveis, estratégico, tático e operacional, apoiados por uma estrutura tecnológica que garante a integração das informações e dos processos. Esse arranjo é fundamentado no Sistema de Gestão da Resiliência Climática (SGR), concebido como uma ferramenta integrada capaz de articular dados, metodologias e processos decisórios em um fluxo contínuo de planejamento e monitoramento. No nível estratégico, representado pelo Planejamento Estratégico (PLE), realizam-se a identificação e priorização de trechos vulneráveis, com base em técnicas de classificação e análise multicritério que orientam a definição de ações futuras. No nível tático, correspondente ao Planejamento Tático (PLT), essas análises são aprofundadas por meio da aplicação de metodologias internacionais de avaliação de risco, elaboração de mapas de suscetibilidade e utilização de critérios técnicos e econômicos para qualificação das propostas de intervenção. No nível operacional, associado ao Planejamento Operacional (PLO), os diagnósticos anteriores são convertidos em estratégias de execução, incluindo a hierarquização de investimentos, a estruturação de planos de monitoramento e a elaboração de planos emergenciais voltados à resposta e à recuperação frente a desastres naturais. Complementando esse modelo, a Especificação Técnica do Sistema (ETS) descreve a arquitetura do SGR em quatro módulos, assegurando sua compatibilidade com os sistemas existentes do DNIT e promovendo a centralização e padronização das informações relacionadas a licitações, licenciamento ambiental, obras e relatórios técnicos. A integração entre esses componentes estabelece um ciclo dinâmico e contínuo de prevenção, preparação, resposta e recuperação, no qual cada nível de planejamento subsidia o seguinte. Essa abordagem coordenada contribui para o aumento da eficiência na alocação de recursos, o reforço da segurança das infraestruturas e a promoção da sustentabilidade da malha rodoviária federal diante dos impactos de eventos climáticos extremos.

Palavras-chave: Resiliência Climática; Planejamento Estratégico, Tático e Operacional; Sistema de Gestão da Resiliência Climática; Infraestrutura Rodoviária.

ABSTRACT

This study proposes a systemic management model aimed at strengthening climate resilience across the federal highway network under DNIT's responsibility. This model organizes the planning and management process into different levels—strategic, tactical, and operational—supported by a technological structure that ensures the integration of information and processes. This model is based on the Climate Resilience Management System (SGR), designed as an integrated tool that connects data, methodologies, and decision-making processes within a continuous planning and monitoring flow. The consolidated document integrates the contents of the System Technical Specification (ETS), Strategic Planning (PLE), Tactical Planning (PLT), and Operational Planning (PLO) reports into a structured and systemic management model aimed at strengthening climate resilience across the federal highway network under DNIT's responsibility. The PLE phase initiates the process by identifying and prioritizing vulnerable road segments, applying classification techniques, and multicriteria analysis to guide future actions. The PLT phase deepens these analyses using international risk assessment methodologies, susceptibility mapping, and robust technical and economic criteria to qualify intervention proposals. The PLO phase translates previous diagnostics into execution strategies, prioritizing investments, structuring monitoring plans, and developing emergency response and recovery plans for natural disasters. Complementing this framework, the ETS outlines the SGR architecture across four modules, ensuring compatibility with DNIT's existing systems and promoting centralized and standardized information management regarding procurement, environmental licensing, construction works, and technical reports. The integration of these stages establishes a dynamic and continuous cycle of prevention, preparedness, response, and recovery, where each planning level informs and supports the next. This coordinated approach enhances resource allocation efficiency, infrastructure safety, and the sustainability of the federal highway network in the face of extreme climate events.

Keywords: *Climate Resilience; Strategic, Tactical and Operational Planning; Climate Resilience Management System; Road Infrastructure.*

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANP – *Analytic Network Process*

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento

CGMRR – Coordenação-Geral de Manutenção e Restauração Rodoviária

CGPLAN – Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos

CI – *Consistency Index*

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

COLEP – Coordenação de Levantamentos para Planejamento

COV – Custo Operacional do Veículo

CR – *Consistency Ratio*

DDL – Direções da Drenagem Local

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DF – Distrito Federal

DHPs – Drenos Horizontais Profundos

DMDU – *Decision Marking under Deep Uncertainty*

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DSE – Declaração da Situação de Emergência

EAD – *Expected Annual Damage to infrastructure*

EAL – *Expected Annual Losses*

EAUL – *Expected Annual User Losses*

ELECTRE – *Elimination and Choice Expressing Reality*

EPSG – *European Petroleum Survey Group*

ES – Espírito Santo

ETS – Especificação Técnica do Sistema

EUPAVE – *European Concrete Paving Association*

GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite

GRS – *Geodetic Reference System*

HAND – *Height Above the Nearest Drainage*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICS – Índice de Condição da Superfície

IGG – Índice de Gravidade Global

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IP – Índice de Prioridade

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IR – Índice de Risco

IRI – *International Roughness Index*

ISD – Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique*

MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelos Digitais de Terreno

MG – Minas Gerais

MGB – Metadados Geoespaciais do Brasil

OAE – Obra de Arte Especial

OE6 – Objetivo Estratégico 6

OSF – *Open Software Foundation*

PARF – Programa de Avaliação nas Rodovias Federais

PDIR-Now – *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Dynamic Infrared Rain Rate near real-time*

PLE – Planejamento Estratégico

PLO – Planejamento Operacional

PLT – Planejamento Tático

PMV – Painel de Mensagens Variáveis

PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego

PNMR – Plano Nacional de Manutenção Rodoviária

PNV – Plano Nacional de Viação

PRF – Polícia Rodoviária Federal

PROMETHEE – *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*

RBC – Relações Benefício/Custo

RI – *Random Index*

RJ – Rio de Janeiro

SEI – Sistema Eletrônico de Informações

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos

SGR – Sistema de Gestão de Resiliência Climática

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geodésico para as Américas

SNV – Sistema Nacional de Viação

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TLP – Taxa de Longo Prazo

TOPSIS – *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

UHT – Unidade Homogênea de Terreno

ULs – Unidades Locais

UTF – *Unicode Transformation Format*

UTM – *Universal Transverse Mercator*

VMD – Volume Médio Diário

VMDa – Volume Diário Médio Anual

VPL – Valor Presente Líquido

WGS – *World Geodetic System*

WTP – *Willingness to Pay*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapeamento do SGR.....	14
Figura 2 – Etapas da Metodologia a ser aplicada	49
Figura 3 – Tipos de problemas que envolvem análises de muitos fatores	54
Figura 4 – Indicadores de Resiliência Climática.....	62
Figura 5 – Xrealstats: função quebra natural de Jenks	73
Figura 6 – Janela do Visual <i>PROMETHEE</i> ® e os campos a serem preenchidos nos passos 1 a 3 da metodologia.....	74
Figura 7 – Janela do <i>software</i> Visual <i>PROMETHEE</i> ® com os tipos de função de preferência	75
Figura 8 – Interface do <i>software</i> Visual <i>PROMETHEE</i> ® passos da metodologia	75
Figura 9 – Estruturação dos dados de indicadores	77
Figura 10 – Matrizes de julgamento para o terceiro nível: Interrupção da via	80
Figura 11 – Matrizes de julgamento para o terceiro nível: Vulnerabilidade da infraestrutura	80
Figura 12 – Matrizes de julgamento para o segundo nível.....	81
Figura 13 – Matriz de julgamento para o primeiro nível: Objetivo	81
Figura 14 – Matriz normalizada e autovetor: Alagamentos	82
Figura 15 – Matriz normalizada e autovetor: Interrupção da via.....	82
Figura 16 – Matriz normalizada e autovetor: Priorização (objetivo principal)	82
Figura 17 – Cálculo do autovalor.....	83
Figura 18 – Cálculo da consistência: Movimento de massa.....	83
Figura 19 – Categorização por quebra natural de Jenks.....	84
Figura 20 – Categorização dos trechos.....	85
Figura 21 – Mapa de priorização dos trechos	85
Figura 22 – Subatividades da avaliação dos riscos.....	88
Figura 23 – Localização dos elementos expostos.....	89
Figura 24 – Sequência de procedimentos para criação dos mapas de suscetibilidade.....	90
Figura 25 – Exemplo de cicatrizes a serem mapeadas BR-356/MG	95
Figura 26 – Representação da suscetibilidade ao movimento de massa - BR-259/ES	97
Figura 27 – Relação entre área de cicatrizes e área total	98
Figura 28 – Fluxograma das quatro etapas da modelagem à inundações.....	101
Figura 29 – (a) Padrões de relevo obtidos por meio de fotointerpretação de imagens, (b) Padrões de relevo utilizados na modelagem	104
Figura 30 – (a) Altimetria sob os limites do relevo, (b) Altimetria classificada em relação à suscetibilidade a inundações.....	105
Figura 31 – Resumo do algoritmo HAND	106
Figura 32 – (a) HAND sob limites do relevo (b) HAND classificado e recortado	107
Figura 33 – Mapa de suscetibilidade à inundações	108
Figura 34 – Representação da suscetibilidade a inundações - BR-259/ES	109

Figura 35 – Exemplo de cálculo do valor-limite de precipitação: linha de tendência entre precipitação acumulada versus tempo para as ocorrências registradas	112
Figura 36 – Fluxograma do mapa de riscos dos elementos expostos.....	115
Figura 37 – Tipos de intervenções de resiliência	116
Figura 38 – Sinalização de advertência A-27	119
Figura 39 – Desenho esquemático para a recuperação de maciços instáveis.....	122
Figura 40 – Cortina atirantada na BR-356/MG	123
Figura 41 – Muro de gabião BR-356/MG	123
Figura 42 – Solo grampeado	124
Figura 43 – Obra de alteamento da BR-364	125
Figura 44 – Erosão avançada em talude de aterro e drenagem danificada	126
Figura 45 – Etapas da Avaliação Econômica	127
Figura 46 – Cronograma conceitual de investimentos no cenário com projeto e sem projeto	128
Figura 47 – Variáveis de avaliação econômica classificadas por grau de incerteza	130
Figura 48 – Mapa de risco ao movimento de massa: BR-356/MG	143
Figura 49 – <i>Boxplot</i> benefício/custo: BR-356/MG	144
Figura 50 – Mapa de risco a movimentos de massa: BR-259/ES	145
Figura 51 – Mapa de risco a inundações: BR-259/ES.....	145
Figura 52 – <i>Boxplot</i> benefício/custo: BR-259/ES	146
Figura 53 – Mapa de risco a movimentos de massa: BR-495/RJ.....	147
Figura 54 – <i>Boxplot</i> benefício/custo: BR-495/RJ	147
Figura 55 – Tipos de proposição de intervenção de resiliência.....	149
Figura 56 – Exemplo de painel gerencial da Resiliência Climática	151
Figura 57 – Divisão de competências para gestão da Resiliência Climática.....	157
Figura AP 1 – Antecedentes do local obtidos pelo Google Earth: (a) deslizamento de barreira em 2014; (b) imagem do local em 2019.....	163
Figura AP 2 – Mapa de rodovias federais e estaduais próximas ao trecho da BR-259/ES	165
Figura AP 3 – Percentual VMDa por tipo de veículo	166
Figura AP 4 – Elementos expostos	167
Figura AP 5 – Modelo Digital de Elevação - BR-259/ES	168
Figura AP 6 – Classes de relevo	169
Figura AP 7 – Unidades litoestratigráficas e litotipos	170
Figura AP 8 – Isoietas de precipitação média anual	171
Figura AP 9 – Ortoimagem de segmento da BR-259/ES	172
Figura AP 10 – Mapa elaborado com os registros de ocorrências e obras emergenciais no trecho	173
Figura AP 11 – Mapa de suscetibilidade ao movimento de massa	174
Figura AP 12 – Mapa de suscetibilidade a inundações.....	174
Figura AP 13 – Mapa de vulnerabilidade ao movimento de massa.....	175
Figura AP 14 – Mapa de suscetibilidade a inundações.....	175
Figura AP 15 – Mapa de vulnerabilidade a inundações	176

Figura AP 16 – Mapa de vulnerabilidade dos elementos expostos a inundações...	176
Figura AP 17 – Sobreposição dos mapas de declividade, litologia e isoietas	177
Figura AP 18 – Setorização climatológica/geológico-geomorfológica	178
Figura AP 19 – Estações pluviométricas próximas ao trecho da BR-259/ES.....	179
Figura AP 20 – Parte 1 do trecho da BR-259/ES em maio de 2013 e abril de 2014	182
Figura AP 21 – Parte 2 do trecho da BR-259/ES em maio de 2013 e abril de 2014	182
Figura AP 22 – Parte do trecho da BR-259/ES em junho de 2017.....	184
Figura AP 23 – Deslizamento próximo ao Km 80 da BR-259/ES em maio de 2018	184
Figura AP 24 – Notícia de 07 de fevereiro de 2018 com imagem do desastre que interditou a BR-259/ES próximo ao Km 79.....	185
Figura AP 25 – Estrutura de contenção próxima ao Km 79 da BR-259/ES.....	186
Figura AP 26 – Precipitação máxima registrada entre maio de 2013 e abril de 2014 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros.....	187
Figura AP 27 – Precipitação total registrada entre maio de 2013 e abril de 2014 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros	187
Figura AP 28 – Precipitação máxima registrada na série histórica para o mês de dezembro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros.....	188
Figura AP 29 – Precipitação acumulada registrada na série histórica para o mês de dezembro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros.....	189
Figura AP 30 – Precipitação diária registrada no mês de dezembro de 2013 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros	190
Figura AP 31 – Precipitação diária registrada no mês de fevereiro de 2018 na Estação Baixo Guandu.....	192
Figura AP 32 – Mapas de risco geo-hidrológico em 01, 02 e 03 de fevereiro de 2018	195
Figura AP 33 – Mapas de risco geo-hidrológico em 04, 05 e 06 de fevereiro de 2018	195
Figura AP 34 – Mapa de risco a movimentos de massa	200
Figura AP 35 – Mapa de risco a movimentos de massa dos elementos expostos..	201
Figura AP 36 – Mapa de risco a movimentos de massa dos elementos expostos..	201
Figura AP 37 – Mapa de risco a inundações dos elementos expostos	202
Figura AP 38 – Dados das variáveis para o trecho da BR-259/ES	203
Figura AP 39 – Dados das variáveis para o trecho da BR-259/ES	204
Figura AP 40 – Cenários Econômicos DMDU	206
Figura AP 41 – Histograma dos valores de VPL da simulação 1	210
Figura AP 42 – Histograma dos valores de VPL da simulação 2	210
Figura AP 43 – Histograma dos valores de VPL da simulação 3	211
Figura AP 44 – <i>Boxplot</i> benefício/custo	212
Figura AP 45 – Perdas anuais totais (EAL) médias	213
Figura AP 46 – Amplitude das variáveis.....	214

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos trechos.....	15
Tabela 2 – Metadados dos trechos	15
Tabela 3 – Metadados dos trechos com descrição dos campos	16
Tabela 4 – Dados do VMDa	17
Tabela 5 – Metadados do VMDa.....	17
Tabela 6 – Metadados do VMDa com descrição dos campos.....	18
Tabela 7 – Informação de identificação dos trechos	21
Tabela 8 – Informação de identificação do VMDa.....	24
Tabela 9 – Informação de identificação das Ocorrências.....	27
Tabela 10 – Informação de identificação das Obras Emergenciais.....	30
Tabela 11 – Informação de identificação dos Elementos Expostos	34
Tabela 12 – Informação de identificação dos Trechos Seleccionados.....	37
Tabela 13 – Informação de identificação dos Trechos da Priorização de Investimentos	40
Tabela 14 – Informação de identificação do monitoramento	44
Tabela 15 – Dados do monitoramento	47
Tabela 16 – Metadados do monitoramento	48
Tabela 17 – Metadados do monitoramento com descrição dos campos.....	48
Tabela 18 – Classificação de desastres COBRADE	50
Tabela 19 – Relação IGG, IRI e ICS	52
Tabela 20 – Critérios de decisão e os respectivos métodos de solução adequados	54
Tabela 21 – Variantes do método <i>PROMETHEE</i>	57
Tabela 22 – Funções de preferência do método <i>PROMETHEE</i> II	58
Tabela 23 – Intervalos de VMDa	66
Tabela 24 – Matriz de julgamento par a par	68
Tabela 25 – Tabela de Saaty para julgamentos comparativos.....	68
Tabela 26 – Matriz de julgamento com somatório das colunas.....	69
Tabela 27 – Matriz normalizada com cálculo dos pesos	70
Tabela 28 – Matriz normalizada com cálculo dos pesos	70
Tabela 29 – Índices aleatórios de Saaty (1991)	71
Tabela 30 – Padrões de relevo de acordo com parâmetros básicos.....	91
Tabela 31 – Tipos e níveis de zoneamento e escala de mapas aplicáveis de acordo com o objetivo	94
Tabela 32 – Classes de padrão de relevo e classificação da suscetibilidade à inundação.....	102
Tabela 33 – Classificação da suscetibilidade à inundação	107
Tabela 34 – Cálculo do valor do risco	114
Tabela 35 – Classificação do risco	114
Tabela 36 – Tabela de correlação entre as ações de contingência com os níveis de alerta de desastres naturais da Defesa Civil Municipal de Blumenau/SC	120
Tabela 37 – Listagem e ordenamento dos trechos	148

Tabela AP 1 – Antecedentes e localização	164
Tabela AP 2 – Estações pluviométricas próximas ao trecho da BR-259/ES (Km 74,9 ao 83,1)	178
Tabela AP 3 – Registros de ocorrências associados à eventos de precipitação entre maio de 2013 e abril de 2014	183
Tabela AP 4 – Número de ocorrências de precipitação na Estação Baixo Guandu (1967-2022)	193
Tabela AP 5 – Número de ocorrências de precipitação na Estação Colatina – Corpo de Bombeiro (1967-2022)	193
Tabela AP 6 – Valor-limite de precipitação	197
Tabela AP 7 – Taxa de recorrência do valor-limite nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros	198
Tabela AP 8 – Probabilidade de atingir o valor-limite de precipitação entre novembro e janeiro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros	199
Tabela AP 9 – Comparativo das simulações	211
Tabela AP 10 – Variáveis mais influentes	214

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MARCO CONCEITUAL.....	11
2.1	ENQUADRAMENTO NA POLÍTICA PÚBLICA E INFRAESTRUTURA FEDERAL.....	12
3	EVOLUÇÃO SISTÊMICA DA GESTÃO.....	13
3.1	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA (ETS).....	13
3.1.1	ARQUITETURA DO SGR E INTEGRAÇÃO COM DEMAIS SISTEMAS.....	13
3.1.2	MÓDULO I: PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO	14
3.1.3	METODOLOGIAS DE PRIORIZAÇÃO E AVALIAÇÃO (AHP, DMDU E MONTE CARLO).....	18
3.1.4	PERFIL MGB 2.0 E METADADOS GEOESPACIAIS	20
3.1.5	PAINEL GERENCIAL E MONITORAMENTO CONTÍNUO.....	47
3.2	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO (PLE).....	49
3.2.1	SELEÇÃO DE INDICADORES (ICS, VMDA, OCORRÊNCIAS, OBRAS EMERGENCIAIS).....	49
3.2.2	MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO	53
3.2.3	AGRUPAMENTO DE DADOS	60
3.2.4	CRIAÇÃO DOS MAPAS	61
3.2.5	METODOLOGIAS MULTICRITÉRIO (AHP E <i>PROMETHEE</i> II)	61
3.2.6	MÉTODO <i>PROMETHEE</i> II	73
3.2.7	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS AHP E <i>PROMETHEE</i> II.....	76
3.2.8	PRIORIZAÇÃO DE TRECHOS E CATEGORIZAÇÃO POR RISCO	77
3.3	PLANEJAMENTO TÁTICO (PLT).....	86
3.3.1	ANÁLISE DE RISCO.....	87
3.3.2	PROPOSIÇÃO DE INTERVENÇÕES DE RESILIÊNCIA CLIMÁTICA	116
3.3.3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA	126
3.4	PLANEJAMENTO OPERACIONAL (PLO).....	141
3.4.1	ORDENAMENTO TÉCNICO DOS TRECHOS HABILITADOS.....	142
3.4.2	MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-ESTRUTURAIS.....	148
3.4.3	ESTRUTURAÇÃO DE MONITORAMENTO E RESPOSTA	150
3.4.4	ELABORAÇÃO DE PLANOS DE AÇÕES EMERGENCIAIS.....	151

3.4.5	INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS DE ALERTA E COMUNICAÇÃO.....	153
4	INTEGRAÇÃO METODOLÓGICA	155
4.1	ARTICULAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PLANEJAMENTO: PLE → PLT → PLO.....	155
4.2	FLUXOGRAMA DE DECISÃO E PRIORIZAÇÃO	156
5	DESAFIOS E OPORTUNIDADES.....	158
5.1	BARREIRAS TÉCNICAS, INSTITUCIONAIS E OPERACIONAIS	158
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
	AGRADECIMENTOS.....	162
	APÊNDICE I – ANÁLISE DE RISCO	163
	APÊNDICE II – AVALIAÇÃO ECONÔMICA	203
	APÊNDICE III – CONTEÚDO MÍNIMO PARA RELATÓRIO: ESTUDO PRELIMINAR DE PROJETOS DE RESILIÊNCIA CLIMÁTICA.....	215
	ANEXO A – PLANILHA AHP	218
	ANEXO B – PLANILHA DMDU	219
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220

1 INTRODUÇÃO

A evolução da gestão da Resiliência Climática na infraestrutura rodoviária federal brasileira tem avançado significativamente nas últimas décadas, impulsionada pelas necessidades de adaptação diante do aumento dos eventos extremos associados às mudanças climáticas. Gabardo *et al.* (2024) destacam que a vulnerabilidade de taludes, especialmente diante de chuvas intensas, apresenta riscos concretos à segurança e à operacionalidade das rodovias, exigindo metodologias inovadoras como a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para priorização de áreas críticas e ações preditivas.

No contexto nacional, Medeiros e Ribeiro (2024) mapearam o risco climático das rodovias por estado, evidenciando como alagamentos e deslizamentos podem impactar duramente segmentos rodoviários específicos e reforçam a necessidade de políticas regionais e investimentos em soluções resilientes. Abreu *et al.* (2024) examinaram imperativamente a integração de considerações climáticas na fase de planejamento de projetos e concluíram que uma abordagem holística fortalece a capacidade adaptativa da infraestrutura de transportes frente aos efeitos das mudanças do clima. Um relatório técnico do Banco Mundial traz estudo aplicado usando drones e metodologias de análise econômica de Tomada de Decisão sob Incerteza, demonstrando o papel das tecnologias e sistemas inovadores para avaliar riscos de deslizamentos e sugerir medidas concretas de adaptação em rodovias federais como a BR-101.

Essa construção metodológica indica que a integração de ferramentas de análise de risco, modelagem econômica e planejamento regionalizado promove avanços sólidos na gestão da Resiliência Climática, preparando a infraestrutura rodoviária federal para os desafios do século atual.

A Gestão da Resiliência Climática é de suma importância para as tomadas de decisão que dizem respeito à adaptação de rodovias a desastres naturais recorrentes, pois permite desenvolver um sistema capaz de identificar processos necessários para absorver, adaptar e recuperar dos efeitos de um desastre por meio da preservação e

restauração de estruturas básicas e suas funções essenciais. Neste sentido, desenvolver planos e ações que permitam considerar a capacidade de um sistema para resistir aos eventos disruptivos e manter um nível aceitável em seu funcionamento faz com que seja construída uma gestão mais preparada para as áreas mais vulneráveis e, conseqüentemente, a infraestrutura torna-se mais resiliente à ação climática.

Medidas preventivas e de adaptação podem ser adotadas para garantir que a infraestrutura resista aos impactos climáticos. Entre elas, destacam-se o fortalecimento das estruturas, a melhoria dos sistemas de drenagem, a elaboração de planos de contingência e a incorporação de tecnologias voltadas à Resiliência Climática. Em suma, tornar a infraestrutura mais resiliente ao clima é fundamental para assegurar maior segurança e bem-estar à população, além de proteger a economia do país.

Diante desse cenário, o presente documento tem como objetivo apresentar o Sistema de Gestão de Resiliência Climática (SGR), uma ferramenta destinada a identificar e priorizar intervenções na malha rodoviária relacionadas à Resiliência Climática, ordenando as áreas mais suscetíveis a eventos adversos. O escopo do SGR abrange toda a malha rodoviária federal, integrando os níveis de planejamento estratégico, tático e operacional, além da gestão de dados. Esse sistema permite identificar pontos críticos, avaliar riscos, priorizar ações e monitorar continuamente a efetividade das medidas implementadas, fortalecendo a sustentabilidade da malha frente a eventos climáticos extremos.

Por fim, o relatório de pesquisa foi elaborado com base em documentos técnicos previamente desenvolvidos no âmbito do Contrato PP-506/2021, a saber: a Especificação Técnica do Sistema (ETS), o Planejamento Estratégico (PLE), o Planejamento Tático (PLT) e o Planejamento Operacional (PLO). Esses materiais forneceram os fundamentos necessários para a análise, servindo como referência para a consolidação dos resultados apresentados e garantindo a continuidade e a coerência metodológica entre as etapas do trabalho.

2 MARCO CONCEITUAL

A Resiliência Climática é compreendida como um ciclo composto por quatro etapas fundamentais: prevenção, preparação, resposta e recuperação. Sendo a prevenção e preparação definidas nas fases estratégica e tática. Por outro lado, o Planejamento Operacional avança na definição das ações de resposta e recuperação, permitindo uma abordagem completa frente aos riscos climáticos que impactam a infraestrutura rodoviária federal. Este relatório apresenta as diretrizes para o desenvolvimento do Planejamento Operacional da Resiliência Climática, como etapa complementar e integradora dos Planejamentos Estratégico e Tático. O Planejamento Operacional tem como objetivo ordenar os trechos previamente analisados, elaborar estratégias de curto e médio prazo para a implantação de medidas de intervenção e estabelecer estruturas de monitoramento e de resposta a desastres. Inicialmente, o documento estabelece o ordenamento dos trechos identificados no Planejamento Tático, com base em análises de risco e avaliações econômicas realizadas por meio de anteprojetos. A cada trecho é atribuído um Índice de Prioridade, o que permite hierarquizar os investimentos e intervenções de forma técnica e objetiva. Uma vez validadas as viabilidades técnicas e econômicas, são definidas as estratégias operacionais para a execução das medidas propostas. Um componente essencial do Planejamento Operacional é a estrutura de monitoramento, que permitirá acompanhar a implantação das ações e avaliar continuamente a efetividade das medidas adotadas. Esse acompanhamento contínuo é vital para garantir a sustentabilidade da Resiliência Climática ao longo do tempo e fortalecer a malha rodoviária frente a eventos climáticos adversos. Além disso, o relatório propõe a elaboração de Planos de Ações Emergenciais para cada trecho priorizado. Esses planos contemplam medidas de resposta imediata e estratégias de recuperação da infraestrutura, permitindo atuação rápida e coordenada em caso de desastres. A estruturação desses planos representa um avanço importante para a gestão integrada de riscos, alinhada às boas práticas internacionais de resiliência e adaptação. Dessa forma, o Planejamento Operacional constitui uma etapa fundamental para consolidar a Resiliência Climática como prática permanente na gestão da infraestrutura rodoviária federal, promovendo maior

segurança, eficiência na alocação de recursos e preparação frente aos desafios impostos pelas mudanças no clima.

2.1 ENQUADRAMENTO NA POLÍTICA PÚBLICA E INFRAESTRUTURA FEDERAL

Para fins de Planejamento Tático, realizou-se um alinhamento com diretrizes nacionais e internacionais, fundamentado na adaptação da metodologia de avaliação de risco proposta pelo Banco Mundial (2019), em conjunto com as metodologias contidas nos documentos *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure* (PIARC, 2015) e Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa, elaborado por meio do Acordo de Cooperação Internacional Brasil – Japão, em 2018 (SGB/CPRM, 2018a).

O DNIT, no seu Mapa Estratégico 2023-2027, reafirma o compromisso institucional com a sustentabilidade e a Resiliência Climática como pilares importantes para o desenvolvimento da infraestrutura de transportes (DNIT, 2023). Nesse contexto, a autarquia adota um planejamento que promove soluções técnicas inovadoras e busca excelência técnica em projetos e obras, em consonância com o desenvolvimento econômico, a preservação ambiental e a responsabilidade social.

O Objetivo Estratégico 6 (OE6) do Mapa Estratégico explicita a meta de desenvolver uma estrutura administrativa e uma infraestrutura de transportes sustentável e resiliente às mudanças climáticas (DNIT, 2023). Nota-se, portanto, que o conceito de sustentabilidade abrange também a promoção de infraestrutura capaz de suportar e se adaptar aos desafios impostos pelos eventos climáticos extremos, reforçando o posicionamento do órgão na busca de soluções integradas e socialmente responsáveis.

3 EVOLUÇÃO SISTÊMICA DA GESTÃO

A gestão da Resiliência Climática na infraestrutura rodoviária federal tem experimentado uma evolução substancial, refletida no avanço de estudos e no desenvolvimento de ferramentas cada vez mais integradas e eficazes, tanto no Brasil quanto internacionalmente. Esse avanço tem como foco a implementação de um modelo sistêmico que possibilite a identificação, análise e priorização de trechos vulneráveis, suporte à tomada de decisão e monitoramento contínuo das ações de adaptação. A evolução sistêmica da gestão reflete a crescente necessidade de responder de maneira estruturada e articulada aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, garantindo a sustentabilidade, segurança e continuidade operacional da malha rodoviária sob responsabilidade do DNIT.

3.1 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA (ETS)

A Especificação Técnica do Sistema (ETS) constitui uma etapa fundamental para a operacionalização da gestão da Resiliência Climática. Ela define a arquitetura, os módulos e os componentes essenciais do sistema proposto para integrar dados, metodologias e processos decisórios.

3.1.1 Arquitetura do SGR e integração com demais sistemas

O Sistema de Gestão da Resiliência Climática foi pensado para ser construído em quatro módulos principais, que serão detalhados a seguir. A princípio, o Sistema de Gestão de Resiliência Climática (SGR) foi pensado para interagir com o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), o Sistema Nacional de Viação (SNV) e o Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT). Em momento oportuno poderá ser realizada a integração com outros sistemas do DNIT, caso seja observada a necessidade. A Figura 1 contempla o mapeamento dos *inputs*, processos e *outputs* do sistema.

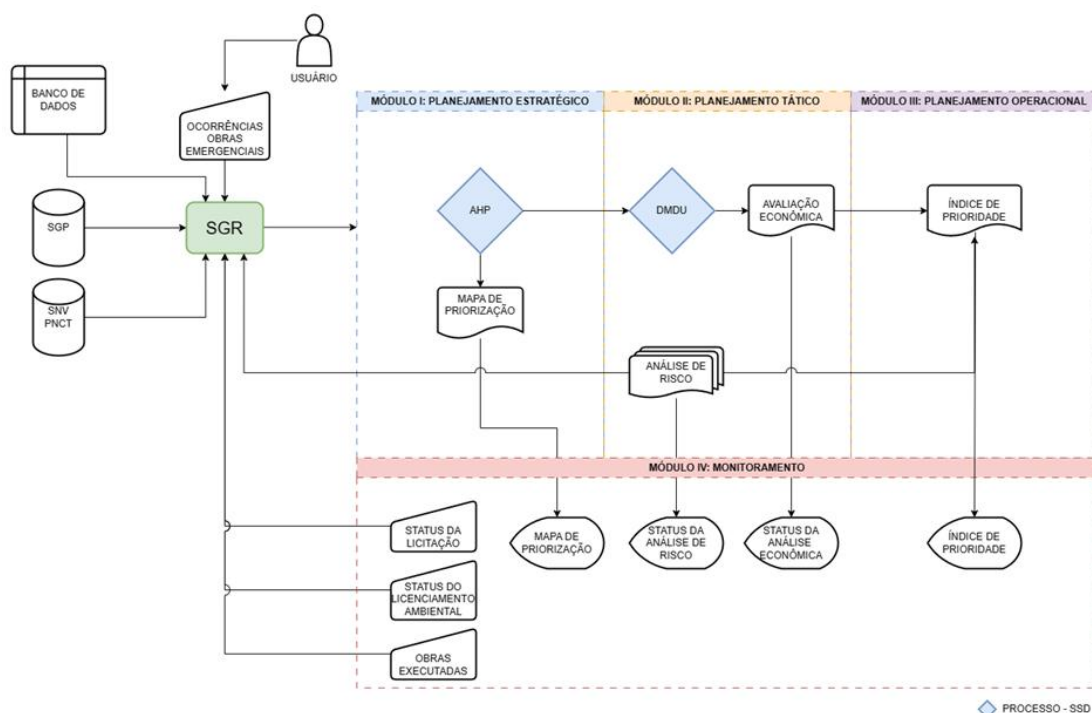


Figura 1 – Mapeamento do SGR

3.1.2 Módulo I: Planejamento Estratégico

O objetivo geral no Módulo I é identificar os trechos críticos da malha rodoviária para adaptação à Resiliência Climática. No Planejamento Estratégico, opta-se pela técnica de análise multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) por se tratar de uma técnica largamente aplicada em nível de rede e por permitir a combinação de diversos indicadores, hierarquizados em critérios e subcritérios, facilitando o julgamento dos pesos de cada um.

3.1.2.1 Definição dos dados e metadados

Para facilitar a compreensão dos dados que são utilizados no Módulo I: Planejamento Estratégico, estão apresentadas a seguir as definições, metadados e o nível de detalhamento de cada um deles.

3.1.2.2 Trechos

Os trechos correspondem à divisão da malha georreferenciada de rodovias federais em até 10 km e não serão modificados com o intuito de possibilitar a continuidade da Gestão da Resiliência Climática. Deve-se atentar para que essa divisão seja realizada uma única vez, e, à medida que o Sistema Nacional de Viação (SNV) for atualizado, serão atualizados os atributos dos trechos, além da inclusão ou exclusão de segmentos. Para realizar a divisão da malha e a criação dos trechos, por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), deve ser utilizada a versão mais atual da malha, disponibilizada pelo Plano Nacional de Viação (PNV), filtrando somente as rodovias sob administração federal. Eles compõem a base do banco de dados da Resiliência Climática. A Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 apresentam os dados e metadados relativos aos trechos.

Tabela 1 – Dados dos trechos

Tb_trechos											
ID trecho	Latitude _inicial	Longitude _inicial	Latitude _final	Longitude _final	comprimento	ICS	ID_ VMDa	ID_ ocorrência	ID_obra_ emergencial	ID_ ICS	ID_indice Prioridade _AHP

Tabela 2 – Metadados dos trechos

Tb_metadados_trechos_1		
Campo	Tipo de dados	Descrição
Trecho	<i>Character</i>	O nome da tabela
<i>Inserir data de criação da tabela</i>	<i>Date</i>	A data em que a tabela foi criada
<i>Inserir data da última atualização da tabela</i>	<i>Date</i>	A data em que a tabela foi atualizada pela última vez
<i>Inserir número de linhas da tabela</i>	<i>Integer</i>	O número de linhas atualmente na tabela
<i>Inserir tamanho em bytes da tabela</i>	<i>Integer</i>	O tamanho em bytes da tabela no disco

Tb_metadados_trechos_1		
Campo	Tipo de dados	Descrição
<u>ID_trecho</u>	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave primária para a tabela
ID_VMDa	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela
ID_ocorrencia	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela
ID_obra_emergencial	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela
ID_ICS	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela
ID_indice_prioridade_AHP	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela

Tabela 3 – Metadados dos trechos com descrição dos campos

Tb_metadados_trechos_2				
Campo	Tipo de dados	Chave primária	Chave estrangeira	Descrição
<u>ID_trecho</u>	<i>Character</i>	Sim	Não	Identificador único do trecho
latitude_inicial	<i>Numeric</i>	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à latitude do início do trecho
longitude_inicial	<i>Numeric</i>	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à longitude do início do trecho
latitude_final	<i>Numeric</i>	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à latitude do final do trecho
longitude_final	<i>Numeric</i>	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à longitude do final do trecho
comprimento	<i>Numeric</i>	Não	Não	Extensão, em quilômetros, do trecho
ICS	<i>Numeric</i>	Não	Não	Índice de Condição da Superfície
ID_VMDa	<i>Character</i>	Não	Sim	Identificador único do VMDa
ID_ocorrencia	<i>Character</i>	Não	Sim	Identificador único das ocorrências
ID_obra_emergencial	<i>Character</i>	Não	Sim	Identificador único das obras emergenciais
ID_ICS	<i>Character</i>	Não	Sim	Identificador único do ICS
ID_indice_prioridade_AHP	<i>Character</i>	Não	Sim	Índice de prioridade para intervenção

3.1.2.3 Volume médio diário anual

O Volume Diário Médio Anual (VMDa) de um determinado trecho é medido por meio do total de veículos que trafegam em um período de um ano dividido por 365 dias. Esse dado é utilizado para avaliar a distribuição de tráfego, medir a demanda de uma via e programar melhorias básicas.

Os dados mencionados das Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 são coletadas do banco de dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), que utiliza uma metodologia de contagem baseada na instalação de equipamentos de contagem, que quantificam e classificam o volume de tráfego em pontos específicos da rodovia.

Tabela 4 – Dados do VMDa

Tb_dados_VMDa									
<u>ID_VMDa</u>	VMDa	SNV	UF	BR	UL	Latitude_inicial	Longitude_inicial	Latitude_final	Longitude_final

Tabela 5 – Metadados do VMDa

Tb_metadados_VMDa		
Campo	Tipo de dados	Descrição
Volume Médio Diário Anual	Character	O nome da tabela
Inserir data de criação da tabela	Date	A data em que a tabela foi criada
Inserir data da última atualização da tabela	Date	A data em que a tabela foi atualizada pela última vez
Inserir número de linhas da tabela	Integer	O número de linhas atualmente na tabela
Inserir tamanho em bytes da tabela	Integer	O tamanho em bytes da tabela no disco
ID_VMDa	Character	O nome do campo que serve como chave primária para a tabela

Tabela 6 – Metadados do VMDa com descrição dos campos

Tb_metadados_VMDa_2				
Campo	Tipo de dados	Chave primária	Chave estrangeira	Descrição
ID_VMDa	Character	Sim	Não	Identificador único do VMDa
VMDa	Numeric	Não	Não	Valor do VMDa
SNV	Character	Não	Não	Código SNV
UF	Character	Não	Não	Sigla da unidade federativa onde se encontra o segmento homogêneo
BR	Character	Não	Não	Sigla da rodovia onde se encontra o segmento homogêneo
UL	Character	Não	Não	Nome da unidade local responsável pela manutenção do segmento homogêneo
latitude_inicial	Numeric	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à latitude do início do segmento SNV
longitude_inicial	Numeric	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à longitude do início do segmento SNV
latitude_final	Numeric	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à latitude do final do segmento SNV
longitude_final	Numeric	Não	Não	Coordenada geográfica, em graus decimais, referente à longitude do final do segmento SNV

Ressalta-se que podem existir contratos emergenciais que envolvam intervenções em mais de um ponto da rodovia, como no caso de deslizamentos sequenciais de médio e grande porte. Nesses casos, cada obra deverá ser registrada, apresentando um campo **ID_obra_emergencial** específico para cada ponto abrangido pelo contrato.

É importante destacar que não se deve confundir o **contrato emergencial** com a **obra emergencial**, visto que um mesmo contrato pode envolver várias obras, conforme mencionado anteriormente.

3.1.3 Metodologias de priorização e avaliação (AHP, DMDU e Monte Carlo)

As metodologias de priorização e avaliação são ferramentas fundamentais para apoiar a tomada de decisões estratégicas na gestão da Resiliência Climática da infraestrutura rodoviária federal. Dentre as técnicas aplicadas, destacam-se o *Analytic*

Hierarchy Process (AHP), o método de Tomada de Decisão sob Profundas Incertezas (DMDU) e as simulações de Monte Carlo, que permitem analisar múltiplos cenários, incertezas e variáveis complexas.

3.1.3.1 Sistema de suporte à decisão – *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

O Sistema de Suporte à Decisão usando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) apresenta um roteiro detalhado para sua aplicação no contexto do módulo de planejamento estratégico. O processo começa com a estruturação hierárquica dos critérios, em que o objetivo principal é decomposto em critérios e subcritérios independentes, facilitando a compreensão e o tratamento do problema. Em seguida, realiza-se o julgamento par a par de elementos em um nível hierárquico, comparando-os em relação ao elemento superior usando a escala de Saaty (1991), que varia de importância igual à extrema prioridade. Esses julgamentos são registrados em matrizes, cujos valores são posteriormente normalizados para calcular pesos relativos de cada critério ou alternativa.

Para garantir a consistência do julgamento, calcula-se o índice de consistência, sendo consideradas aceitáveis as matrizes com razão de consistência menor que 0,10. Após a definição das prioridades, ocorre a multiplicação ponderada dos critérios pelos indicadores obtidos na base de dados, formando uma matriz de classificação que possibilita ordenar as alternativas. A partir dessas prioridades, utiliza-se a técnica de quebras naturais de Jenks (Jenks, 1967) para categorização em níveis de vulnerabilidade, facilitando a espacialização e posterior visualização em mapas temáticos. Todo esse procedimento é formulado para assegurar que as decisões sejam tomadas com base em análises técnicas e fundamentadas, contribuindo para a priorização de trechos vulneráveis na malha rodoviária com eficiência.

3.1.3.2 Sistema de suporte à decisão – *Decision Making under Deep Uncertainty* (DMDU) e simulações de Monte Carlo

Para a avaliação econômica, o método de Tomada de Decisão sob Profundas Incertezas (*Decision Making under Deep Uncertainty* – DMDU) é utilizado como ferramenta de suporte para avaliação econômica das intervenções, especialmente em contextos com alta incerteza, como eventos climáticos extremos.

O processo metodológico é estruturado em quatro etapas: levantamento detalhado das variáveis econômicas relevantes; criação de cenários econômicos; análise de custo-benefício por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL); e, finalmente, a análise estatística dos resultados para garantir robustez e confiabilidade na tomada de decisão. O cálculo das perdas anuais totais (EAL) considera tanto os custos diretos de reparação da infraestrutura (EAD) quanto os custos extras dos usuários quando há algum desastre que ocasione o bloqueio da rodovia (EAUL). A simulação é realizada ao longo de um horizonte temporal de 20 anos, com milhares de cenários simulados, possibilitando estimar a viabilidade econômica das intervenções sob diferentes condições e incertezas. Assim, o DMDU proporciona uma análise robusta e adaptativa para subsidiar investimentos e políticas públicas, ampliando a capacidade do DNIT em planejar intervenções resilientes diante das profundas incertezas climáticas.

3.1.4 Perfil MGB 2.0 e metadados geoespaciais

No presente capítulo serão apresentados os modelos para os metadados geoespaciais conforme o perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (MGB 2.0). O uso do Perfil MGB 2.0 permite o detalhamento e o controle eficiente das informações espaciais relativas aos trechos rodoviários priorizados para intervenção, apoiando a tomada de decisão baseada em dados precisos e estruturados. As tabelas de dados e metadados, assim como as descrições dos principais campos, possibilitam a compreensão abrangente do banco de informações que subsidia o planejamento e monitoramento das ações voltadas à Resiliência Climática da malha rodoviária federal.

3.1.4.1 Trechos

A Tabela 7 a seguir apresenta a informação de identificação dos Trechos.

Tabela 7 – Informação de identificação dos trechos

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial dos Trechos de estudo do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação
Edição	<i>Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).</i>	
Série	Trechos de estudo do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação	
Resumo	A Base Geoespacial dos Trechos de estudo do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos trechos de estudo e a categorização deles para adaptação à Resiliência Climática. Foi gerada a partir dos dados geoespaciais do Sistema Nacional de Viação (SNV).	
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos trechos em estudo da Resiliência Climática do Sistema Nacional de Viação.	
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)	
Status	Contínuo	
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região Administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Tipo de representação espacial		Vetorial	
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		<i>Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.</i>
Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra os trechos de estudo.</i>		
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
	Palavra-chave	Trechos	
Localidade padrão	Idioma	Português	
	Código de caracteres	UTF-8	
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM			
Declaração	A informação é obtida por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.		
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados	
Etapa de produção	Descrição	Levantamento cadastral com GNSS	
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados	
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica	
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação	

INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile Technical Description
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. Markup Language
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.2 Volume Médio Diário (VMDa)

A Tabela 8 a seguir apresenta a informação de identificação do VMDa.

Tabela 8 – Informação de identificação do VMDa

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	VMDa - Modelagem 2021	
Data	Valor da data	12-2022
	Tipo da data	Publicação
Edição	12-2022	
Série	Volume Médio Diário Anual do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação	
Resumo	Estimativa do Volume Médio Diário Anual de tráfego, obtida por meio da modelagem dos dados coletados por meio de equipamentos de contagem contínua e coletas de curta duração, além de dados de concessionárias e agências estaduais.	
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada do VMDa.	
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP) e Contrato 00 00831/2020.	
Status	Concluído	
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região Administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.
Pré-visualização gráfica			
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
Localidade padrão	Idioma	Português	
	Código de caracteres	UTF-8	
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM			
Declaração	Estimativa do Volume Médio Diário Anual de tráfego, obtida por meio da modelagem dos dados coletados por meio de equipamentos de contagem contínua e coletas de curta duração, além de dados de concessionárias e agências estaduais.		
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados	

Etapa de produção	Descrição	Levantamento com equipamentos de contagem contínua
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI <i>Shapefile Technical Description</i> -KML
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. <i>Keyhole Markup Language</i>
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAAdiNr
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	

Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	12-2022
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.3 Ocorrências

A Tabela 9 a seguir apresenta a informação de identificação das ocorrências.

Tabela 9 – Informação de identificação das Ocorrências

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial das Ocorrências do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação
Edição	<i>Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).</i>	
Série	Ocorrências do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação	
Resumo	A Base Geoespacial das Ocorrências é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada das ocorrências em rodovias sob jurisdição federal. Foi estruturada nas seguintes categorias: trecho, rodovia, unidade da federação, tipo de ocorrência (movimentos de massa, erosão e alagamentos). As ocorrências são definidas como todos os eventos que podem ter como gatilho a ação climática e foram representadas na forma de pontos.	

Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada das ocorrências.		
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)		
Status	Contínuo		
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	
	Papel desempenhado	Autor	
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes	
	Cidade	Brasília	
	Região Administrativa	DF	
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br	
Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		<i>Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.</i>
Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra as ocorrências de desastres.</i>		
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
	Palavra-chave	Ocorrências	

Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM		
Declaração	A informação é obtida por meio de levantamentos em campo e por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia. Pode ser também obtida por dados externos provenientes de outras instituições.	
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados
Etapa de produção	Descrição	<i>Inserir o tipo de levantamento</i>
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI <i>Shapefile Technical Description</i> -KML
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. <i>Keyhole Markup Language</i>
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Opções de transferência	Online	<i>Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.</i>
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	<i>Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).</i>	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.4 Obras emergenciais

A Tabela 10 apresenta a informação de identificação das Obras Emergenciais.

Tabela 10 – Informação de identificação das Obras Emergenciais

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial das Obras Emergenciais do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação

Edição	Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).		
Série	Obras Emergenciais do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação		
Resumo	A Base Geoespacial das Obras Emergenciais é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada das obras emergenciais sob jurisdição federal. Foi estruturada nas seguintes categorias: trecho, rodovia, unidade da federação, obra emergencial. As obras emergenciais foram representadas na forma de pontos.		
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada das Obras Emergenciais.		
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)		
Status	Contínuo		
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	
	Papel desempenhado	Autor	
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes	
	Cidade	Brasília	
	Região Administrativa	DF	
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br	
Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.

Pré-visualização gráfica	Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra as Obras Emergenciais.	
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil
	Palavra-chave	Base vetorial
	Palavra-chave	Rodovias federais
	Palavra-chave	Obras Emergenciais
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM		
Declaração	A informação é obtida por meio de levantamentos em campo e por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.	
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados
Etapa de produção	Descrição	Inserir o tipo de levantamento
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile Technical Description-KML
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP

Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. <i>Keyhole Markup Language</i>
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	<i>Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.</i>
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	<i>Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).</i>	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.5 Elementos expostos

A Tabela 11 a seguir apresenta a informação dos Elementos Expostos.

Tabela 11 – Informação de identificação dos Elementos Expostos

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial dos Elementos expostos do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação
Edição	<i>Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).</i>	
Série	Elementos expostos do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação.	
Resumo	A Base Geoespacial dos Elementos Expostos é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos elementos expostos sob jurisdição federal, pertencentes às rodovias cadastradas no Sistema Nacional de Viação (SNV). Foi estruturada nas seguintes categorias: trecho, rodovia, unidade da federação, tipo de elemento exposto. Os elementos expostos foram representados na forma de pontos.	
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos Elementos Expostos.	
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)	
Status	Contínuo	
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região Administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		<i>Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.</i>
Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra os elementos expostos.</i>		
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
	Palavra-chave	Elementos Expostos	
Localidade padrão	Idioma	Português	
	Código de caracteres	UTF-8	
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM			
Declaração	A informação é obtida por meio de levantamentos em campo e por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.		
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados	
Etapa de produção	Descrição	<i>Inserir o tipo de levantamento</i>	
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados	
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica	
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação	

INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile Technical Description-KML
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. Keyhole Markup LANGUAGE
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.6 Trechos selecionados

A Tabela 12 apresenta a informação de identificação dos Trechos Selecionados.

Tabela 12 – Informação de identificação dos Trechos Selecionados

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial dos Trechos Selecionados do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação
Edição	<i>Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).</i>	
Série	Trechos Selecionados do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação	
Resumo	A Base Geoespacial dos Trechos Selecionados do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos trechos selecionados estudados no planejamento tático. Esses trechos podem vir da priorização no Planejamento Estratégico como extremamente alto, de demandas externas (Parlamentares, Poder Executivo, Órgãos de Controle, Ministério Público Federal ou outros) ou internas (Superintendência Regional, Unidade Local, Diretoria Setorial, Coordenações Setoriais ou outros). A base geoespacial foi gerada a partir dos dados geoespaciais do Sistema Nacional de Viação (SNV).	
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos Trechos Selecionados.	

Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)		
Status	Contínuo		
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)	
	Papel desempenhado	Autor	
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes	
	Cidade	Brasília	
	Região Administrativa	DF	
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br	
Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		<i>Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.</i>
Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra os Trechos Selecionados.</i>		
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
	Palavra-chave	Trechos priorizados	
Localidade padrão	Idioma	Português	

	Código de caracteres	UTF-8
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM		
Declaração	A informação é obtida por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.	
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados
Etapa de produção	Descrição	Levantamento cadastral com GNSS
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI <i>Shapefile Technical Description</i>
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	<i>Keyhole, Inc. Markup Language</i>
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Opções de transferência	Online	<i>Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.</i>
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	<i>Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).</i>	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.7 Trechos da priorização de investimentos

A Tabela 13 apresenta a informação de identificação dos Trechos da Priorização de Investimentos.

Tabela 13 – Informação de identificação dos Trechos da Priorização de Investimentos

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial dos Trechos da Priorização de Investimentos do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação

Edição	Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).		
Série	Trechos da Priorização de Investimentos do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação		
Resumo	A Base Geoespacial dos Trechos da Priorização de Investimentos do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) é um conjunto de dados geoespaciais de referência estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada das informações necessárias para realizar a priorização dos trechos que apresentaram viabilidade econômica no Módulo II e que poderão receber investimentos. Foi gerada a partir dos dados geoespaciais do Sistema Nacional de Viação (SNV).		
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos Trechos da Priorização de Investimentos.		
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)		
Status	Contínuo		
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)	
	Papel desempenhado	Autor	
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes	
	Cidade	Brasília	
	Região Administrativa	DF	
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br	
Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.

Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra os trechos da priorização de investimentos.</i> 	
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil
	Palavra-chave	Base vetorial
	Palavra-chave	Rodovias federais
	Palavra-chave	Trechos
	Palavra-chave	Investimentos
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM		
Declaração	A informação é obtida por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.	
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica
Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile Technical Description
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP

Formato de distribuição	Título	<i>Keyhole, Inc. Markup LANGUAGE</i>
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	<i>Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.</i>
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	<i>Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).</i>	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.4.8 Monitoramento

A Tabela 14 apresenta a informação de identificação do Monitoramento.

Tabela 14 – Informação de identificação do monitoramento

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	Base Geoespacial do Monitoramento do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação (SNV) - 01/2023	
Data	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo da data	Publicação
Edição	<i>Inserir código de edição dos dados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e uma letra para a versão (AAAA-MM-V).</i>	
Série	Monitoramento do Subsistema Rodoviário Federal do Sistema Nacional de Viação	
Resumo	A Base Geoespacial do Monitoramento é um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão integrada dos dados necessários para o monitoramento da Gestão da Resiliência Climática (Módulo IV). Foi estruturada nas seguintes categorias: tipo de solução, número de licitação, status (a licitar, em andamento, concluído ou contratado), data, licenciamento ambiental, status do projeto de engenharia (a fazer, em andamento ou concluído) e obras executadas. A base geoespacial foi gerada a partir dos dados geoespaciais do Sistema Nacional de Viação (SNV).	
Propósito	Compor um conjunto de dados geoespaciais de referência, estruturados em bases de dados digitais, permitindo uma visão e monitoramento.	
Créditos	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN), Coordenação de Levantamentos para Planejamento (COLEP)	
Status	Contínuo	
Responsável pelo recurso	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região Administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br

Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	Variável	
Categoria temática	Transportes		
Extensão	Extensão geográfica	Long. limítrofe oeste	-73.71°
		Long. limítrofe leste	-33.69°
		Long. limítrofe sul	-32.40°
		Long. limítrofe norte	4.48°
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização		<i>Inserir frequência de atualização definida na coordenação setorial.</i>
Pré-visualização gráfica	<i>Inserir pré-visualização gráfica da base geoespacial, conforme exemplo ao lado, que mostra os trechos com os dados do Monitoramento.</i>		
Palavras-chave	Palavra-chave	Brasil	
	Palavra-chave	Base vetorial	
	Palavra-chave	Rodovias federais	
	Palavra-chave	Monitoramento	
	Palavra-chave	Resiliência Climática	
Localidade padrão	Idioma	Português	
	Código de caracteres	UTF-8	
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM			
Declaração	A informação é obtida por meio de processos de compilação de informações provenientes de coordenações setoriais e/ou de unidades descentralizadas ligadas à autarquia.		
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados	
Etapa de produção	Descrição	Levantamento cadastral com GNSS	
Etapa de produção	Descrição	Processamento, geocodificação e padronização dos dados	
Etapa de produção	Descrição	Validação topológica, toponímica e geométrica	

Etapa de produção	Descrição	Programa de atualização permanente e divulgação
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Elipsoide	GRS 1980
	Datum	SIRGAS 2000
	Código	4674
	Code space	EPSG
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile Technical Description
	Data	1998-07
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole, Inc. Markup Language
	Data	2001
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Distribuidor	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Distribuidor
	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Opções de transferência	Online	<i>Inserir endereço para repositório onde o dado geoespacial será disponibilizado para transferência.</i>
METAMETADADOS		
Identificador do metadado	<i>Identificador obtido de forma online. Deve-se atentar às exigências de cadastro da Open Software Foundation (OSF).</i>	
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados	
Responsável pelo metadado	Nome	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
	Papel desempenhado	Autor

	Endereço	Setor de Autarquias Norte, Quadra 03, Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
	Cidade	Brasília
	Região administrativa	DF
	Endereço de e-mail	cgplan@dnit.gov.br
Data do metadado	Valor da data	<i>Inserir data de publicação dos metadados no seguinte formato nesta ordem: quatro dígitos para o ano, dois dígitos para o mês e dois dígitos para o dia (AAAA-MM-DD).</i>
	Tipo de data	Publicação
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

3.1.5 Painel gerencial e monitoramento contínuo

O Módulo IV é alimentado pelos dados e *outputs* provenientes dos três módulos anteriormente apresentados, sendo necessária a inclusão dos dados referentes ao tipo de solução, aos status e às datas das licitações dos projetos que passaram pela análise técnica dos especialistas, além do licenciamento ambiental e das obras que foram executadas. Também é responsável por armazenar os relatórios e informações obtidos por meio dos processos executados em cada um dos planejamentos (estratégico, tático e operacional).

A Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17 apresentam os dados e metadados relativos ao monitoramento.

Tabela 15 – Dados do monitoramento

Tb_dados_monitoramento							
ID_monitoramento	Tipo_solucao	num_licitacao	status	data	licenciamento_amb	obras_execut	ID_priorizacao_investimentos

Tabela 16 – Metadados do monitoramento

Tb_metadados_monitoramento_1		
Campo	Tipo de dados	Descrição
Planejamento Operacional	<i>Character</i>	O nome da tabela
<i>Inserir data de criação da tabela</i>	<i>Date</i>	A data em que a tabela foi criada
<i>Inserir data da última atualização da tabela</i>	<i>Date</i>	A data em que a tabela foi atualizada pela última vez
<i>Inserir número de linhas da tabela</i>	<i>Integer</i>	O número de linhas atualmente na tabela
<i>Inserir tamanho em bytes da tabela</i>	<i>Integer</i>	O tamanho em <i>bytes</i> da tabela no disco
<u>ID_monitoramento</u>	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave primária para a tabela
ID_priorizacao_investimentosl	<i>Character</i>	O nome do campo que serve como chave estrangeira para outra tabela

Tabela 17 – Metadados do monitoramento com descrição dos campos

Tb_metadados_monitoramento_2				
Campo	Tipo de dados	Chave primária	Chave estrangeira	Descrição
<u>ID_monitoramento</u>	<i>Character</i>	Sim	Não	Identificador único do Planejamento Operacional
tipo_solucão	<i>Character</i>	Não	Não	Tipo de solução
num_licitacao	<i>Numeric</i>	Não	Não	Número da licitação
status	<i>Character</i>	Não	Não	Status da licitação (A licitar, em andamento, concluído ou contratado)
data	<i>Date</i>	Não	Não	Data de actualização dos dados do Planejamento Operacional
licenciamento_amb	<i>Character</i>	Não	Não	Licenciamento ambiental
obras_execut	<i>Character</i>	Não	Não	Obras executadas
ID_priorizacao_investimentos	<i>Character</i>	Não	Sim	Identificador único do trecho em estudo no Planejamento Tático

3.2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO (PLE)

O aumento da frequência e da intensidade dos desastres naturais evidencia a necessidade urgente de fortalecer a resiliência da infraestrutura rodoviária federal. O Planejamento Estratégico (PLE) apresenta uma proposta metodológica fundamentada no aprimoramento da gestão da Resiliência Climática do DNIT, por meio da identificação e priorização de trechos rodoviários vulneráveis. Baseando-se na proposta do Programa de Avaliação de Riscos nas Rodovias Federais (PARF) com novos indicadores e suporte de métodos multicritérios de decisão, o planejamento visa otimizar a alocação de recursos para potencializar a segurança e a continuidade operacional da malha viária. Estruturado em quatro fases: diagnóstico, desenvolvimento de documentação para a gestão especializada na Resiliência Climática, testes e implantação e transmissão de conhecimento, o PLE propõe uma abordagem integrada que fortalece o conhecimento interno e prepara o DNIT para enfrentar os desafios climáticos futuros, assegurando uma infraestrutura mais resiliente e sustentável.

3.2.1 Seleção de indicadores (ICS, VMDA, ocorrências, obras emergenciais)

Independentemente do método adotado para a identificação e priorização dos trechos a serem adaptados quanto à Resiliência Climática, a sequência metodológica será a mesma, representada na Figura 2.

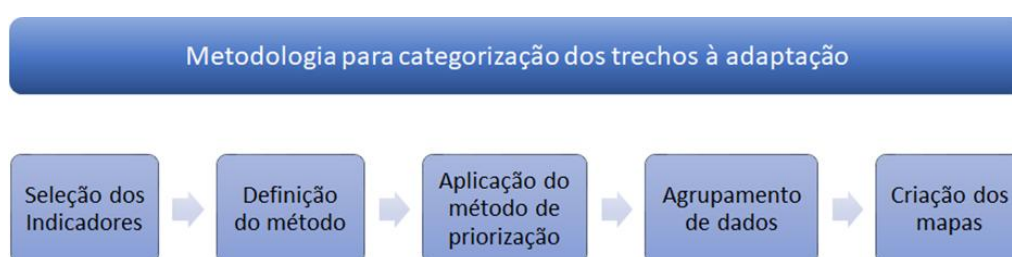


Figura 2 – Etapas da Metodologia a ser aplicada

Para um melhor entendimento das etapas da metodologia e da sequência do planejamento, adiante, estão apresentados os conceitos e etapas fundamentais para a elaboração do Planejamento Estratégico.

A seguir, estão definidos os indicadores pertinentes à Resiliência Climática, escolhidos para serem utilizados na aplicação do método de priorização.

3.2.1.1 Ocorrências

Neste indicador, devem ser levantados e classificados os desastres e eventos que influenciam na operação da malha viária administrada pelo DNIT e que afetam seu funcionamento de alguma forma, total ou parcialmente. A nomenclatura **ocorrências** foi pensada devido ao fato de que nem todo evento pertinente à Resiliência Climática acarreta um desastre. Este indicador foi selecionado por ser uma métrica importante para a verificação e validação das áreas mais suscetíveis às ocorrências.

A fim de tornar possível a criação de um banco de dados de ocorrências em rodovias de maneira padronizada, e posterior identificação das áreas mais suscetíveis a eventos climáticos prejudiciais, deve-se adotar a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), desenvolvida pela Defesa Civil Nacional, como base para catalogar quanto à origem dos desastres, conforme mostra a Tabela 18.

Tabela 18 – Classificação de desastres COBRADE

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE DESASTRE - COBRADE		
TIPO		COBRADE
Movimento de massa	Quedas, tombamento e rolamentos - Blocos	11311
	Quedas, tombamento e rolamentos - Lascas	11312
	Quedas, tombamento e rolamentos - Matacões	11313
	Quedas, tombamento e rolamentos - Lajes	11314
	Deslizamentos	11321
	Corridas de Massa - Solo/Lama	11331
	Corridas de Massa - Rocha/detrito	11332
	Subsidências e colapsos	11340
Erosão	Erosão Costeira/Marinha	11410
	Erosão de Margem Fluvial	11420
	Erosão Continental – Laminar	11431
	Erosão Continental – Ravinas	11432
	Erosão Continental – Boçorocas	11433
Inundações		12100

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE DESASTRE - COBRADE		
Enxurradas		12200
Alagamentos		12300
Ciclones/Vendavais	Ciclones - Ventos Costeiros (Mobilidade de Dunas)	13111
	Ciclones - Marés de Tempestade (Ressacas)	13112
	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	13215
Tempestade Local/Convectiva – Granizo		13213
Estiagem/seca	Estiagem	14110
	Seca	14120
Tempestade Local/Convectiva – Tomados		13211
Onda de Frio – Geadas		13322
Incêndio Florestal		14131
		14132

Fonte: COBRADE (2012)

3.2.1.2 Obras emergenciais

As obras emergenciais surgem a partir de uma situação emergencial caracterizada pela possibilidade de ocasionar prejuízos ou comprometer a segurança dos usuários, serviços, equipamentos, entre outros bens públicos e privados. Geralmente, as obras emergenciais são causadas por eventos climáticos extremos e podem gerar interrupções no tráfego da via. Sendo assim, os dados sobre estas obras podem servir como um bom indicador de trechos sujeitos à incidência de ocorrência de desastres naturais, e, por consequência, da capacidade de resiliência da via.

3.2.1.3 Índice de Condição da Superfície (ICS)

Uma boa condição do pavimento é fundamental para prolongar a vida útil da rodovia. O ICS reflete a situação funcional dos pavimentos rodoviários e pode indicar problemas. De acordo com a *European Concrete Paving Association* – EUPAVE (2021), pavimentos com melhor ICS são menos impactados pela sobrecarga de veículos de transporte de cargas e fornecem menor suscetibilidade a danos causados por inundações, alagamentos e erosões.

Além disso, pavimentos com elevada irregularidade superficial acarretam maiores custos operacionais, devido ao maior desgaste dos pneus, ao aumento no consumo de combustível, aos esforços mecânicos mais acentuados, entre outros. Ademais, na ausência de uma condição adequada do pavimento, os danos causados por eventos climáticos são acentuados; por exemplo, fortes chuvas afetam mais intensamente pavimentos em condições funcionais ruins. Sendo assim, o ICS consiste em um importante indicador para compor a Resiliência Climática da via.

Como seu nome indica, o ICS é um índice que reflete a situação funcional dos pavimentos e é representado no banco de dados do Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT por índices que variam de 1 a 5 (péssimo, ruim, regular, bom, ótimo), conforme demonstrado na Tabela 1, a seguir, obtidos após a caracterização das rodovias. Então, a definição do ICS se dá pela comparação entre o Índice de Gravidade Global (IGG) e o *International Roughness Index* (IRI), sendo atribuída a pior situação dos dois índices conforme valores e faixas dispostos na Tabela 19.

Tabela 19 – Relação IGG, IRI e ICS

IGG - Índice de Gravidade Global	IRI - <i>International Roughness Index</i>	ICS - Índice da condição da Superfície	Conceito
$0 \leq \text{IGG} \leq 20$	$0 \leq \text{IRI} \leq 2,5$	5	Ótimo
$20 < \text{IGG} \leq 40$	$2,5 < \text{IRI} \leq 3,5$	4	Bom
$40 < \text{IGG} \leq 80$	$3,5 < \text{IRI} \leq 4,5$	3	Regular
$80 < \text{IGG} \leq 160$	$4,5 < \text{IRI} \leq 6,0$	2	Ruim
$\text{IGG} > 160$	$\text{IRI} > 6,0$	1	Péssimo

Fonte: DNIT (2025)

3.2.1.4 Volume Médio Diário (VMD)

O Volume Médio Diário (VMD) é um fator essencial que as agências de infraestrutura viária – como o DNIT – precisam utilizar no planejamento para reduzir consequências graves em ocorrências de eventos climáticos nas rodovias por elas administradas (FHWA, 2020). É importante levar este indicador em consideração para a realização de um planejamento em medidas adaptativas à Resiliência Climática, pois a interrupção de rodovias onde há expressivo volume de tráfego ocasiona maiores prejuízos, visto a possibilidade de que as rotas alternativas não estejam preparadas para receber tal volume.

3.2.2 Método de análise multicritério

Francisco (2002, apud Ribeiro e Alves 2016) aponta que o aumento nas atividades que envolvem alocação de recursos limitados tem levado órgãos públicos e privados a lançarem mão de processos sistematizados – muitos deles baseados em métodos de análise multicritério de avaliação – para seleção de propostas e projetos. Tais escolhas, embasadas por estes processos, permitem aos gestores tomarem melhores decisões acerca da alocação de recursos, justificando os investimentos.

Neste contexto, existem diferentes métodos de análise desenvolvidos, com o intuito de que estes sejam aplicados às áreas e setores em que as metodologias baseadas em critérios únicos são consideradas ineficazes (Boulomytis *et al.*, 2015). Dentro desse universo de soluções, a análise multicritério se apresenta como uma importante ferramenta para a resolução de problemas, utilizando vários fatores de influência relacionados ao objeto de estudo (Francisco *et al.*, 2007).

Os métodos multicritério fornecem etapas e técnicas para encontrar uma solução adequada a cada tipo de situação, com a distinção de colocar o analista no centro do processo. A análise multicritério não é um método automatizado que apresenta a mesma solução para todos os casos, incorporando também informações subjetivas. As informações subjetivas, também conhecidas como informações de preferência, são fornecidas pelo analista de decisão por meio dos pesos de comparação aplicados e são fundamentais para a solução apresentada.

Cada problema de análise multicritério está associado a vários atributos, também chamados de **indicadores** ou **critérios de decisão**. Eles representam as diferentes dimensões a partir das quais as alternativas podem ser visualizadas. Os critérios podem ser organizados de forma hierárquica de modo que cada critério principal possa estar associado a vários subcritérios.

Além disso, em relação aos tipos de problemas que envolvem análises de muitos fatores, Roy (1981) identificou quatro tipos principais de decisão às quais o método de análise multicritério se aplica, os quais estão apresentados, a seguir, na Figura 3.

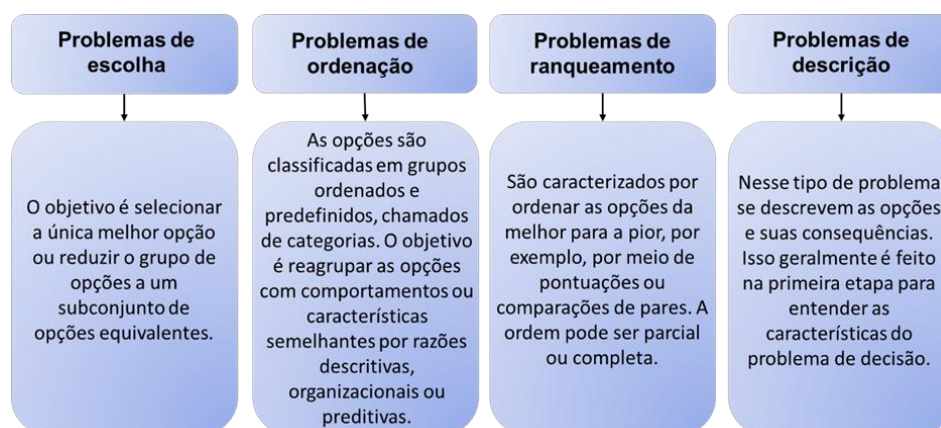


Figura 3 – Tipos de problemas que envolvem análises de muitos fatores

Fonte: Roy (1981)

Para solucionar os problemas relacionados ao multicritério, um amplo número de artifícios tem sido desenvolvido de maneira a auxiliar no processo de resolução. A Tabela 20, a seguir, apresenta os principais métodos e os problemas de decisão que eles resolvem, de acordo com Ishizaka e Nemery (2013).

Tabela 20 – Critérios de decisão e os respectivos métodos de solução adequados

	Problemas de escolha	Problemas de ranqueamento	Problemas de ordenamento	Problemas de descrição
Métodos de análise possíveis para cada tipo de decisão	AHP	AHP	<i>AHPSort</i>	GAIA, FS-Gaia
	ANP	ANP		
	MAUT/UTA	MAUT/UTA	UTADIS	
	MACBETH	MACBETH		
	<i>PROMETHEE II</i>	<i>PROMETHEE II</i>	<i>FlowSort</i>	
Métodos de análise possíveis para cada tipo de decisão	ELECTRE I	ELECTRE III	ELECTRE-Tri	
	TOPSIS	TOPSIS		
	<i>Goal Programming</i>			
	DEA	DEA		

Fonte: Ishizaka e Nemery (2013)

A análise multicritério é utilizada para um problema de ranqueamento, sendo que o objetivo final desta etapa é apresentar os trechos das rodovias estudadas categorizados em ordem de prioridade para a adaptação, com base nos indicadores definidos. O passo de maior relevância da metodologia consiste em definir um método apropriado para ranquear esses trechos, com base na prioridade à adaptação. Para os problemas de ranqueamento, com base na Tabela 20, os principais métodos de solução dessa natureza são: AHP, ANP, MAUT/UTA, MACBETH, *PROMETHEE II*, ELECTRE III, TOPSIS e DEA.

Para avaliar a influência de cada indicador no processo de análise de classificação dos trechos prioritários à adaptação, a definição dos parâmetros é um aspecto complexo e subjetivo. Isto se deve a uma ampla complexidade existente em conceituar e estruturar numerosos componentes do problema em um arranjo que facilite a compreensão e a análise. Além disso, a natureza dos componentes indicadores é diferente – alguns são quantitativos, enquanto outros são não mensuráveis.

Neste documento são abordados dois diferentes métodos de análise multicritério, a fim de compará-los e escolher o melhor caminho a ser tomado pelo DNIT: o Método da Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) e o *PROMETHEE II*. O primeiro utiliza-se de uma abordagem fundamentada no emprego de um dos métodos de auxílio à decisão sob múltiplos critérios mais reconhecidos cientificamente. O método AHP foi escolhido por ter sido amplamente estudado e por ser o método com maior número de publicações relacionadas (HO e MA, 2018). Além disso, o documento do PARF (PARF, 2017) sugere o AHP como o método adequado a ser utilizado em trabalhos com análises mais complexas. Já o *PROMETHEE II* foi escolhido pela facilidade de utilização e por ter sido utilizado por outras áreas no âmbito da Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN) do DNIT.

3.2.2.1 Método Analytic Hierarchy Process - AHP

De acordo com Ribeiro e Alves (2016), o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é amplamente utilizado na avaliação de objetivos e critérios múltiplos em problemas caracterizados pela complexidade e subjetividade. Criado por Thomas L. Saaty na década de 1970, o AHP fornece uma teoria geral de medição para expressar fatores tangíveis e intangíveis por meio de um método redundante de comparação pareada, permitindo tratar problemas complexos de maneira simples, devido à sua capacidade de criar pesos para os critérios com base em julgamentos emitidos pelos decisores (Saaty, 1991).

Segundo Saaty (1991), a aplicação do AHP compreende as seguintes fases: estruturação de critérios e alternativas; coleta de julgamentos; cálculo de prioridades; verificação da consistência do julgamento; e, finalmente, o cálculo das prioridades globais das alternativas. A estruturação dos critérios consiste em modelar o problema de decisão em uma estrutura hierárquica, que, partindo do objetivo principal, se decompõe em vários critérios necessários para atingir o objetivo, formando uma camada de critérios. Cada elemento dessa camada, por sua vez, pode ser decomposto em subcritérios, e assim sucessivamente, facilitando o tratamento e a compreensão do problema.

A possibilidade de estruturar o problema em níveis hierárquicos – com a utilização de critérios e subcritérios – facilita a compreensão e operacionalização do AHP pelos usuários e tomadores de decisões, fatores estes que fomentam a utilização desse método. Este tipo de estrutura representa uma relação de subordinação entre os elementos, de forma que todos estejam voltados ao alcance do objetivo principal. O AHP se adequa bem ao Planejamento Estratégico da Resiliência Climática no âmbito do DNIT, haja vista o tipo de problema (previamente mencionado) e por propor uma metodologia capaz de gerar um ranqueamento que identifica quais os trechos que mais sofrem com a ação climática.

3.2.2.2 Método PROMETHEE

O método *PROMETHEE* (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) pertence à escola francesa de Análise Multicritério a Decisão. Segundo Brans *et al.* (1986), o método *PROMETHEE* possui seis variantes (I, II, III, IV, V e VI) que apresentam diferentes características metodológicas e objetivos, os quais são descritos na Tabela 21, a seguir.

Tabela 21 – Variantes do método *PROMETHEE*

Método	Características
<i>PROMETHEE</i> I	Pré-ordem parcial, problemas de escolha e ordenação
<i>PROMETHEE</i> II	Estabelece uma pré-ordem completa entre alternativas, também utilizado nas problemáticas de escolha e ordenação
<i>PROMETHEE</i> III	Ampliação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar)
<i>PROMETHEE</i> IV	Utilizado em situações em que o conjunto de alternativas é contínuo
<i>PROMETHEE</i> V	Neste método, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (<i>PROMETHEE</i> II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas, incorporando-se uma metodologia de otimização
<i>PROMETHEE</i> VI	Pré-ordem completa ou parcial. Problemáticas de escolha e ordenamento. Destinado a situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério
<i>PROMETHEE</i> GAIA	Extensão dos resultados do <i>PROMETHEE</i> , através de um procedimento visual e interativo

Fonte: Brans *et al.* (1986)

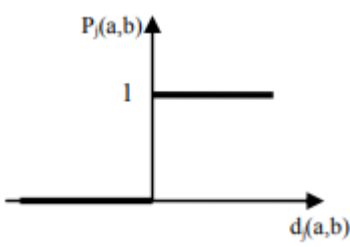
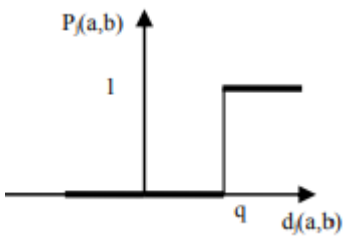
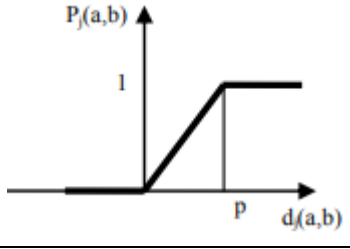
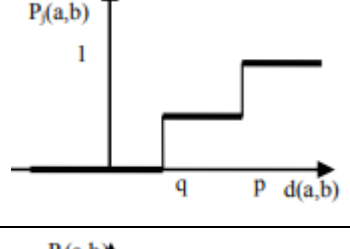
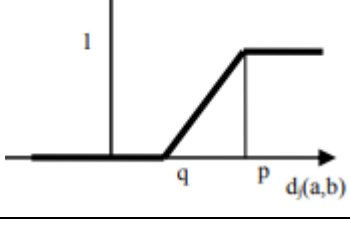
Este documento apresenta o método *PROMETHEE* II, objetivando uma ordenação completa dos trechos da malha rodoviária sob administração do DNIT. O cálculo do *PROMETHEE* II se subdivide em quatro etapas, que são descritas a seguir.

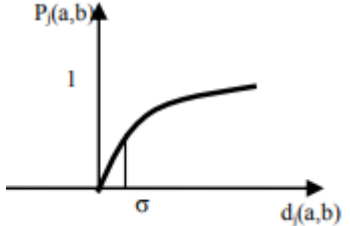
A primeira etapa consiste em calcular a diferença de desempenho (δ_{ik}) (Equação 1) da alternativa x_i com a alternativa x_k relativa a critério j e a função de preferência (explicadas na Tabela 22) relativa de cada critério j , que será escolhida pelo decisor e é dada pela Equação 2.

$$(\delta_{ik}) = (u_j(x_i) - u_j(x_k)) \quad (1)$$

$$P(x_i, x_k) = P_j(u_j(x_i) - u_j(x_k)) = P_j(\delta_{ik}) \quad (2)$$

Tabela 22 – Funções de preferência do método PROMETHEE II

Tipo	Representação	Parâmetros fixados
Usual	$P_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } d_j(a,b) \leq 0 \\ 1 & \text{se } d_j(a,b) > 0 \end{cases}$ 	–
U-Shape	$P_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } d_j(a,b) \leq q \\ 1 & \text{se } d_j(a,b) > q \end{cases}$ 	q
V-Shape	$P_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_j(a,b) > p \\ d_j(a,b)/p & \text{se } 0 < d_j(a,b) \leq p \\ 0 & \text{se } d_j(a,b) \leq 0 \end{cases}$ 	p
Level	$P_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_j(a,b) > p \\ 1/2 & \text{se } q < d_j(a,b) \leq p \\ 0 & \text{se } d_j(a,b) \leq q \end{cases}$ 	q, p
V-Shape I	$P_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_j(a,b) > p \\ [d_j(a,b) - q] / (p - q) & \text{se } q < d_j(a,b) \leq p \\ 0 & \text{se } d_j(a,b) \leq q \end{cases}$ 	q, p

Tipo	Representação		Parâmetros fixados
Gaussiana	$P_j(a,b) = \{1 - \exp\{-[d_j(a,b)]^2 / 2\sigma^2\}\}$		σ

Fonte: Brans et al. (1986)

Na segunda etapa inferior à linha i, k , se calcula o índice de preferência (s inferior à linha i, k) da alternativa x inferior à linha i, x inferior à linha i, x_i comparada a todas as demais alternativas x_k . Este índice é dado pela Equação 3, a seguir.

$$s_{ik} = \frac{\sum_j w_j \cdot P(\delta_{ik})}{\sum_j w_j} \quad (3)$$

Onde:

w_j é o peso de cada critério, ou seja, a importância que o decisor atribui ao critério dentro do problema em questão.

A terceira etapa concerne a representar os fluxos de importância. O primeiro que é definido é o fluxo de superação positivo, também chamado de fluxo de saída, que representa a intensidade de preferência de uma alternativa sobre todas as demais alternativas. Este fluxo de importância é dado pela Equação 4, a seguir.

$$\varphi_i^+ = \sum_k s_{ik} \quad (4)$$

O segundo fluxo de importância é o fluxo de entrada, também chamado de fluxo de importância negativo, este representa a intensidade de preferência de todas as alternativas sobre uma das alternativas e pode ser calculado com a Equação 5:

$$\varphi_i^- = \sum_k s_{ki} \quad (5)$$

A quarta e última etapa consiste em obter a ordenação geral das alternativas, utilizando o valor do fluxo de importância ou fluxo líquido, que representa o balanço

entre o poder e a fraqueza da alternativa. Cabe ressaltar que quanto maior o fluxo líquido melhor é o desempenho da alternativa, usando a Equação 6 para o cálculo deste fluxo:

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (6)$$

3.2.3 Agrupamento de dados

Com a aplicação do método AHP, são obtidos os índices de prioridade de adaptação das vias, sendo que quanto maior o valor do índice, maior será a prioridade que o trecho terá para a fase de adaptação. Devido ao amplo volume de dados obtidos, estes precisam ser refinados. Para tanto, é aplicado o método de agrupamento de dados, classificando, então, quais são os trechos mais ou menos críticos em relação à adaptação.

A análise de agrupamento de dados consiste em um grupo de técnicas de prospecção de dados que tem o propósito de agrupar os dados em grupos, de acordo com as características dos objetos analisados, focando no grau de semelhança entre eles. A técnica de análise de agrupamento de dados pode ser usada para refinar um conjunto de dados, reduzindo a ampla gama de dados à informação do centro do seu conjunto (Linden, 2009).

Existem vários tipos de análises de agrupamentos, tais como: escala logarítmica, contagem igual (quantis), intervalos iguais, quebra natural (Jenks), entre outros. A utilização de cada método de agrupamento irá depender do tipo de distribuição dos dados em análise, por exemplo, o método de intervalos iguais é o mais indicado para dados distribuídos uniformemente, por outro lado, o método de quebra natural (proposto por Jenks em 1967) se utiliza de um algoritmo para minimizar a variação em cada grupo e é indicado para distribuições de dados não normais e não uniformes.

A quebra natural é um método de agrupamento de dados feito para estabelecer o melhor agrupamento de valores em múltiplas classes de dados. Esse método tem por objetivo formar grupos com valores homogêneos e com baixa variância, embora entre as classes os valores sejam heterogêneos e com maior variância. Devido ao fato de

este método utilizar a classificação das quebras naturais para agregar valores na mesma classe, ele pode ser aplicado no mapeamento de valores de dados heterogeneamente distribuídos (Delazari, 2019).

Este método é normalmente utilizado em mapas temáticos e coropléticos, por representar atributos espaciais dos dados, além de identificar possíveis *clusters*, agrupamento de dados, nos valores analisados. Com isto, sugere-se que o método de Jenks (1967) seja o mais adequado para tratar os dados do Planejamento Estratégico, por ter capacidade de trabalhar com uma ampla gama de dados que não possuem distribuição normal ou uniforme.

3.2.4 Criação dos mapas

Após a realização do agrupamento dos dados, devem ser classificados os trechos prioritários à adaptação por meio da criação de mapas. A geração do mapa de trechos prioritários, com base nos indicadores de Resiliência Climática, busca fornecer uma visão integrada da rede rodoviária sob administração do DNIT, com a distribuição espacial das ocorrências de desastres naturais, alocação de investimentos em obras emergenciais e, também, os outros quantificadores provenientes dos indicadores.

Como resultado da elaboração do mapa, é obtido um diagnóstico preliminar da situação, o qual deve ser investigado para a confirmação de sua criticidade e, posteriormente, para a avaliação do risco e da necessidade de intervenções. Portanto, o mapa é o primeiro ponto focal, a ser ampliado e consolidado para o estabelecimento de prioridades de ações de planejamento, de desenvolvimento de projetos, de execução de obras e de investimentos em manutenção, visando o aumento da resiliência da malha rodoviária administrada pelo DNIT.

3.2.5 Metodologias multicritério (AHP E *PROMETHEE II*)

Previamente à realização da análise multicritério, independentemente do método a ser utilizado, devem ser coletados os dados referentes aos indicadores previamente selecionados.

3.2.5.1 Seleção de indicadores

Os indicadores incluem algumas propriedades fundamentais que representam o objetivo estratégico de identificar e classificar trechos. Tendo em vista que a interrupção de uma via (quando ocorre qualquer evento disruptivo), aliada à vulnerabilidade da infraestrutura e ao volume de tráfego, é objeto de estudo fundamental para a Resiliência Climática, estes foram selecionados como os critérios principais de classificação dos trechos em relação à priorização. Os indicadores que têm influência sobre cada um destes critérios foram agrupados em subcritérios para facilitar a compreensão da importância de cada elemento do problema.

A partir dos indicadores selecionados, devem ser coletados os dados a eles relacionados. Os indicadores que deverão compor a metodologia de priorização realizada no Planejamento Estratégico estão apresentados na Figura 4, a seguir. Na sequência, está objetivamente explicada a escolha de cada indicador.

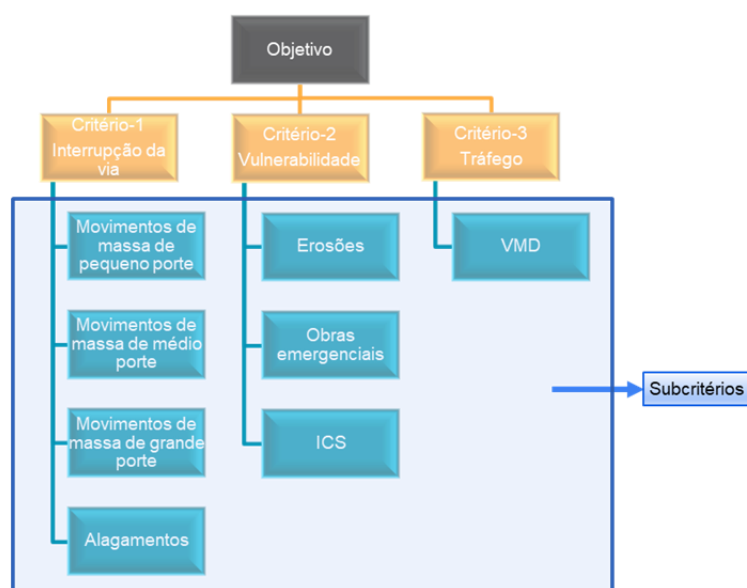


Figura 4 – Indicadores de Resiliência Climática

Futuramente, outros indicadores poderão ser incorporados à priorização, por exemplo, a quantidade de rotas alternativas para cada trecho analisado, em caso de interrupção. Entretanto, devem ser avaliados a origem e o destino para cada trecho e as rotas alternativas relacionadas a cada par origem e destino, sendo a realização dessa mensuração complexa para toda a malha rodoviária.

Embora existam *softwares* como o TransCAD® e o Visum®, os quais permitem a realização de macrossimulações de tráfego, existe uma dificuldade de simular para toda a malha federal, uma vez que o arquivo em formato .shp atual da malha do DNIT encontra-se com alguns pontos desconexos, o que torna, por ora, inviável a inserção deste indicador nesta fase do planejamento. Contudo, em uma análise mais pontual, as rotas alternativas devem ser aferidas no Planejamento Tático.

3.2.5.2 Coleta de dados

Para a realização da coleta de dados, foram levantados os órgãos e setores, internos e externos ao DNIT, que fornecem informações pertinentes ao estudo realizado. Em um contexto geral, as informações coletadas foram trabalhadas para serem associadas a uma coordenada geográfica e, posteriormente, ao trecho da rodovia.

Para associação dos atributos dos indicadores às rodovias correspondentes, deve-se dividir toda a malha rodoviária federal em trechos de até 10 km de extensão, criando um *buffer* de 50 metros, de forma a ter um valor representativo da faixa de domínio para toda a malha. Tal divisão é necessária para padronizar os trechos a serem classificados quanto à Resiliência Climática, visto que a divisão por SNV (Sistema Nacional de Viação) não apresenta uma padronização nas extensões das divisões da rodovia, de modo que alguns trechos apresentam apenas centenas de metros e outros centenas de quilômetros, o que poderia comprometer a comparação por meio da quantificação de desastres e obras emergenciais, por exemplo.

Para esta divisão, deve-se coletar o arquivo mais recente da malha rodoviária com todos os SNVs, em formato .shp. Este arquivo deve ser aberto em algum *software* de georreferenciamento, assim como o QGIS®, e, posteriormente, deve-se realizar a quebra dos trechos em até 10 km, por meio de alguma ferramenta disponibilizada pelo *software* (no caso do QGIS®, pode-se utilizar a ferramenta **v.split**).

3.2.5.3 Ocorrências

As ocorrências devem ser registradas pelas Unidades Locais (ULs), sendo que a supervisora de manutenção pode ser designada para essa tarefa. É importante registrar todas as ocorrências, mesmo aquelas que não resultam em interrupção ou não geram serviços para as empresas de manutenção. Um formulário será desenvolvido para padronizar e organizar os registros em um banco de dados centralizado. Será necessário registrar ocorrências de alagamentos (incluindo inundações e enxurradas), movimentos de massa e erosões. É essencial que todas as ocorrências sejam documentadas por meio de fotografias e georreferenciadas.

Com a malha dividida e geoespacializada em trechos de até 10 km de extensão, os dados de cada tipo de desastre devem ser sobrepostos e atribuídos ao trecho correspondente, de forma a criar um indicador da quantidade de todos os tipos de desastre registrados no trecho em questão.

A utilização de uma ferramenta já familiarizada pelos servidores e colaboradores que atuam nas unidades descentralizadas pode ser uma abordagem eficiente para a coleta de dados. Portanto, sugere-se a criação de um módulo **Resiliência Climática** em algum sistema já em uso ou em desenvolvimento pelo DNIT.

3.2.5.4 Obras emergenciais

De acordo com o DNIT (2025), que trata dos procedimentos para contratação emergencial de obras ou serviços de engenharia, compete à Coordenação de Engenharia Terrestre – subordinada ao Superintendente Regional – a expedição da Declaração da Situação de Emergência (DSE) nos casos em que ficar configurada situação emergencial de obras ou serviços de engenharia e comunicar ao Superintendente Regional, para ratificação.

Ainda conforme o documento mencionado acima, o servidor responsável deve realizar o registro da ocorrência, por meio da emissão do Relatório Técnico. A Administração Central deve ser informada assim que se tiver ciência da ocorrência.

Esse relatório deve conter:

- a) Descrição sucinta dos problemas ocorridos;
- b) A perfeita identificação do local (via, trecho, subtrecho, segmento, SNV, rio, canal de navegação, lago, entre outros);
- c) As prováveis causas do ocorrido, a situação e as consequências sobre o tráfego das vias e a possível evolução dos problemas;
- d) A indicação preliminar dos serviços necessários para o restabelecimento das condições de trafegabilidade e segurança;
- e) Relatório fotográfico que evidencie os problemas relatados;
- f) Informação sobre a existência de contrato(s), indicando se há possibilidade de utilização desse(s) contrato(s) para solução parcial ou total dos problemas.

Assim sendo, recomenda-se que, sempre que for elaborado o Relatório Técnico para a DSE, seja enviada uma cópia à CGPLAN, para fins de gestão da Resiliência Climática. Pode ocorrer alguma situação em que a DSE não esteja relacionada a eventos climáticos; entretanto, esse filtro será realizado no âmbito da COPLAN.

Uma recomendação adicional é integrar o registro das obras emergenciais ao Sistema de Gestão da Resiliência Climática, o qual pode ser realizado pelo mesmo profissional responsável pela elaboração do Relatório Técnico. O **Relatório Final de Sugestões de Melhorias** (Consórcio Engefoto-Pavesys, 2023a) contém um modelo de formulário para o registro de novas contratações emergenciais, que deve ser preenchido sempre que ocorrerem contratações adicionais. Em situações de ocorrências generalizadas, como deslizamentos em vários pontos da rodovia, todos os pontos afetados devem ser registrados nesse formulário. Essa abordagem garantirá que todos os registros sejam incorporados ao sistema, criando assim um banco de dados abrangente para auxiliar na tomada de decisões.

3.2.5.5 Índice de Condição da Superfície (ICS)

Os dados do ICS devem ser calculados para cada trecho, de acordo com os dados georreferenciados para os índices IRI (*International Roughness Index*) e IGG (índice de Gravidade Global) no Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). Os valores de IRI e IGG representativos do trecho serão correspondentes à média somada ao valor de um desvio padrão, para um intervalo de confiança de 95 %. Posteriormente, o ICS será levantado em conformidade com esses índices.

3.2.5.6 Volume Média Diário anual (VMDa)

Este indicador deve ser coletado por meio dos arquivos *.shp* disponibilizados pelo DNIT, através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT). Para os SNVs que não possuem a contagem, deve-se utilizar o valor do VMDa para o trecho em questão por meio da estimativa de tráfego obtida da modelagem de tráfego (atributo incluso nos arquivos *.shp*).

Para fins do julgamento par a par a ser realizado no Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), os dados utilizados devem ser coletados da coluna **legenda** da tabela de atributos do *shapfile*, que traz o VMDa em intervalos, tal como exposto na Tabela 23. Dessa forma, o VMDa é dividido em classes, o que possibilita a comparação e o julgamento com mais facilidade.

Tabela 23 – Intervalos de VMDa

Intervalo	VMDa
1	0 – 2.500
2	2.501 – 7.500
3	7.501 – 15.000
4	15.001 – 50.000
5	>50.000

3.2.5.7 Método Analytic Hierarchy Process – AHP

Nesta seção, é apresentado o passo a passo da metodologia AHP, a ser aplicada no Planejamento Estratégico.

3.2.5.8 Estruturação dos critérios

A estruturação dos critérios deve ser realizada modelando o problema em uma estrutura hierárquica. Partindo-se do objetivo principal, esta estrutura é decomposta em uma série de critérios, que, por sua vez, podem ser desmembrados em subcritérios, tornando mais fácil o tratamento e a compreensão do problema. Para a apropriada aplicação do método, ao se avaliar os critérios – ou indicadores –, eles devem ser independentes entre si. Indicadores independentes são aqueles em que a presença ou ausência de um não afeta a forma como qualquer outro será avaliado comparativamente.

3.2.5.9 Julgamentos

De acordo com Saaty (1991), após a hierarquização, o julgamento é realizado por meio da comparação par a par entre dois elementos de um mesmo nível em relação ao elemento foco imediatamente superior. Os elementos são dispostos na mesma ordem, formando as linhas e as colunas de uma matriz quadrada, cuja ordem é o número de elementos que estão no mesmo nível – subordinados ao nível imediatamente superior.

Vários autores apontam dificuldades de julgamento quando é lançado mão de algum critério qualitativo e sugerem a aplicação de formulários, assim como Gomes (2006) e Nunes Junior e Chamon (2006). Campos e Ribeiro (2006 *apud* Godoi, 2014) afirmam que mesmo com apenas um critério no julgamento e algumas alternativas, julgadores tiveram dificuldade de compreensão do que estavam julgando. Portanto, para mitigar este problema, sugere-se que o julgamento a ser realizado no Planejamento Estratégico seja produto de um consenso entre as partes interessadas que tenham conhecimento prévio sobre o assunto. Outra possibilidade é a realização de pesquisas científicas relacionadas aos indicadores estabelecidos.

O julgamento é realizado por meio da comparação de cada elemento das linhas com cada elemento das colunas e o valor da comparação é registrado na posição linha e coluna referente aos elementos comparados. A Tabela 24 apresenta, de maneira

genérica, a matriz de julgamento de n alternativas relacionadas a um critério qualquer, em que x_{ij} representa os valores de julgamento entre pares, variando i e j de 1 a n . Conforme Saaty (1991), as comparações par a par em uma linha geram relações recíprocas nas colunas, ou seja, para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por x_{ij} , há um valor igual a $1/x_{ij}$ na posição de linha j e coluna i . Os valores da diagonal principal da matriz são sempre iguais a 1.

Tabela 24 – Matriz de julgamento par a par

	C₁	C₂	...	C_n
C₁	1	x_{12}	...	x_{1n}
C₂	$1/x_{12}$	1	...	x_{2n}
...	...	...	...	...
C_n	$1/x_{1n}$	$1/x_{2n}$	...	1

Fonte: Saaty (1991) *apud* Ribeiro e Alves (2016)

O julgamento par a par deve ser realizado a partir dos valores da escala de Saaty (1991), na qual, primeiramente, o julgamento é conceitual e, em seguida, é realizada a conversão para escala numérica para ser registrada na célula correspondente da matriz, conforme apresentado na Tabela 25, a seguir.

Tabela 25 – Tabela de Saaty para julgamentos comparativos

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICAÇÃO
1	Ambos os elementos são de igual importância.	Ambos os elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
2	Importância Ligeiramente superior	
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
4	Mais moderada	
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
6	Mais forte	

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICAÇÃO
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
8	Muito mais forte	
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
INCREMENTO 0 A 1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0 a 1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Fonte: Saaty (2013)

3.2.5.10 Definição das prioridades (pesos)

Definidas as comparações entre pares, a fase seguinte é calcular a contribuição relativa de cada elemento à luz do seu objetivo imediato e, dessa forma, sequencialmente até o objetivo principal. As prioridades médias locais devem ser obtidas conforme procedimento utilizado por Vargas (2010) (a título de exemplo, serão apresentadas matrizes 3 x 3 para demonstrar cada passo):

- Primeiramente, calcula-se o somatório dos julgamentos registrados em cada coluna da matriz de julgamento, representada pela letra C (Tabela 26);

Tabela 26 – Matriz de julgamento com somatório das colunas

	C₁	C₂	C₃
C₁	1	a ₁₂	a ₁₃
C₂	a ₂₁ = 1/ a ₁₂	1	a ₂₃
C₃	a ₃₁ = 1/ a ₁₃	a ₃₂ = 1/ a ₂₃	1
	$\sum C_1$	$\sum C_2$	$\sum C_3$

- O segundo passo é criar uma matriz normalizada, em que cada elemento é dividido pelo somatório de sua respectiva coluna (Tabela 27).

Tabela 27 – Matriz normalizada com cálculo dos pesos

	C₁	C₂	C₃
C₁	$N_{11} = 1/\sum C_1$	$N_{12} = a_{12}/\sum C_2$	$N_{13} = a_{13}/\sum C_3$
C₂	$N_{21} = a_{21}/\sum C_1$	$N_{22} = 1/\sum C_2$	$N_{23} = a_{23}/\sum C_3$
C₃	$N_{31} = a_{31}/\sum C_1$	$N_{32} = a_{32}/\sum C_2$	$N_{33} = 1/\sum C_3$

- A prioridade é calculada por meio da média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada, que representam o autovetor (Tabela 28).

Tabela 28 – Matriz normalizada com cálculo dos pesos

	C₁	C₂	C₃	Autovetor
C₁	N_{11}	N_{12}	N_{13}	$P_1 = (N_{11} + N_{12} + N_{13})/3$
C₂	N_{21}	N_{22}	N_{23}	$P_2 = (N_{21} + N_{22} + N_{23})/3$
C₃	N_{31}	N_{32}	N_{33}	$P_3 = (N_{31} + N_{32} + N_{33})/3$

O resultado de cada linha (P1, P2 e P3) corresponde ao percentual relativo de cada elemento em relação ao objetivo imediato, ou seja, são os pesos de cada elemento.

3.2.5.11 Cálculo da consistência

Após o cálculo das prioridades de cada matriz, é realizado o cálculo da consistência de tais julgamentos. Vargus (2010) descreve os passos para verificar a consistência do julgamento, proposta por Saaty (1991) com um limite de tolerância de 10 %. O primeiro passo é calcular o autovalor da matriz de julgamento ($\lambda_{m\acute{a}x}$), que consiste no “somatório do produto de cada total da coluna j da matriz original de julgamentos por cada elemento na posição correspondente do vetor de prioridade, considerando j a coluna da matriz de julgamento variando de 1 a n ” (Ribeiro e Alves, 2016), conforme apresentado na Equação 7, a seguir.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \sum_{j=1}^n T_j * P_j \quad (7)$$

Em que:

T_j é o somatório da coluna j da matriz de julgamento;

P_j é a prioridade calculada para o critério na linha j .

No caso do exemplo apresentado no item anterior, o $\lambda_{máx}$ seria calculado da seguinte forma (Equação 8):

$$\lambda_{máx} = \sum C_1 * P_1 + \sum C_2 * P_2 + \sum C_3 * P_3 \quad (8)$$

Onde C_1 , C_2 e C_3 correspondem, respectivamente, às colunas 1, 2 e 3 da matriz de julgamento e P_1 , P_2 e P_3 representam, respectivamente, as prioridades dos critérios associados às linhas 1, 2 e 3 da matriz.

O segundo passo da verificação da consistência é realizar o cálculo do índice de consistência (*Consistency Index – CI*), por meio da Equação 9.

$$CI = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (9)$$

Por fim, deve ser utilizado o índice randômico (*Random Index – RI*) – que representa o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente pelo laboratório Oak Ridge – para o cálculo da razão de consistência (*Consistency Ratio – CR*), de acordo com a Equação 10.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

A Tabela 29 apresenta os valores de *RI* gerados randomicamente para matrizes recíprocas de ordem n .

Tabela 29 – Índices aleatórios de Saaty (1991)

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991)

Saaty (1991) afirma que, caso o cálculo do CR apresente um valor superior a 0,10, a matriz é considerada inconsistente e o julgamento deve ser refeito.

3.2.5.12 Priorização dos trechos

Após os pesos serem definidos para cada critério/subcritério, a etapa seguinte é cruzar a base de dados com esses pesos. Iniciando do terceiro nível hierárquico, serão atribuídas as notas de classificação (NC_i) para cada subcritério. Neste nível, basta realizar a multiplicação do peso atribuído ao subcritério com o indicador correspondente na base de dados, atribuindo o peso ao intervalo correspondente.

Após a atribuição das notas de classificação no terceiro nível, estas serão multiplicadas pelo peso correspondente obtido previamente para o segundo nível e, posteriormente, somadas, conforme apresentado, na Equação 11, a seguir.

$$NC_2 = \sum_{i=1}^N NC_i * p_i \quad (11)$$

Em que:

NC_2 é a nota de classificação do critério em análise no segundo nível;

NC_i é a nota de classificação do subcritério i no terceiro nível;

p_i é o peso correspondente ao subcritério i no terceiro nível.

Para o índice de prioridade dos trechos, que representa o objetivo principal, o cálculo é realizado de maneira análoga ao passo anterior, alterando as variáveis para o nível imediatamente superior.

Dessa forma, com os valores do índice de prioridade em mãos, é necessário utilizar a quebra de Jenks para segregar os dados em sete categorias – de extremamente baixa a extremamente alta. O suplemento do EXCEL® Xrealstats possui a função automatizada para a realização desta quebra em categorias, conforme apresentado na Figura 5, a seguir.

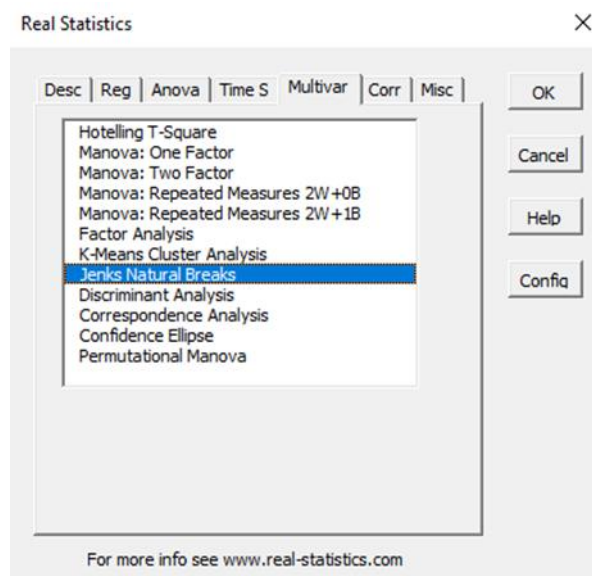


Figura 5 – Xrealstats: função quebra natural de Jenks

Fonte: Real Statistics (2025)

3.2.5.13 Criação do mapa

Definidas a priorização dos trechos e as respectivas categorias, é possível espacializar os dados e realizar a criação do mapa de priorização por meio do *software* QGIS®, ou de algum outro que possibilite a realização dessa tarefa.

3.2.6 Método PROMETHEE II

A metodologia *PROMETHEE* II pode também ser utilizada para definir a priorização dos trechos que precisam de algum tipo de intervenção para aumentar sua resiliência. Assim, nos seguintes passos:

A metodologia é dividida em cinco passos. O Passo 1 consiste em apresentar os indicadores previamente definidos na subseção 3.2.1. Salienta-se que novos critérios podem ser incluídos em uma nova avaliação. O Passo 2 refere-se à coleta de dados, na qual os dados referentes a cada subcritério devem ser coletados.

O Passo 3 consiste em realizar a pesquisa entre os especialistas para atribuir os pesos aos critérios. Para definir o nível de importância entre os critérios e subcritérios apresentados na Figura 4, pode-se realizar uma pesquisa entre especialistas do DNIT,

os quais avaliarão os critérios apresentados e os respectivos pesos, utilizando sua experiência em infraestrutura de transportes para defini-los, por meio de consenso.

O Passo 4 baseia-se na aplicação do Método *PROMETHEE* II. Uma vez definidos os pesos, será realizada a fase de estruturação do modelo de multicritérios na ferramenta Visual *PROMETHEE*, a fim de se obter o *ranking* de priorização dos trechos. Durante a fase de calibração da ferramenta é necessário seguir um fluxo de parametrização de sete etapas, conforme apresentado abaixo:

- 1) Inserção dos critérios e subcritérios (Figura 6).
- 2) Definição da unidade de medida (Figura 6).
- 3) Definição do tipo de escala: numérica, monetária ou qualitativa (Figura 6).

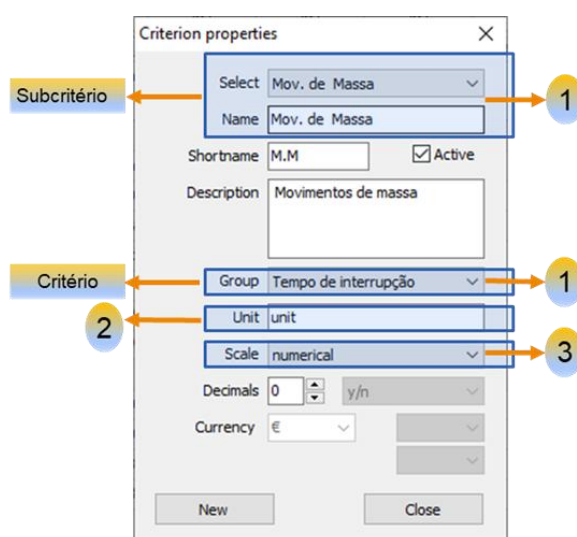


Figura 6 – Janela do Visual *PROMETHEE*® e os campos a serem preenchidos nos passos 1 a 3 da metodologia

- 4) Inserção dos pesos

Após a definição dos critérios, subcritérios, unidades e tipo de escala, deverá ser feita a inserção dos pesos (Figura 8).

- 5) Definição da função de preferência (Figura 7)

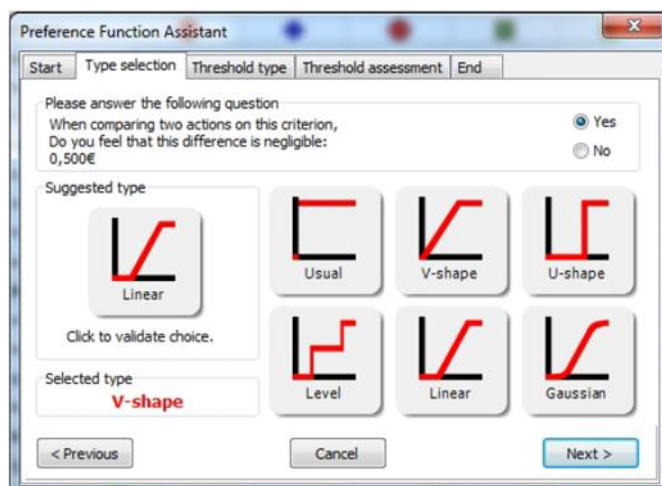


Figura 7 – Janela do software Visual PROMETHEE® com os tipos de função de preferência

- 6) Relação de maximização ou minimização dos critérios
- 7) Inserir os trechos com os dados levantados

A Figura 8 apresenta a interface do software Visual PROMETHEE® com as atividades mencionadas anteriormente.

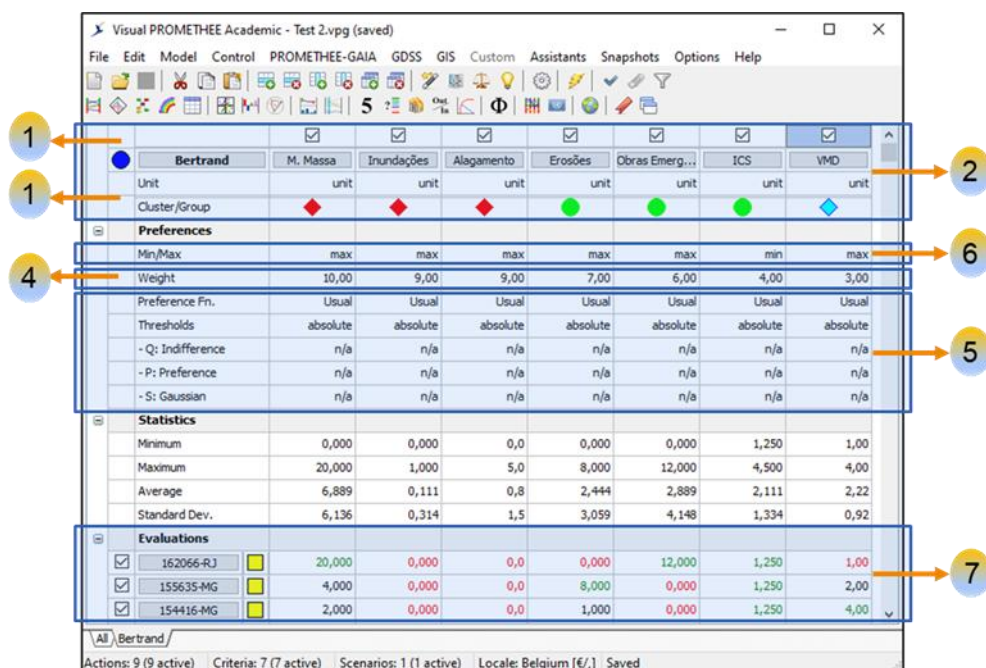


Figura 8 – Interface do software Visual PROMETHEE® passos da metodologia

- 8) Resultados da hierarquização

O Passo 5 consiste em plotar os resultados no Mapa de Trechos Críticos. A partir da classificação, será produzido o mapa de trechos prioritários à adaptação relativos à Resiliência Climática. O mapa contém os resultados de todas as categorias, de extremamente baixas até extremamente altas.

3.2.7 Análise comparativa entre os métodos AHP E *PROMETHEE II*

Com a finalidade de avaliar qual dos dois métodos de análise multicritério possui mais aderência ao objetivo principal do Planejamento Estratégico, ambos foram aplicados para a priorização da malha rodoviária, dividida em trechos de até 10 km. A seguir, são apresentadas as vantagens e desvantagens relacionadas a cada um deles.

O método AHP tem a vantagem distinta de decompor um problema de decisão em suas partes constituintes e construir hierarquias de critérios. Ao fazer isso, o problema de decisão é dividido em elementos que facilitam o julgamento. Aqui fica clara a importância de cada critério/subcritério. O *PROMETHEE II* não oferece essa possibilidade de estruturação. De acordo com Macharis *et al.* (2004), no caso de mais de sete critérios, pode-se tornar muito difícil para o tomador de decisão obter uma visão clara do problema e avaliar os resultados.

Por possuir a estrutura hierárquica previamente mencionada, no AHP devem ser atribuídos mais dados de entrada e para cada elemento deve ser feita uma matriz par a par, a fim de atribuir as prioridades, o que torna este método um pouco mais trabalhoso do que o *PROMETHEE II*. Entretanto, apesar de existirem *softwares* para os dois métodos, o AHP possui menor complexidade para aplicação em outras ferramentas computacionais, como por exemplo no EXCEL®. O *PROMETHEE II* possui diversas funções preferenciais para realizar o cálculo da priorização, o que o torna mais complexo e, consequentemente, mais dependente da utilização de *softwares* específicos. Além disso, os tomadores de decisão precisam entender todo o processo para atribuir os pesos e as funções de preferência de maneira mais assertiva.

Com base nos fatores ponderados e tendo em vista a comparação entre indicadores que medem temas muito distintos, como a comparação entre o VMDa e o número de movimentos de massa registrado, por exemplo, a opção pelo método AHP se torna mais favorável para a aplicação no Planejamento Estratégico. Além disso, a utilização do AHP possibilita uma menor dependência de um *software* específico. A seguir, na subseção 3.2.8 será apresentada a aplicação da metodologia AHP para a priorização dos trechos em relação à Resiliência Climática.

3.2.8 Priorização de trechos e categorização por risco

Nesta seção, está apresentada a aplicação do AHP para priorizar toda a malha rodoviária sob administração do DNIT.

3.2.8.1 Coleta e tratamento dos dados

Após a coleta dos dados, foi estruturada uma planilha no EXCEL® de todos os trechos, conforme apresentado na Figura 9. A planilha completa do método AHP, com todos os dados e as etapas do método, se encontra no ANEXO A deste documento.

ID trechos (SNV)	ID trechos	Código SNV	BR	UF	Extensão (Km)	Km inicial	Km Final	Alagamento	MM_PP	MM_MP	MM_GP	Erosões	Obras Emergenciais	ICS - CGPLAN	VMDa
1	151125	010BDF0030	010	DF	9,014	25,0	34,0	0	0	0	0	0	0	4	7501-10000
13	151177	010BMA0370	010	MA	9,473	34,0	43,5	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
14	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	43,5	52,9	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
15	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	52,9	62,4	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
16	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	62,4	71,9	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
17	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	71,9	81,4	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
18	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	81,4	90,8	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
19	151177	010BMA0370	010	MA	9,475	90,8	100,3	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
20	151177	010BMA0370	010	MA	9,476	100,3	109,8	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
21	151177	010BMA0370	010	MA	9,476	109,8	119,3	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
22	151177	010BMA0370	010	MA	9,476	119,3	128,8	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
23	151178	010BMA0390	010	MA	9,184	128,8	138,0	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
24	151178	010BMA0390	010	MA	9,183	138,0	147,2	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
25	151178	010BMA0390	010	MA	9,183	147,2	156,4	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
26	151179	010BMA0400	010	MA	6,937	156,4	163,3	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
27	151179	010BMA0400	010	MA	6,937	163,3	170,3	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
28	151179	010BMA0400	010	MA	6,937	170,3	176,8	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
29	151180	010BMA0410	010	MA	8,714	176,8	185,5	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
30	151180	010BMA0410	010	MA	8,714	185,5	194,2	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
31	151180	010BMA0410	010	MA	8,714	194,2	203,5	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
32	151181	010BMA0420	010	MA	9,833	203,5	213,3	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
33	151181	010BMA0420	010	MA	9,832	213,3	223,1	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
34	151182	010BMA0425	010	MA	7,691	223,1	230,8	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
35	151182	010BMA0425	010	MA	7,695	230,8	238,5	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
36	151182	010BMA0425	010	MA	7,695	238,5	246,4	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
37	151183	010BMA0430	010	MA	7,31	246,4	253,6	0	0	0	0	0	0	2	0-1000
38	151184	010BMA0440	010	MA	7,229	253,6	260,8	0	0	0	0	0	0	3	2501-5000
39	151185	010BMA0450	010	MA	8,6	260,8	269,4	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
40	151185	010BMA0450	010	MA	8,601	269,4	278,0	0	0	1	0	0	0	2	2501-5000
41	151185	010BMA0450	010	MA	8,601	278,0	286,6	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
42	151185	010BMA0450	010	MA	8,602	286,6	295,2	0	0	0	0	0	0	2	2501-5000
43	151186	010BMA0460	010	MA	8,193	295,2	303,4	0	0	1	0	0	1	2	5001-7500
44	151186	010BMA0460	010	MA	8,193	303,4	311,6	0	0	0	0	0	0	2	5001-7500
45	151186	010BMA0460	010	MA	8,2	311,6	319,8	0	0	0	0	0	0	2	5001-7500

Figura 9 – Estruturação dos dados de indicadores

3.2.8.2 Estruturação dos critérios

Os indicadores foram organizados em critérios e subcritérios de forma a facilitar o julgamento nas matrizes de julgamento par a par, propostas no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Assim, os indicadores/subcritérios **Movimentos de massa** (pequeno, médio e grande porte) e **Alagamentos** (incluindo inundações e enxurradas) foram associados ao critério **interrupção da via**, os indicadores/subcritérios **Erosões**, **Obras emergenciais** e **ICS** foram associados ao critério **Vulnerabilidade**, já o subcritério **VMDa** (Volume Médio Diário anual) foi associado ao critério **Tráfego**.

O movimento de massa de pequeno porte está relacionado àquela ocorrência que não causa danos significativos nos ativos de infraestrutura. Geralmente, os serviços gerados por essa ocorrência são somente de limpeza da via e dos dispositivos de drenagem, além de serem cobertos por contratos de manutenção vigentes. Os de médio porte são representados pelas ocorrências que podem causar algum dano aos ativos e/ou bloqueio parcial do tráfego, exigindo sinalização e desobstrução da via. Já os movimentos de massa de grande porte são aqueles que causam danos significativos na rodovia e seus ativos e/ou a interrupção total do tráfego em pelo menos um dos sentidos (no caso de rodovias duplicadas).

A fim de facilitar a compreensão e evitar ambiguidades, foi constatado que seria mais viável incluir apenas um indicador de ocorrências relacionadas à hidrologia. Conforme mencionado por Valle (2021), alagamentos, inundações e enxurradas podem ser confundidos entre si, embora cada termo possua suas próprias particularidades na hidrologia. Apesar disso, devido ao fato de o Planejamento Estratégico abordar a gestão em nível de rede para toda a malha e, principalmente, visando simplificar o registro de ocorrências, decidiu-se agregar todas essas ocorrências em um único indicador/subcritério: Alagamentos.

Para o exemplo de aplicação do método, aqui apresentado, foram levantadas as informações de desastres ocorridos em rodovias, registrados pelo DNIT nos sites emergências-chuvas e alertas-DNIT (DNIT,2025), de janeiro de 2010 até março de 2022. Estas informações foram encontradas de variadas maneiras: algumas em forma

de notícia e outras em tabelas, sendo necessário agrupá-las em um único arquivo. Esses dados foram tratados de maneira a possibilitar as informações de dimensão dos movimentos de massa (pequeno, médio e grande) e o agrupamento das ocorrências de alagamentos, inundações e enxurradas em um só critério: **alagamentos**. Dessa forma, foram obtidos 482 registros de ocorrências, distribuídos em toda a malha.

3.2.8.3 Matrizes de julgamento

O julgamento par a par de cada critério/subcritério foi realizado conforme apresentado na subseção 3.2.5.9.

As subclasses de cada indicador foram definidas com base nos valores obtidos da coleta de dados e na dispersão apresentada. Para os indicadores **Alagamentos**, **Movimentos de massa** (pequeno, médio e grande), **Erosões** e **Obras emergenciais**, os limites das subclasses foram atribuídos de acordo com os valores médios de ocorrência nos trechos e nos respectivos desvios-padrões, a saber: subclasse 1, média menos um desvio; subclasse 2, média, subclasse 3, média mais um desvio; e, subclasse 4 – média mais dois desvios.

Com a futura aplicação do método, em posse de mais dados acerca dos indicadores, deverão ser atribuídas outras subclasses e deverão ser realizados novos julgamentos entre pares. Recomenda-se fortemente que esse novo julgamento seja feito por meio de um consenso entre profissionais que tenham conhecimento sobre a influência de cada critério no seu respectivo nível hierárquico. A Figura 10 e a Figura 11 apresentam as matrizes de julgamento de cada subcritério do terceiro nível hierárquico.

Análise do nível 3 - Interrupção da via				
Alagamentos	>=4	3	1-2	0
>=4	1.0	2.0	3.0	9.0
3	0.5	1.0	2.0	9.0
1-2	0.3	0.5	1.0	9.0
0	0.1	0.1	0.1	1.0
Soma	1.9	3.6	6.1	28.0
Movimentos de massa - pequeno porte	>=3	2	1	0
>=3	1.0	2.0	3.0	9.0
2	0.5	1.0	2.0	7.0
1	0.3	0.5	1.0	5.0
0	0.1	0.1	0.2	1.0
Soma	1.9	3.6	6.2	22.0
Movimentos de massa - médio porte	>=3	2	1	0
>=3	1.0	2.0	3.0	9.0
2	0.5	1.0	2.0	8.0
1	0.3	0.5	1.0	7.0
0	0.1	0.1	0.1	1.0
Soma	1.9	3.6	6.1	25.0
Movimentos de massa - grande porte	>=3	2	1	0
>=3	1.0	2.0	3.0	9.0
2	0.5	1.0	2.0	9.0
1	0.3	0.5	1.0	9.0
0	0.1	0.1	0.1	1.0
Soma	1.9	3.6	6.1	28.0

Figura 10 – Matrizes de julgamento para o terceiro nível: Interrupção da via

Análise do nível 3 - Vulnerabilidade da infraestrutura					
Erosões	x>=4	2-3	1	0	
x>=4	1.0	3.0	5.0	9.0	
2-3	0.3	1.0	3.0	7.0	
1	0.2	0.3	1.0	3.0	
0	0.1	0.1	0.3	1.0	
Soma	1.6	4.5	9.3	20.0	
Obras emergenciais	>=4	3	1-2	0	
>=4	1.0	2.0	3.0	9.0	
3	0.5	1.0	3.0	9.0	
1-2	0.3	0.3	1.0	7.0	
0	0.1	0.1	0.1	1.0	
Soma	1.9	3.4	7.1	26.0	
ICS	1	2	3	4	5
1	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
2	0.3	1.0	3.0	5.0	7.0
3	0.2	0.3	1.0	3.0	5.0
4	0.1	0.2	0.3	1.0	3.0
5	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0
Soma	1.8	4.7	9.5	16.3	25.0

Figura 11 – Matrizes de julgamento para o terceiro nível: Vulnerabilidade da infraestrutura

Realizados os julgamentos para o terceiro nível, foram feitos os julgamentos para o nível imediatamente superior, conforme mostrado na Figura 12, a seguir.

Análise do nível 2 - Interrupção da via				
Interrupção	Mov. Massa grande	Alagamento	Mov. Massa médio	Mov. Massa pequeno
Mov. Massa grande	1.0	2.0	3.0	9.0
Alagamento	0.5	1.0	2.0	7.0
Mov. Massa médio	0.3	0.5	1.0	7.0
Mov. Massa pequeno	0.1	0.1	0.1	1.0
Soma	1.9	3.6	6.1	24.0
Análise do nível 2 - Vulnerabilidade				
Vulnerabilidade	Erosões	Obras Emerg.	ICS	
Erosões	1.0	2.0	5.0	
Obras Emerg.	0.5	1.0	5.0	
ICS	0.2	0.2	1.0	
Soma	1.7	3.2	11.0	
Análise do nível 2 - Tráfego				
VMDa	>15000	7501-15000	2501-7500	0-2500
15001-50000	1.0	3.0	5.0	7.0
7501-15000	0.3	1.0	3.0	5.0
2501-7500	0.2	0.3	1.0	3.0
0-2500	0.1	0.2	0.3	1.0
Soma	1.7	4.5	9.3	16.0

Figura 12 – Matrizes de julgamento para o segundo nível

Por fim, foi realizado o julgamento com os critérios do primeiro nível, cuja matriz está apresentada na Figura 13, a seguir. Cabe ressaltar que nesta etapa do método, na qual é feito o julgamento das matrizes, não importa a ordem em que é realizada.

Análise do nível 1 - Objetivo			
Priorização	Interrupção da via	Vulnerabilidade	Tráfego
Interrupção da via	1.0	1.5	3.0
Vulnerabilidade	0.7	1.0	2.0
Tráfego	0.3	0.5	1.0
Soma	2.0	3.0	6.0

Figura 13 – Matriz de julgamento para o primeiro nível: Objetivo

3.2.8.4 Definição das prioridades

A etapa seguinte à elaboração das matrizes de julgamento é a definição dos pesos atribuídos a cada alternativa. Para isso, são produzidas as matrizes normalizadas de cada critério/subcritério, conforme apresentado na seção 3.2.5.10. Na sequência, os pesos são calculados por meio da média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada (autovetor). A Figura 14 apresenta a matriz normalizada e o autovetor do subcritério **Alagamentos**, como exemplo. Para todos os demais critérios/subcritérios, o cálculo foi realizado da mesma forma. A Figura 15 e a Figura 16 apresentam exemplos de matrizes normalizadas e autovetores para o critério de interrupção da via (segundo nível) e para a priorização (objetivo principal – primeiro nível), respectivamente.

Normalizada					Autovetor
Alagamentos	>=4	3	1-2	0	Alagamentos
>=4	0.5143	0.5538	0.4909	0.3214	0.470
3	0.2571	0.2769	0.3273	0.3214	0.296
1-2	0.1714	0.1385	0.1636	0.3214	0.199
0	0.0571	0.0308	0.0182	0.0357	0.035

Figura 14 – Matriz normalizada e autovetor: Alagamentos

Normalizada					Autovetor
Interrupção	Mov. de massa	Inundações	Alagamento	Enxurrada	Interrupção
Mov. de massa	0.5143	0.5490	0.4884	0.3750	0.482
Inundações	0.2571	0.2745	0.3256	0.2917	0.287
Alagamento	0.1714	0.1373	0.1628	0.2917	0.191
Enxurrada	0.0571	0.0392	0.0233	0.0417	0.040

Figura 15 – Matriz normalizada e autovetor: Interrupção da via

Normalizada				Autovetor
Priorização	Interrupção da via	Vulnerabilidade	Tráfego	Priorização
Interrupção da via	0.5000	0.5000	0.5000	0.500
Vulnerabilidade	0.3333	0.3333	0.3333	0.333
Tráfego	0.1667	0.1667	0.1667	0.167

Figura 16 – Matriz normalizada e autovetor: Priorização (objetivo principal)

3.2.8.5 Cálculo da consistência

O passo seguinte à atribuição dos pesos é o cálculo da consistência, conforme apresentado na seção 3.2.5.11. Para isso, primeiramente é calculado o autovalor, por

meio da soma dos produtos entre células referentes ao somatório das colunas na matriz de julgamento original com as posições correspondentes no autovetor ($T1 \cdot P1 + T2 \cdot P2 + T3 \cdot P3 + T4 \cdot P4$), conforme apresentado na Figura 17.

Alagamentos	≥ 4	3	1-2	0		Autovetor
≥ 4	1.0	2.0	3.0	9.0		0.470
3	0.5	1.0	2.0	9.0		0.296
1-2	0.3	0.5	1.0	9.0		0.199
0	0.1	0.1	0.1	1.0		0.035
Soma	1.9	3.6	6.1	28.0		

Figura 17 – Cálculo do autovalor

Definido o autovalor, foi realizado o cálculo do índice de consistência (CI) e da razão de consistência (CR), de acordo com a Equação 9 e a Equação 10, respectivamente. O valor do CR deve ser menor que 0,10, conforme já mencionado. Caso contrário, o julgamento deve ser realizado novamente. A Figura 18, a seguir, apresenta os valores de autovalor, CI, RI e CR para o subcritério **Alagamentos**.

Lâmbida max	CI	RI	CR	
4.1891	0.0630	0.90	0.0700	OK

Figura 18 – Cálculo da consistência: Movimento de massa

3.2.8.6 Priorização dos trechos

Para o cálculo dos pesos das variáveis de terceiro nível – Movimentos de massa (pequeno, médio e grande), Alagamentos, Erosões, Obras emergenciais, ICS e VMD – foi analisado somente o peso atribuído ao intervalo correspondente, por exemplo: em um determinado trecho foram registrados cinco alagamentos, assim, o peso buscado no autovetor de alagamentos foi aquele correspondente à classe em que se encontra cinco desastres, que é 0,470, conforme apresentado na Figura 14.

Após a atribuição de peso para cada indicador do terceiro nível, os critérios de segundo nível foram calculados por meio da Equação 11, apresentada na subseção 3.2.5.12 onde cada indicador foi multiplicado pelo seu peso correspondente no autovetor de segundo nível e, posteriormente, somado. Por exemplo, em um dos trechos (BR-259, do km 74,9 ao 83,1), para o critério **Interrupção da via**, foram registrados três movimentos de massa de médio porte, um movimento de massa de

grande porte, um alagamento e nenhum movimento de massa de pequeno porte, correspondendo aos pesos de 0,479, 0,199, 0,199 e 0,044, respectivamente. Esses valores foram multiplicados pelos pesos respectivos do autovetor de julgamento do segundo nível (Figura 15) e posteriormente somados. Isso foi realizado também para o critério **Vulnerabilidade** e seus subcritérios – Erosões, Obras emergenciais e ICS.

Por último, os valores obtidos para os critérios de segundo nível foram multiplicados pelos pesos correspondentes no autovetor de pesos do primeiro nível, conforme mostrado na Figura 16, e posteriormente somados, resultando no índice de prioridade AHP.

De posse dos dados de índice de prioridade, foi utilizada a quebra natural de Jenks para categorizar os trechos. A Figura 19, a seguir, apresenta os resultados dessa categorização.

<i>class</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>count</i>
1 - Extrem. baixa	0.0424333	0.049222	3751
2 - Muito baixa	0.052	0.056556	4098
3 - Baixa	0.058	0.068162	828
4 - Média	0.069	0.091011	315
5 - Alta	0.091	0.112417	67
6 - Muito alta	0.1168242	0.174843	115
7 - Extrem. Alta	0.2254669	0.271962	3

Figura 19 – Categorização por quebra natural de Jenks

Com os intervalos de categorização definidos, cada índice de prioridade foi associado à respectiva categoria.

3.2.8.7 Criação de mapas temáticos

A Figura 20 apresenta os dados de saída obtidos pelo EXCEL®. Ressalta-se que a planilha completa está presente no ANEXO A. Definida a priorização dos trechos e as respectivas categorias, é possível espacializar os dados e realizar a criação do mapa de priorização (Figura 21).

Interrupção				Vulnerabilidade da infraestrutura								
Nota de Classificação: Alagamentos	Nota de Classificação: Movimentos de massa - pequeno porte	Nota de Classificação: Movimentos de massa - médio porte	Nota de Classificação: Movimentos de massa - Grande porte	Nota de Classificação: Erosões	Nota de Classificação: Obras emergenciais	Nota de Classificação: ICS	Nota de Classificação: Tráfego	Nota de Classificação: Interrupção da via	Nota de Classificação: Vulnerabilidade	Índice de prioridade AHP	Categoria de prioridade	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.057	0.038	0.051	0.045	Extremamente Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.558	0.038	0.045	0.127	Muito Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.263	0.038	0.045	0.078	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.263	0.038	0.045	0.078	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.263	0.038	0.045	0.078	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.558	0.038	0.051	0.129	Muito Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.558	0.038	0.051	0.129	Muito Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.057	0.038	0.051	0.045	Extremamente Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.260	0.057	0.038	0.062	0.049	Extremamente Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.260	0.558	0.038	0.062	0.133	Muito Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.260	0.558	0.038	0.062	0.133	Muito Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.122	0.038	0.051	0.056	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.122	0.038	0.051	0.056	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.263	0.038	0.051	0.080	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.263	0.038	0.051	0.080	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.169	0.134	0.263	0.038	0.098	0.095	Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.328	0.068	0.263	0.038	0.148	0.112	Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.263	0.038	0.045	0.078	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.260	0.122	0.038	0.062	0.060	Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.260	0.122	0.038	0.062	0.060	Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.169	0.134	0.057	0.038	0.098	0.061	Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.169	0.134	0.263	0.038	0.098	0.095	Alta	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.263	0.038	0.051	0.080	Média	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.038	0.045	0.054	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.038	0.045	0.054	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.038	0.045	0.054	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.038	0.045	0.054	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.038	0.045	0.054	Muito Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.169	0.068	0.122	0.038	0.092	0.070	Média	
0.199	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.068	0.122	0.045	0.045	0.058	Baixa	
0.035	0.044	0.039	0.035	0.046	0.037	0.134	0.057	0.038	0.051	0.045	Extremamente Baixa	

Figura 20 – Categorização dos trechos

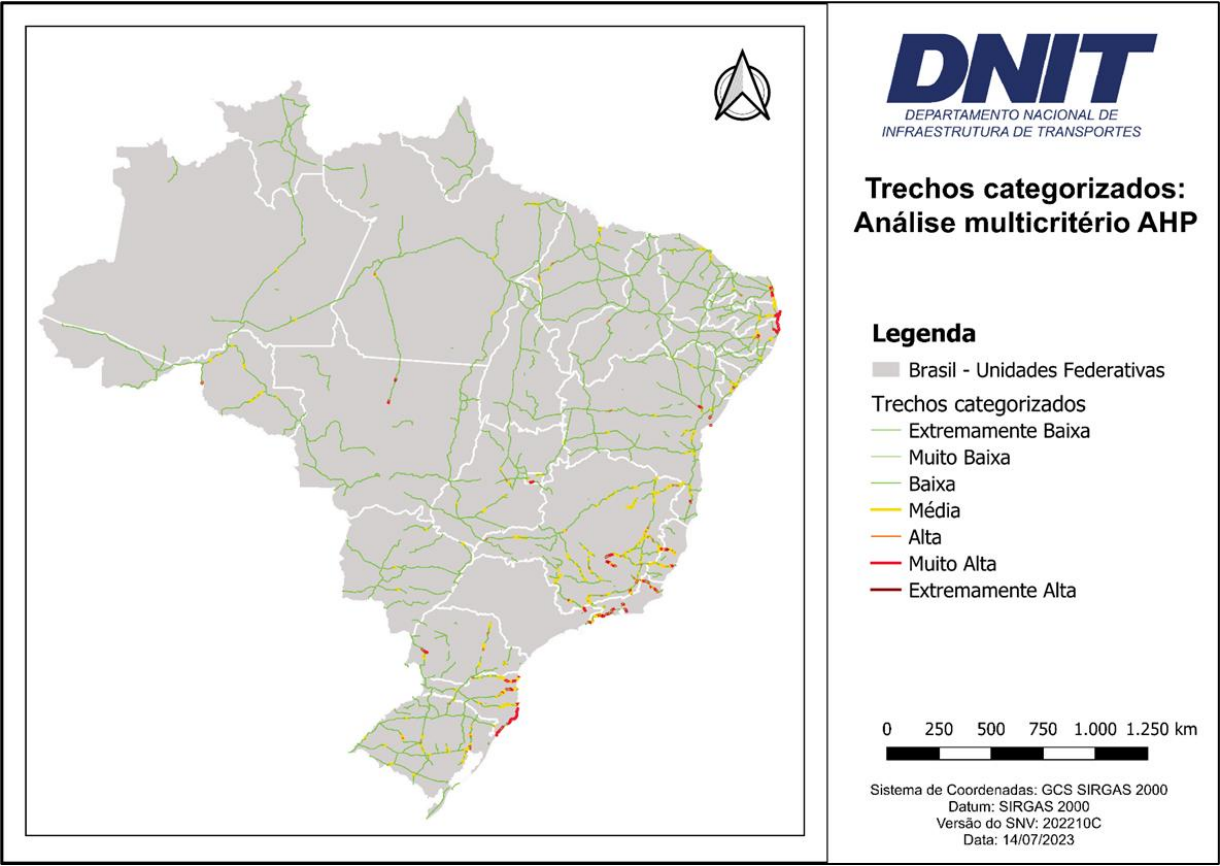


Figura 21 – Mapa de priorização dos trechos

3.3 PLANEJAMENTO TÁTICO (PLT)

A crescente frequência e severidade dos desastres naturais têm causado impactos significativos na infraestrutura rodoviária, com prejuízos econômicos e sociais relevantes. Nesse cenário, a abordagem da Resiliência Climática assume papel fundamental para garantir que as rodovias federais possam absorver, adaptar-se e recuperar-se diante de eventos extremos, assegurando a continuidade de suas funções essenciais. O Planejamento Tático (PLT) tem como objetivo analisar individualmente os trechos priorizados no Planejamento Estratégico (PLE), principalmente aqueles classificados com prioridade **Extremamente Alta**, para viabilizar sua adaptação.

A metodologia proposta, fundamentada em diretrizes nacionais e internacionais, inicia-se pelo levantamento detalhado da infraestrutura local, seguido por uma análise criteriosa dos riscos associados, elaboração de mapas e avaliação econômica das medidas propostas. Dentre os métodos adotados, destaca-se a Tomada de Decisão sob Profundas Incertezas (DMDU), que permite avaliar custo-benefício mesmo diante de cenários futuros incertos. Dessa forma, o PLT busca fortalecer a capacidade adaptativa dos trechos críticos, promovendo intervenções eficazes e economicamente viáveis para aumentar a resiliência da malha rodoviária federal.

Para trechos rodoviários prioritários, a metodologia do Planejamento Tático inicia-se com o diagnóstico detalhado da infraestrutura local e o levantamento de dados essenciais, como informações históricas de ocorrências, obras emergenciais, ativos expostos e características ambientais do trecho. O mapeamento é realizado em escalas adequadas para diferentes processos geodinâmicos, como movimentos de massa e inundações, integrando informações sobre áreas urbanizadas, geologia, geomorfologia, precipitação, modelo digital de elevação e ortoimagens para embasar a análise de suscetibilidade e riscos.

Além disso, são avaliados dados de tráfego, principalmente o Volume Médio Diário anual (VMDa), e estudadas alternativas viárias próximas que possam absorver o fluxo em situações de interrupção. A metodologia também inclui o registro e tratamento de dados específicos, como dados de ocorrências, intervenções emergenciais e

restrições das vias alternativas, visando garantir Resiliência Climática, segurança operacional e eficiência na escolha de rotas, sempre utilizando as melhores práticas e padrões do setor para potencializar os resultados do planejamento.

3.3.1 Análise de risco

Após a realização da coleta de dados da infraestrutura, com o levantamento das informações previamente mencionadas, os ativos de infraestrutura expostos no trecho deverão ser relacionados aos mapas de suscetibilidade, dando origem ao mapa de vulnerabilidade desses ativos e, posteriormente, com o levantamento do valor-limite de precipitação e a taxa de recorrência, será possível estabelecer a classe de risco correspondente.

Neste trabalho, foi realizada uma adaptação da metodologia proposta pelo Banco Mundial (2019), em conjunto com as metodologias propostas nos documentos *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure* (PIARC, 2015) e *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa* (SGB/CPRM, 2018a). A Figura 22, a seguir, apresenta as subatividades que deverão ser realizadas nesta etapa.

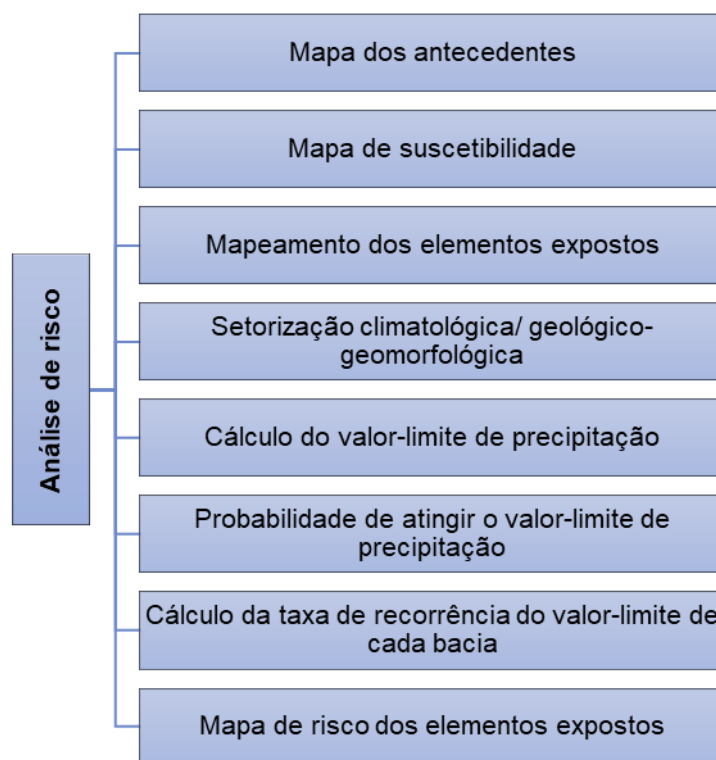


Figura 22 – Subatividades da avaliação dos riscos

A análise de risco visa à produção de um mapa de riscos dos elementos expostos, com setorizações que compartilham as mesmas características climáticas, geológicas e geomorfológicas. Ou seja, será realizada uma análise de risco de acordo com as características locais de precipitação, as características do solo e das rochas locais, além do mapeamento das ocorrências. O mapa final une dados dos elementos expostos categorizados em relação ao risco. A seguir, serão detalhadas as etapas da avaliação dos riscos.

3.3.1.1 Mapa de antecedentes

A priorização realizada no Planejamento Estratégico deve contemplar o levantamento de eventos disruptivos já ocorridos, no entanto, as demandas por intervenções podem ser provenientes de propostas externas – demandas parlamentares, do poder executivo, de órgãos de controle, entre outros – e de propostas do próprio DNIT, por meio de Superintendências Regionais, Diretorias Setoriais, Unidades Locais e outros.

Assim, o mapeamento de ocorrências – desastres na classificação COBRADE –, mesmo aquelas nas quais não há uma obstrução da via, é fundamental para a avaliação do trecho em questão e para a verificação da coerência do mapeamento da suscetibilidade. Deverão também constar as obras emergenciais que já tiverem sido realizadas (caso existam). Dessa forma, essas informações deverão ser geoespacializadas e, assim, criado o Mapa dos Antecedentes.

3.3.1.2 Mapa de suscetibilidade

Conforme mencionado pelo Banco Mundial (2019), um ambiente suscetível é aquele que apresenta uma predisposição natural para determinados processos perigosos. Esses processos normalmente dependem de um fator desencadeador – também chamado de gatilho – o qual, no caso de inundações e movimentos de massa, caracteriza-se pela elevada intensidade pluviométrica. A suscetibilidade costuma ser uma medida qualitativa (baixa, média, alta).

Com base no mapeamento da suscetibilidade, é possível realizar a avaliação das áreas mais suscetíveis a determinados tipos de ocorrências e relacioná-las aos elementos expostos e ao grau de vulnerabilidade desses elementos. A Figura 23, a seguir, apresenta uma ilustração da relação entre os termos previamente citados. A interseção entre a suscetibilidade e a ocupação define os elementos expostos, os quais devem ser analisados em relação ao risco.

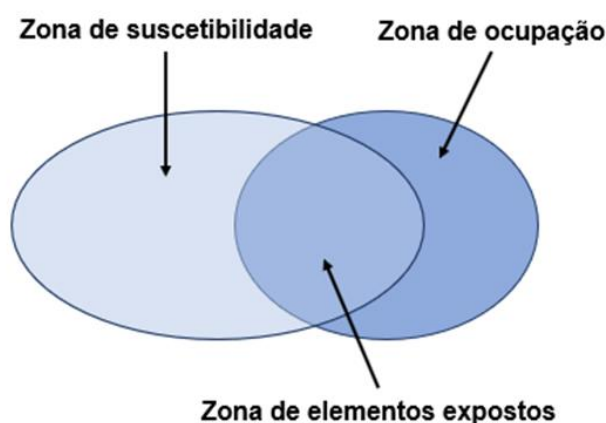


Figura 23 – Localização dos elementos expostos

Fonte: modificado de SGB/CPRM (2014)

Independentemente do tipo de suscetibilidade a ser mapeada – relacionada ao tipo de ocorrência –, a concepção geral e os procedimentos básicos a serem seguidos serão os mesmos, tal como esquematizados na Figura 24, a seguir. Na sequência, são apresentados os métodos de mapeamento das suscetibilidades ao movimento de massa e inundações, nas seções 3.3.1.2.2 e 3.3.1.2.3, respectivamente.

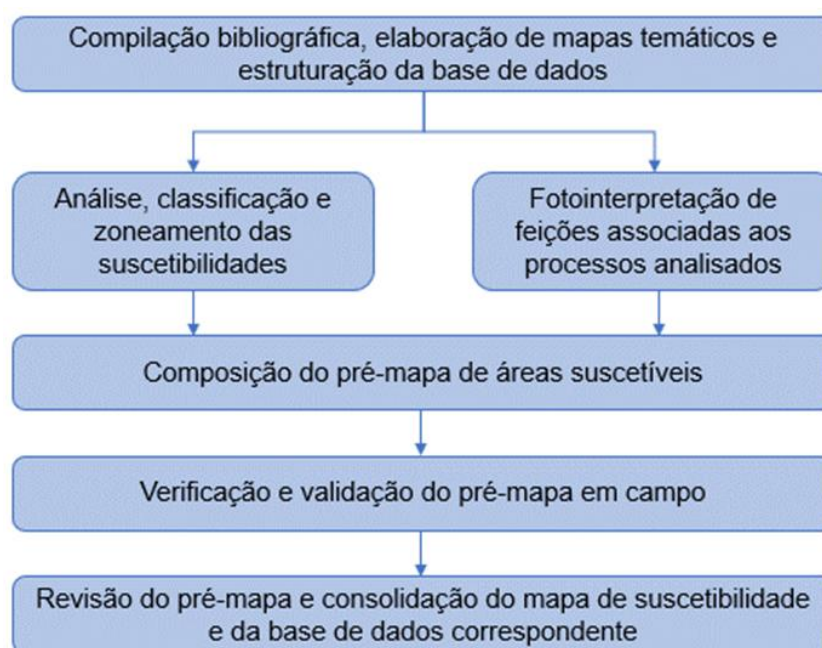


Figura 24 – Sequência de procedimentos para criação dos mapas de suscetibilidade

Fonte: Adaptado de SGB/CPRM (2014)

3.3.1.2.1 Compilação bibliográfica e estruturação dos dados

A elaboração de mapas de suscetibilidade abrange a coleta, estruturação e geração de grande quantidade de dados. É importante ressaltar que o Serviço Geológico do Brasil já realizou o mapeamento das suscetibilidades ao movimento de massa e inundação de um elevado número de cidades brasileiras – algumas localizadas em regiões onde ocorrem parte dos desastres em rodovias federais – e que esses mapeamentos poderão ser utilizados na análise de risco. O Datum de alguns arquivos já criados pelo SGB/CPRM é o WGS 1984 com projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM). Caso algum desses mapeamentos seja utilizado para compilação com outras informações, ele deverá ser reprojetado para o Datum SIRGAS 2000, ou outro que vier a substituí-lo.

- **Padrões de relevo**

Conforme preconizado pelo SGB/CPRM (2014), a elaboração do mapa temático de relevo é essencial ao mapeamento das suscetibilidades. A Tabela 30, a seguir, apresenta os padrões de relevo, a partir da declividade e da amplitude.

Tabela 30 – Padrões de relevo de acordo com parâmetros básicos

Padrão de relevo	Amplitude predominante (m)	Declividade predominante	
		graus	%
Planícies e terraços fluviais	< 20	< 5	< 8
Planícies e terraços fluviais e marinhos	< 20	< 5	< 8
Planícies fluviomarinhas (mangues)	< 5	< 2	< 5
Campos de dunas	< 40	< 5	< 8
Tabuleiros costeiros	40 a 70	< 11,3	< 20
Colinas	40 a 70	< 11,3	< 20
Morrotes baixos	40 a 50	> 16,3	> 30
Morrotes	60 a 90	11,3	20
Morros baixos	90 a 100	16,7	30
Morrotes altos	60 a 90	16,7 a 21,8	30 a 40
Morros altos	140 a 200	> 16,7	> 30
Serras	> 300	> 16,7	> 30
Escarpas	100	31	60

Fonte: Adaptado de SGB/CPRM (2014)

As declividades são divididas em nove classes: 0 a 2, 2 a 5, 5 a 10, 10 a 17, 17 a 20, 20 a 25, 25 a 30, 30 a 45, acima de 45. Em relação às amplitudes altimétricas, os MDEs devem ser processados para a delimitação das bacias hidrográficas e para quantificar a variação altimétrica das encostas. Esse procedimento deve ser realizado conforme proposto por Salvador (2007 *apud* SGB/CPRM, 2014). Delimitadas as bacias, devem ser realizados os cálculos dos valores médios de amplitude – dada pela diferença entre os valores máximos dos topos (divisores de água) e os valores mínimos nos vales de maior expressão.

Destaca-se que, além daqueles apresentados pelo SGB/CPRM (2014), outros padrões de relevo podem ser incluídos, de acordo com as regiões a serem mapeadas. Em relação à escala de análise do padrão de relevo e delimitação das bacias hidrográficas, ela deve estar condicionada à resolução e qualidade dos produtos digitais disponíveis.

Nos casos em que o MDE disponível apresenta resolução espacial de 1 ou 5 metros, os padrões de relevo são delimitados com base em visualização realizada em escala variável, entre 1:10.000 e 1:25.000. Na ausência de produtos digitais de melhor qualidade, como nas situações em que a resolução espacial média do MDE é de 25 metros, as escalas de visualização variam entre 1:30.000 e 1:50.000. Vale salientar que, para representação cartográfica dos padrões de relevo, deve ser utilizado o menor valor desse intervalo (SGB/CPRM, 2014, p. 12).

A identificação dos padrões de relevo é realizada por meio da interpretação de ortomagens, em escala mínima de 1:25.000, sejam elas orbitais ou aéreas, em conjunto com as informações de declividade, sombreamento de relevo e amplitude, obtidas do MDE. Os padrões de relevo podem ser obtidos seguindo os procedimentos preconizados no Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 7 – versão 1, cartas de padrão de relevo multiescala (SGB/CPRM, 2023).

3.3.1.2.2 Suscetibilidade a movimentos de massa

Para a confecção dos mapas de suscetibilidade a movimentos de massa poderá ser utilizada a Nota Técnica Explicativa – Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, produzida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), em 2014.

O mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa está fundamentado na premissa de que “os registros do passado constituem um guia para a análise do futuro, assumindo-se que as áreas com características geomorfológicas e geológicas

semelhantes às de locais afetados por deslizamentos são propensas a novas ocorrências” (Fell *et al.*, 2008 *apud* SGB/CPRM, 2014).

A metodologia proposta pelo SGB/CPRM é baseada em várias publicações e procedimentos mencionados no documento, mas são considerados, em particular, “os princípios gerais apresentados no Guia para Zoneamento de Suscetibilidade, Perigo e Risco de Deslizamento” (Fell *et al.*, 2008 *apud* SGB/CPRM, 2014).

De acordo com os autores do guia mencionado, a elaboração do mapeamento deve ser precedida pela exata definição do tipo de zoneamento pretendido. Conforme pode ser visualizado na Tabela 31, apresentada na sequência, o tipo de zoneamento pretendido para suscetibilidade se enquadra no nível básico, “especialmente em razão do objetivo geral de formação de bases tecnológicas para o aprimoramento contínuo do mapeamento de áreas suscetíveis no país e da carência de dados disponíveis na escala de referência (1:25.000)” (SGB/CPRM, 2014).

Com o intuito de delimitar a área de influência – a qual deverá ser o limite do zoneamento das suscetibilidades – foi realizada uma pesquisa de publicações correlatas ao estudo em questão. Não necessariamente os processos disruptivos que atingem rodovias têm origem na faixa de domínio. Alguns autores adotaram um quilômetro como área de influência lateral, a partir do eixo da rodovia (Lopes, 2007; Moreira, 2017; Mesquita, 2019), enquanto Monguilhott *et al.* (2010) utilizaram um *buffer* de dois quilômetros. Assim, será considerado que a área de influência a ser mapeada deverá ter, no mínimo, um quilômetro a partir do eixo da rodovia.

Caso haja a necessidade de realização de estudos específicos da bacia hidrográfica como um todo – para estudos de corridas de massa, por exemplo –, será necessária a compilação de informações com MDEs em escalas menores. Atualmente, é possível o acesso público a modelos digitais de elevação para quase todo o Brasil, com escala de 12,5 m (ASF, 2015).

Tabela 31 – Tipos e níveis de zoneamento e escala de mapas aplicáveis de acordo com o objetivo

Propósito de zoneamento	Tipo de zoneamento			
	Inventário	Suscetibilidade	Perigo	Risco
Zoneamento regional				
Informativo	X	X		
Consultivo	X	X	(X)	
Estatutário	Não recomendado			
Zoneamento local				
Informativo	X	X	X	(X)
Consultivo	(X)	X	X	X
Estatutário		(X)	X	(X)
Zoneamento em local específico				
Informativo	Não recomendado			
Consultivo	Não usado comumente			
Estatutário		(X)	X	X
Projeto (design)		(X)	(X)	X
Propósito de zoneamento	Nível de zoneamento			Escala de mapa aplicáveis
	Básico	Intermediário	Avançado	
Zoneamento regional				1:25.000 até 1:250.000
Informativo	X			
Consultivo	X	(X)		
Estatutário				
Zoneamento local				1:5.000 até 1:25.000
Informativo	X	(X)		
Consultivo	X	X	X	
Estatutário		X	X	
Zoneamento em local específico				1:5000 até 1:1000
Informativo				
Consultivo				
Estatutário		X	X	
Projeto (design)		(X)	X	

Nota: X = aplicável. (X) = pode ser aplicável

Fonte: Fell *et al.* (2008)

O mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa proposto é baseado em modelagem estatística, a qual se fundamenta nas relações observadas entre os fatores condicionantes e a distribuição dos deslizamentos em área (Guzzetti *et al.*, 1999), tendo em vista a redução da subjetividade e o aumento da repetitividade de áreas suscetíveis (Fernandes *et al.*, 2001 *apud* SGB/CPRM, 2014).

Entre os fatores predisponentes de deslizamentos, distinguem-se três: declividade, curvatura da encosta e densidade de lineamentos estruturais (correspondentes a juntas, zonas de falhas, fraturas e outras descontinuidades). Esses fatores refletem a influência combinada de aspectos geomorfológicos, hidrológico-pedológicos e geológicos, respectivamente (SGB/CPRM, 2014).

A declividade e a curvatura da encosta devem ser mapeadas por meio de algum *software* de geoprocessamento – QGIS® ou ArcGIS®, por exemplo –, a partir de um MDE. Os lineamentos estruturais devem ser mapeados por meio de ortofotos e, posteriormente, tratados para a criação de um mapa de densidade de *Kernel*. Cada fator é categorizado no maior número de classes possível.

Para cada trecho a ser mapeado, além dos fatores predisponentes, deverão ser mapeadas também as cicatrizes de deslizamentos. Essas cicatrizes são delimitadas por polígonos georreferenciados por meio da interpretação de ortofotos de alta resolução, delimitando-se a área correspondente à superfície de ruptura (excluindo as áreas de arraste e deposição dos materiais mobilizados). A Figura 25, a seguir, apresenta uma imagem do *Google Earth* com exemplos de cicatrizes de deslizamentos.



Figura 25 – Exemplo de cicatrizes a serem mapeadas BR-356/MG

Posteriormente, calcula-se a densidade de cicatrizes em cada uma das classes dos fatores predisponentes (Equação 12).

$$D = \frac{A_d}{A_t} \quad (12)$$

Onde:

D é a densidade de cicatrizes em cada classe do fator predisponente;

A_d é a área afetada por deslizamentos na classe; e

A_t é a área total da classe.

Na sequência, cada valor calculado é dividido pela densidade média de deslizamentos na área de estudo, dessa forma determinando a densidade normalizada, conforme apresentado, a seguir, na Equação 13.

$$D_n = \frac{D}{D_t} \quad (13)$$

Onde:

D_n é a densidade normalizada; e

D_t é a densidade média de deslizamentos na área de estudo.

A densidade normalizada determina a contribuição (**peso**) dos parâmetros na distribuição dos deslizamentos ocorridos. Utilizando o método do Valor Informativo (Yin e Yan, 1988 apud SGB/CPRM, 2014), será calculado o Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos (ISD) de cada parâmetro, conforme apresentado na Equação 14.

$$ISD = \log D_n \quad (14)$$

Na sequência, os mapas dos fatores predisponentes considerados (declividade, curvatura da encosta e densidade de lineamentos estruturais) deverão ser reclassificados de acordo com os valores de ISD calculados e, posteriormente, somados. A suscetibilidade ao movimento de massa será o resultado dessa soma e será categorizada em três classes: baixa, média e alta.

A Figura 26, a seguir, apresenta um exemplo de zoneamento da suscetibilidade para a BR-259 (que intercepta o município de Colatina/ES), conforme o procedimento previamente mencionado, na qual as regiões mais escuras representam a alta suscetibilidade, as regiões de tonalidade intermediária correspondem à média suscetibilidade, e as mais claras são as baixas suscetibilidades ao movimento de massa.

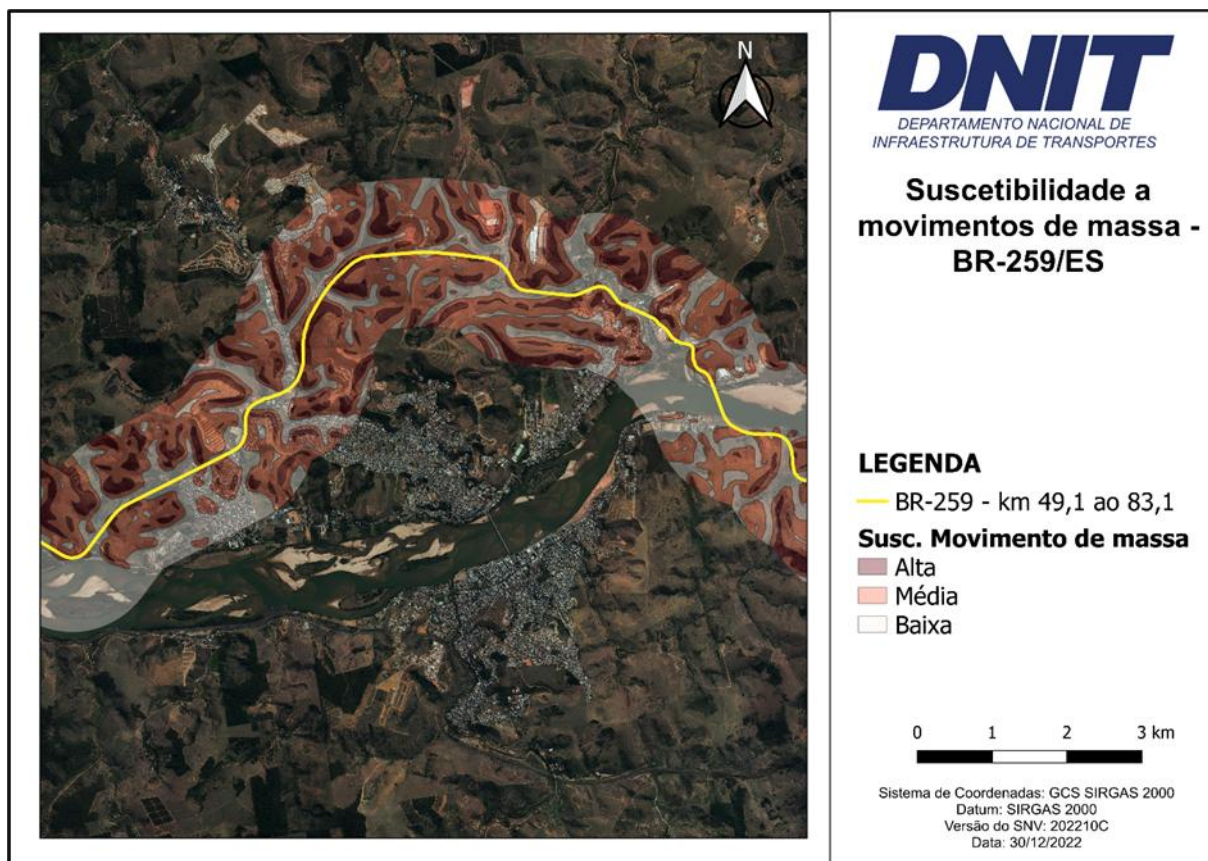


Figura 26 – Representação da suscetibilidade ao movimento de massa - BR-259/ES

De acordo com o SGB/CPRM (2014), o produto gerado pelo ISD pode não ser suficiente para a representação na escala 1:25.000. Caso isso ocorra, será necessário implementar algumas alternativas de adaptação, como a aplicação de filtros de geoprocessamento – estatística focal, por exemplo – ou a identificação da área de acordo com o conceito de Unidade Homogênea de Terreno (UHT). Neste caso, deverá ser realizada a generalização do ISD por meio do cálculo da média de cada UHT. “A aplicação do conceito de UHT consiste na delimitação de polígonos que representam unidades relativamente homogêneas quanto aos aspectos geomorfológicos,

hidrológicos e geológicos” (SGB/CPRM, 2014, p. 16). Cada UHT terá limites no talvegue (ou ruptura côncava no terço inferior da encosta), no divisor de águas (ou em ruptura convexa situada no terço superior da encosta) e nas mudanças de orientação da encosta.

Segundo Fell *et al.* (2008 *apud* SGB/CPRM, 2014), para a definição das classes, deve-se incluir o maior número de deslizamentos nas classes mais altas, em uma área mínima. Dessa forma, deverão ser elaboradas curvas que relacionam a área de ocorrência de cicatrizes com a área analisada, conforme mostra a Figura 27, a seguir.

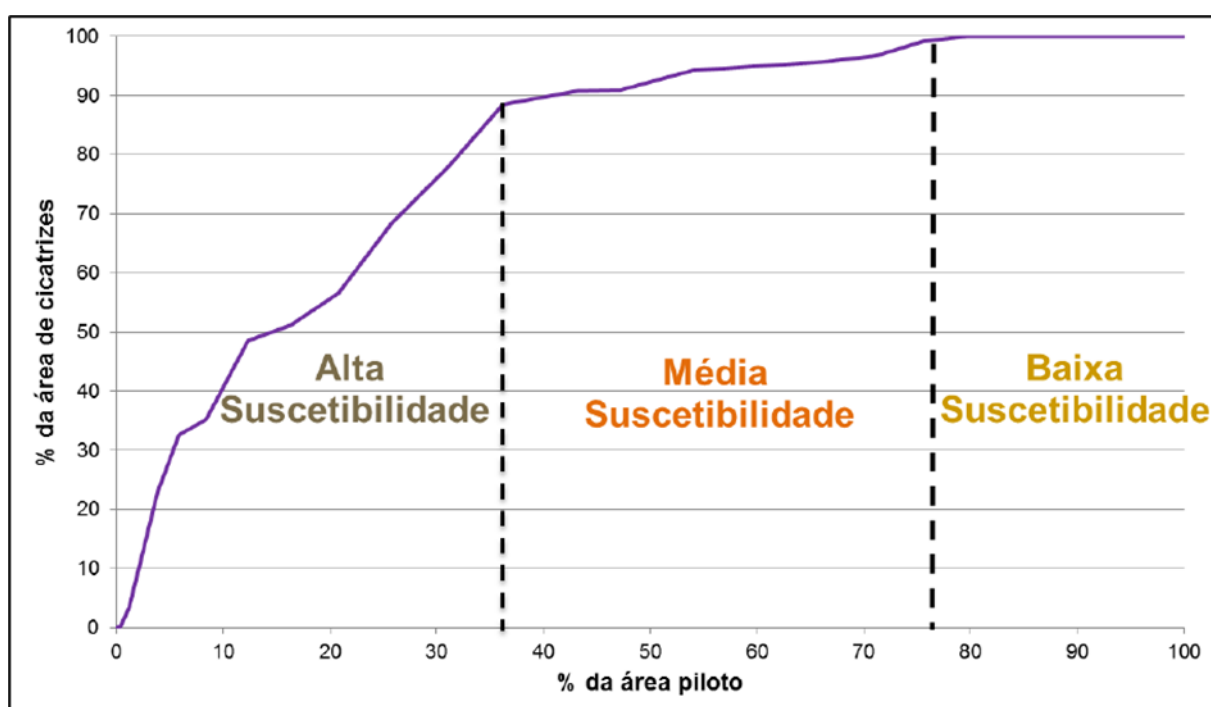


Figura 27 – Relação entre área de cicatrizes e área total

Fonte: SGB/CPRM (2014)

A alta suscetibilidade é definida no limite superior da curva apresentada na figura anterior, em geral, contemplando aproximadamente 90% das cicatrizes. Analisando a Figura 27, pode-se perceber que há uma mudança de inclinação abrupta na curva e que, a partir desse ponto, a inclusão de novas cicatrizes demanda a inserção de grande percentual de área. A média suscetibilidade é dada por meio da abrangência dos demais pontos de cicatrizes, totalizando cerca de 100 % da área das cicatrizes mapeadas. Por último, a baixa suscetibilidade representa as demais áreas, onde o

percentual de cicatrizes é irrisório. Dessa forma, é criado o mapa de suscetibilidade ao movimento de massa correspondente ao trecho analisado, com as classes alta, média e baixa.

Nesse contexto, não há uma avaliação específica dos processos de rastejo e queda de rocha. No entanto, acredita-se que os parâmetros de análise usados para deslizamentos, como a declividade, podem ajudar a determinar a suscetibilidade a esses processos e sua associação com deslizamentos. No entanto, a suscetibilidade ao rastejo e à queda de rocha também pode depender de outros fatores e da interação entre as condições locais e os fatores predisponentes, o que requer uma abordagem mais detalhada.

É importante ressaltar que a resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) e a extrapolação dos resultados da modelagem a partir de áreas-piloto podem afetar os resultados obtidos. No caso do MDE, a qualidade dos resultados de declividade e curvatura da encosta está diretamente ligada à resolução dos modelos disponíveis. Além disso, os modelos disponíveis não representam necessariamente a superfície dos terrenos, ou seja, não são verdadeiros Modelos Digitais de Terreno (MDTs), o que afeta diretamente os atributos extraídos.

Quanto à extrapolação dos resultados a partir de áreas-piloto, uma das principais limitações da modelagem estatística da suscetibilidade é a necessidade de mapear cicatrizes de deslizamentos já ocorridos. Como existem poucas áreas com um histórico estatisticamente significativo de cicatrizes, cujos registros em fotografias aéreas ou ortoimagens são evidentes, é necessário extrapolar os resultados obtidos em áreas-piloto que atendam a esses requisitos. No entanto, essa extrapolação pressupõe uma homogeneidade dos parâmetros geológicos e geomorfológicos entre a área-piloto e o município mapeado, e variações na suscetibilidade podem ocorrer devido a diferenças de homogeneidade não previstas pelo modelo.

3.3.1.2.3 Suscetibilidade a inundações

O método de mapeamento da suscetibilidade a inundações a ser utilizado seguirá a preconização estabelecida na **Nota Técnica para a Elaboração de Modelagens de Inundação** (Conceição e Simões, 2021). De acordo com esse documento, a suscetibilidade à inundação está associada às condições que favorecem a elevação do nível d'água no canal de drenagem com transbordamento, ante a dificuldade de escoamento em terrenos com baixa declividade ou devido à deficiência do sistema de drenagem. Sendo assim, os alagamentos também são incluídos na modelagem, por correlação.

Os aspectos hidrológicos, relativos à taxa de recorrência de elevados índices pluviométricos, não são abordados na suscetibilidade, pois apresentam maior relação com o tema **Risco**. Dessa forma, a elaboração dos mapas de suscetibilidade à inundação utiliza dados essencialmente topográficos, gerando modelos estatísticos de mancha de inundação, representando a predisposição local.

- **Materiais Utilizados**

Para a realização da modelagem de manchas de inundação são exigidos dois tipos de dados: dados derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) na melhor qualidade disponível e o mapeamento dos padrões de relevo na escala 1:25.000. Para a obtenção da informação da altitude, o Modelo Digital de Terreno (MDT) deverá ser priorizado em relação ao Modelo Digital de Superfície (MDS), principalmente em áreas com vegetação densa.

O ideal é que sejam utilizados MDEs com resolução de 5 m x 5 m para estudos de bacias hidrográficas na área de influência de 1 km da rodovia. No entanto, havendo a necessidade de estudo específico de bacias em municípios que não dispõem desses modelos de alta resolução, as informações podem ser compiladas com a utilização dos dados da Missão Topográfica de Radar Embarcado (*Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM) na correção radiométrica das imagens ALOS PALSAR RTC, com resolução de 12,5 metros (ASF, 2015).

- **Metodologia**

O método utilizado por Conceição e Simões (2021) consiste na combinação de três variáveis: relevo, altitude e distância vertical à drenagem mais próxima, sendo a última dada pelo modelo HAND – *Height Above the Nearest Drainage*. A modelagem da inundação que deve compor o mapa pré-campo é dividida em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 28, a seguir.



Figura 28 – Fluxograma das quatro etapas da modelagem à inundação

Fonte: Conceição e Simões (2021)

- **Classificação dos Padrões de Relevo**

O mapeamento do relevo é realizado por meio de fotointerpretação de imagens de satélite com o auxílio de produtos derivados do MDE, tais como curvas de nível, hipsometria, declividade e relevo sombreado (Conceição e Simões, 2021). Foi criada uma Biblioteca de Padrões de Relevo especificamente para o projeto, a qual é utilizada para identificar os relevos mais suscetíveis à inundação e atribuir pesos,

indicando a potencialidade do processo, conforme pode ser visualizado na Tabela 32, na sequência.

Em geral, as planícies recebem o peso 3, por estarem localizadas próximas aos canais de drenagem e funcionarem como área de extrapolação dos canais principais, em caso de chuvas intensas. Baixadas aluvio-coluvionares e feições cársticas recebem o peso 2, devido às características morfológicas. As baixadas situam-se em posições altimétricas mais elevadas do relevo, em relação às feições cársticas, sendo atingidas em condições extremas de precipitação. Já as feições cársticas, devido à origem marcada pela formação de condutos subterrâneos interligados à superfície, “apresentam uma suscetibilidade à inundação muito específica e variada de acordo com o estágio desses processos em cada localidade” (Conceição e Simões, 2021, p. 3). Tais características as enquadram como intermediárias em relação à possibilidade de inundação.

Em relação aos terraços, de modo geral, é atribuído o peso 1, pela localização mais elevada do relevo, sendo atingidos por eventos hidrológicos esporádicos, devido às chuvas extremamente intensas. Após a realização da classificação, é elaborado um *raster*, no qual os pixels referentes a cada padrão de relevo recebem o peso correspondente.

Tabela 32 – Classes de padrão de relevo e classificação da suscetibilidade à inundação

Padrões de Relevo	Código	Suscetibilidade	Peso
Planícies de inundação	R1a	Alta	3
Terraços Fluviais	R1b1	Baixa	1
Terraços Lagunares	R1b2	Baixa	1
Terraços Marinhos	R1b3	Baixa	1
Baixadas Alúvio-Coluvionares	R1b4	Média	2
Rampas de Alúvio Colúvio	R1c1	Baixa	1
Recifes	R1g	Alta	3
Leques Aluviais	R1c3	Média	2
Planícies Fluviomarinhas (mangues)	R1d1	Alta	3

Padrões de Relevo	Código	Suscetibilidade	Peso
Planícies Fluviomarinhas (campos salinos ou apicum)	R1d1a	Alta	3
Planícies Fluviomarinhas (brejos)	R1d2	Alta	3
Planícies Fluviolacustres (brejos)	R1d3	Alta	3
Planícies Fluviodeltaicas (brejos)	R1d4	Alta	3
Planícies Lagunares(brejos)	R1d5	Alta	3
Planícies de Maré Lamosas (coroas de lama)	R1d6a	Alta	3
Planícies de Maré Arenosas (barras arenosas)	R1d6b	Alta	3
Planícies Marinhas (restingas)	R1e	Alta	3
Depósitos Tecnogênicos (aterros sobre corpos d'água)	R1h1	Baixa	1
Feições Cársticas (dolinas, uvalas, poliés, sumidouros)	R5a	Média	2

Fonte: Conceição e Simões (2021)

É importante destacar que os padrões de relevo apresentados são provenientes da biblioteca do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), elaborada para os locais onde o mapeamento da suscetibilidade à inundação já foi realizado. No entanto, poderão surgir novos padrões para as áreas de influência dos trechos a serem estudados. Assim, no caso da análise direta sobre a infraestrutura, em locais que necessitarão de mapeamento da suscetibilidade à inundação, sugere-se que seja realizada uma simplificação para os padrões de relevo em planícies, baixadas e terraços, atribuindo os pesos de 3, 2 e 1, respectivamente.

Como exemplo da modelagem de suscetibilidade à inundação, o documento elaborado por Conceição e Simões (2021) traz uma imagem dos padrões de relevo (a) e suscetibilidade a inundações recortada pelos padrões de relevo (b) do município de Mariana/MG (Figura 29). Os autores ressaltam a importância da etapa de validação em campo e, em caso de alterações, a modelagem também deve ser modificada.

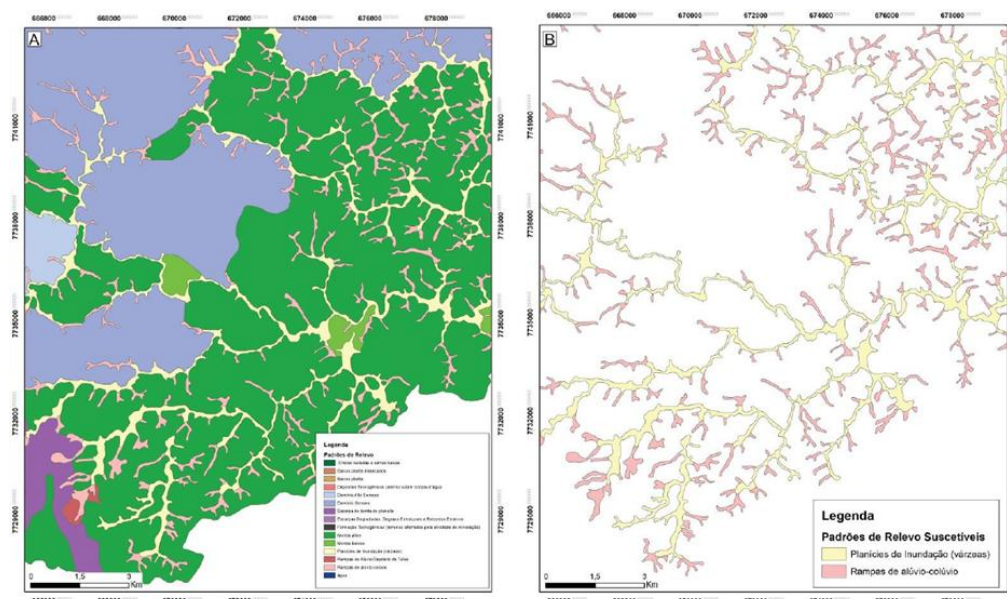


Figura 29 – (a) Padrões de relevo obtidos por meio de fotointerpretação de imagens, (b) Padrões de relevo utilizados na modelagem

Fonte: Conceição e Simões (2021)

- **Classificação da Altitude**

A altitude influencia diretamente no nível de água atingido por uma inundação, assim como declividade, uso da terra e precipitação (Santos *et al.*, 2010). Essa influência ocorre devido à ação da gravidade, que direciona a água para as regiões mais baixas.

A informação da altitude deve ser extraída diretamente do MDE, previamente recortado pelos padrões de relevo suscetíveis à inundação. Os valores de altitude são classificados em uma escala de 0 a 1 por meio do algoritmo de Lógica *Fuzzy*, com classe *MSSmall* – em que os valores menores são associados mais próximos de 1. Dessa forma, os valores mais próximos de 0 tendem a pertencer a áreas mais altas (não inundáveis). Posteriormente, por meio do método do Quartil, o dado é reclassificado em escala de 1 a 3.

O produto desta etapa é um *raster* onde as áreas mais baixas recebem peso 3, áreas intermediárias recebem peso 2 e para as áreas elevadas é atribuído o peso 1. A Figura 30, a seguir, apresenta um exemplo (sequencial ao anterior) da altimetria de acordo com os padrões de relevo (imagem a) e a altimetria classificada de acordo com a suscetibilidade à inundação recortada pelos padrões de relevo (imagem b).

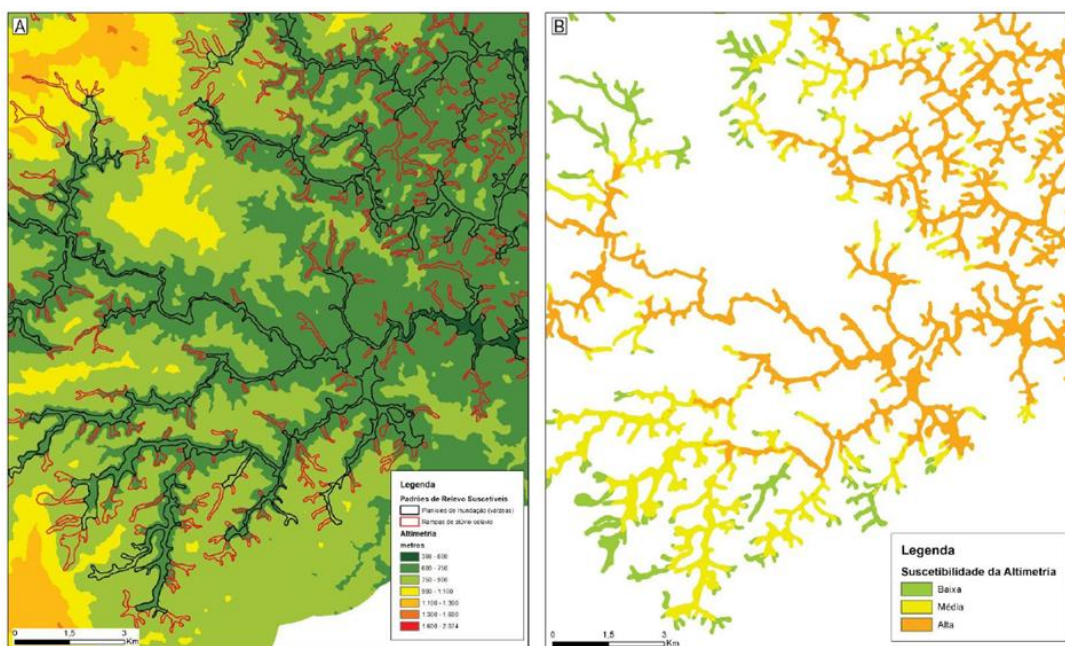


Figura 30 – (a) Altimetria sob os limites do relevo, (b) Altimetria classificada em relação à suscetibilidade a inundações

Fonte: Conceição e Simões (2021)

- **Classificação da Distância à Drenagem Mais Próxima – HAND**

A cota de inundação de uma área preestabelecida é a variável mais importante em cálculos de modelos estatísticos, segundo Conceição e Simões (2021). O modelo HAND, elaborado por Rennó *et al.* (2008) deverá ser utilizado para o cálculo dessa cota. Os *softwares* de geoprocessamento QGIS® e ArcGIS® possuem complementos com *scripts* (algoritmos) para a utilização desse modelo.

O HAND calcula a altura acima da drenagem mais próxima, por meio das diferenças de cotas, extraídas do MDE, entre o ponto considerado e a rede de drenagem de referência. Assim, a maior suscetibilidade a inundações tem correlação com as regiões de baixa altura relativa. Esse modelo é capaz de identificar automaticamente a rede de drenagem e promover a subtração entre os valores dos pixels mais próximos e os correspondentes à drenagem. A Figura 31, a seguir, apresenta um resumo do passo a passo utilizado pelo algoritmo, na qual a sigla DDL representa as direções da drenagem local.

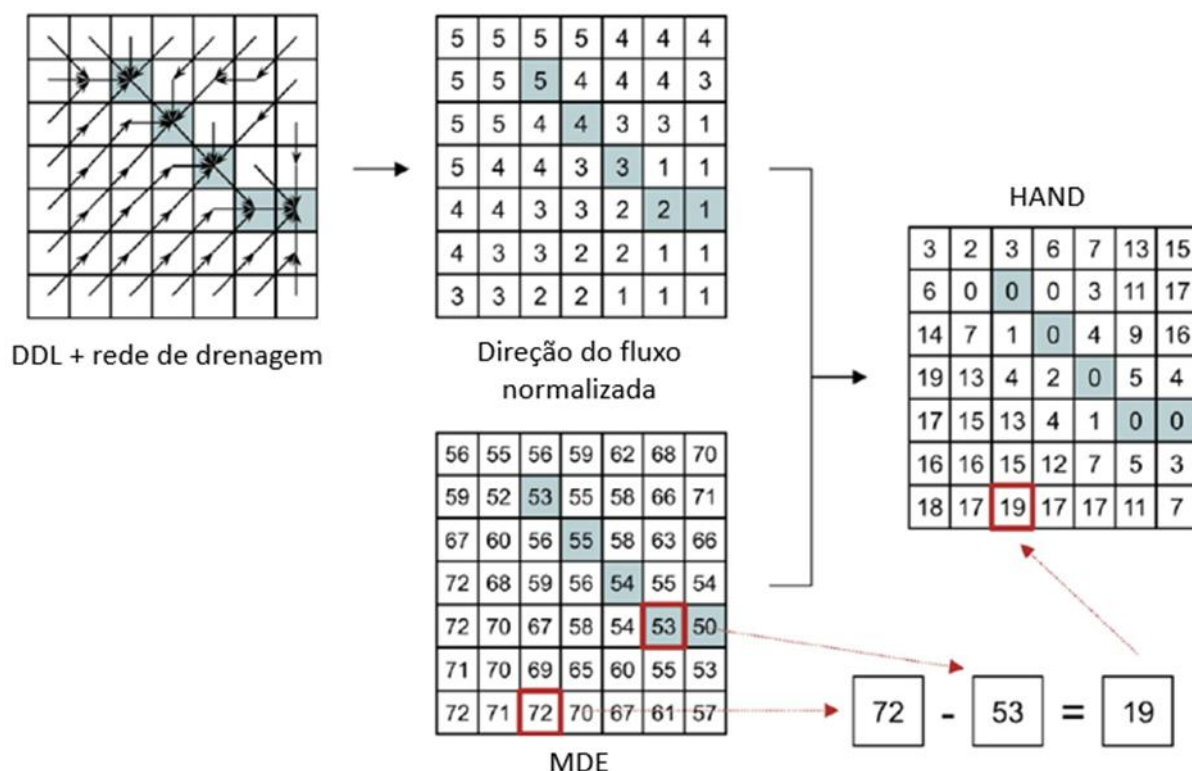


Figura 31 – Resumo do algoritmo HAND

Fonte: Rennó et al. (2008)

Assim como as outras variáveis previamente mencionadas, o modelo HAND deve ser classificado em uma escala de 1 a 3, em que as áreas mais baixas (em relação à drenagem) recebem o maior peso. A quantidade de classes deve ser dividida utilizando o método do quartil, no qual a série de dados é dividida em um *boxplot*. Os dois primeiros quartis são classificados com peso 3, o terceiro quartil recebe o peso 2 e o quarto quartil, peso 1. A Figura 32, a seguir, apresenta um exemplo de aplicação do modelo para o caso de Mariana/MG, em que a imagem (a) apresenta a aplicação do algoritmo dentro dos limites do relevo e a imagem (b) apresenta o HAND classificado de acordo com a suscetibilidade e recortado pelos padrões de relevo suscetíveis.

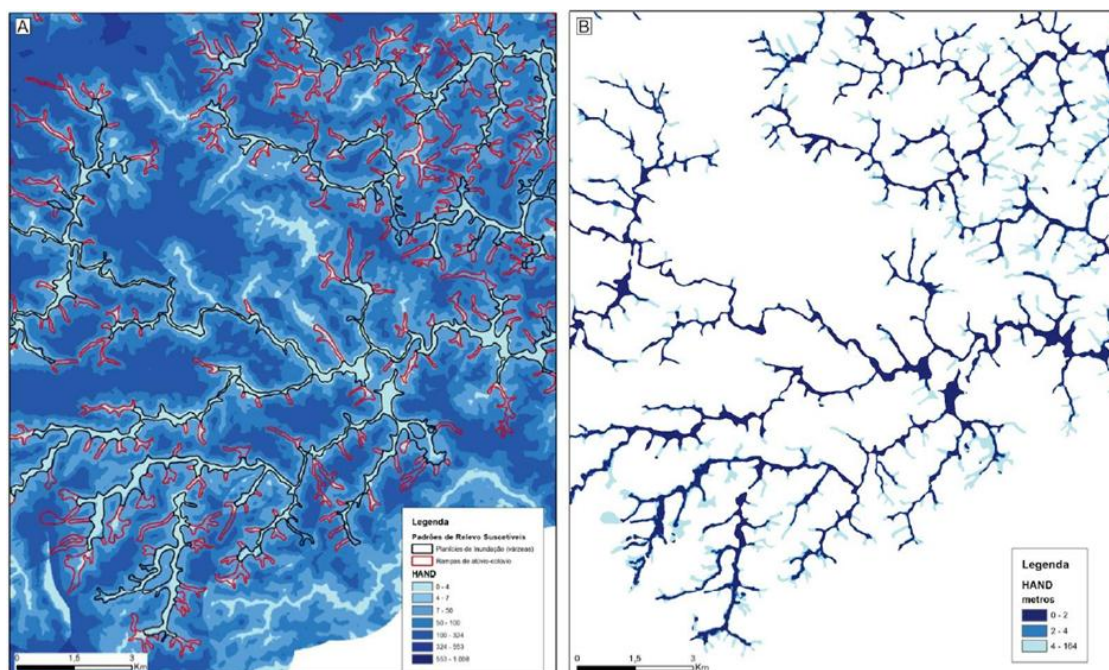


Figura 32 – (a) HAND sob limites do relevo (b) HAND classificado e recortado

Fonte: Conceição e Simões (2021)

Os autores ressaltam que a qualidade do modelo HAND sempre irá depender da resolução do MDE de origem; assim, para maior acurácia, deverá ser realizado com MDEs de alta resolução.

• Integração das Variáveis

A última etapa do método de mapeamento da suscetibilidade a inundações consiste em somar as variáveis reclassificadas por meio de álgebra de mapas, dando origem a um *raster* com valores de 3 a 9, atribuindo as classes de suscetibilidade a esses valores, conforme apresentado na Tabela 33, a seguir:

Tabela 33 – Classificação da suscetibilidade à inundação

Peso	3	4	5	6	7	8	9
Classe de suscetibilidade	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta	Alta

Fonte: Conceição e Simões (2021)

O Mapa de Suscetibilidade a Inundações possui a integração de acúmulo de suscetibilidades das três fontes. Essa integração também é importante para diminuir a superestimativa gerada pelo modelo HAND fora da área de inundação, conforme demonstrado por Nobre *et al.* (2015, *apud* Conceição e Simões, 2021). A Figura 33, a seguir, apresenta o mapa final de suscetibilidade à inundação para o caso de Mariana/MG, com a integração das três variáveis.

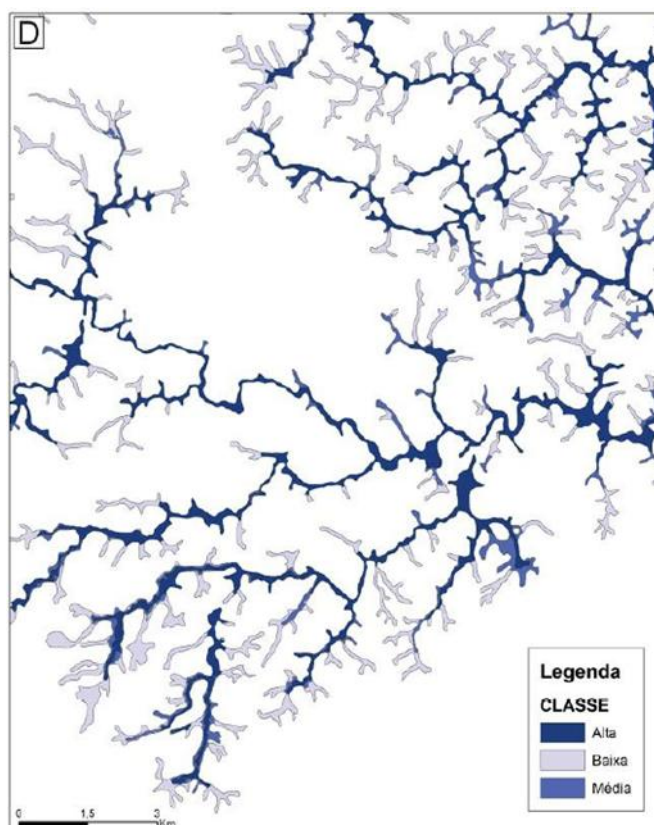


Figura 33 – Mapa de suscetibilidade à inundação

Fonte: Conceição e Simões (2021)

Destaca-se que, para a utilização da metodologia em rodovias federais sob administração do DNIT, deverão ser utilizados *buffers* mínimos de 1.000 metros a partir do eixo da rodovia, ou seja, a suscetibilidade a inundações deverá ser representada em distâncias laterais mínimas de 1 quilômetro em relação à via, assim como preconizado e previamente explicado na seção 3.3.1.2.2.

A Figura 34, a seguir, apresenta um exemplo de zoneamento da suscetibilidade a inundações para a BR-259/ES (mesmo trecho apresentado anteriormente, na Figura

26), conforme o procedimento descrito nesta seção, na qual as regiões com tonalidade de azul mais escuro representam a alta suscetibilidade, as regiões de tonalidade intermediária correspondem a média suscetibilidade, e as mais claras representam as áreas de baixa suscetibilidade à inundação.

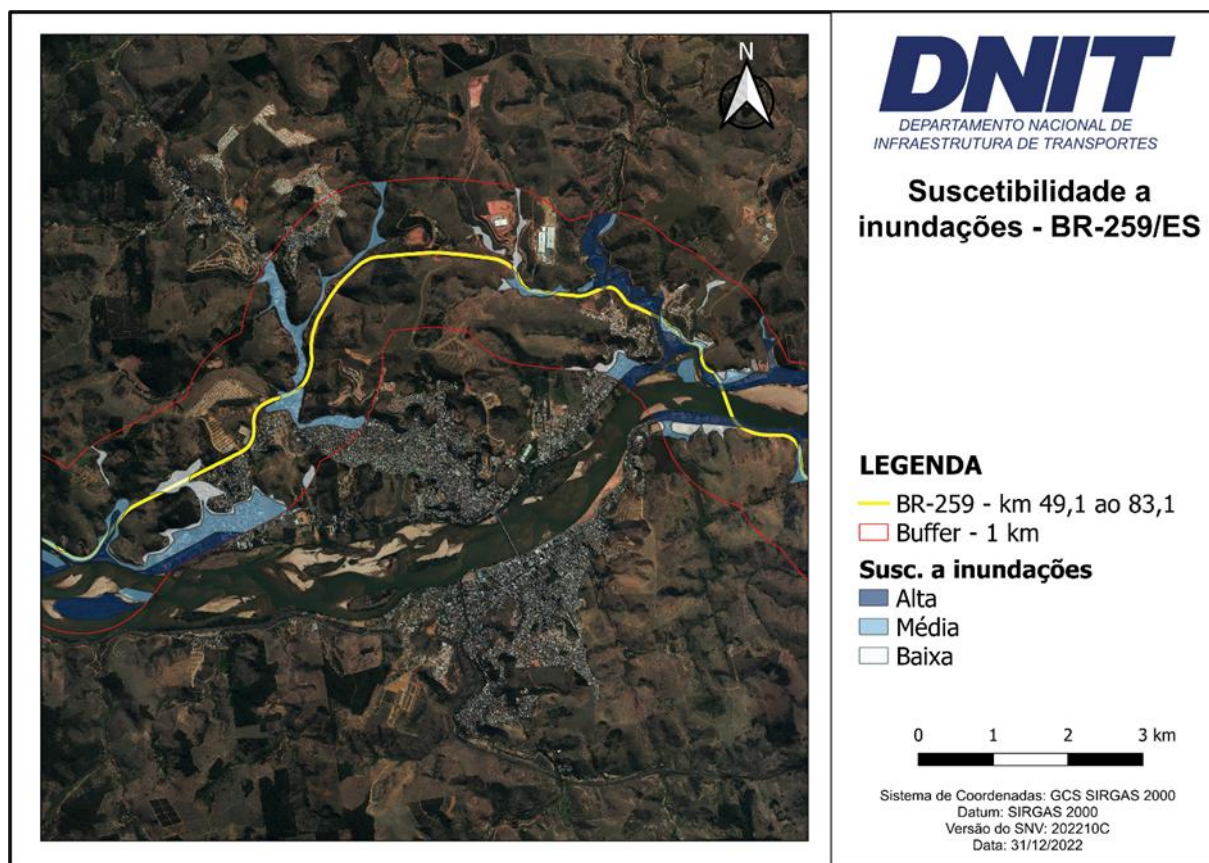


Figura 34 – Representação da suscetibilidade a inundações - BR-259/ES

Após a criação dos mapas pré-campo de suscetibilidade, deverá ser realizada a validação *in loco* e, caso seja verificada alguma necessidade de atualização, os mapas deverão ser alterados. Com os mapas de suscetibilidade definitivos, será dado prosseguimento à Metodologia, com a avaliação da vulnerabilidade e análise de risco, conforme descrito nas seções a seguir.

3.3.1.3 Mapeamento dos elementos expostos

A geoespacialização dos dados de elementos expostos fornece informações valiosas para subsidiar a criação de um outro mapa relacionado à vulnerabilidade do trecho

em questão. Os ativos levantados nesta etapa deverão ser cadastrados no Sistema de Informações de Gerenciamento de Ativos, a ser implantado pelo DNIT.

A vulnerabilidade diz respeito ao grau de perdas e danos associados aos elementos expostos; quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade. Geralmente, está associada às condições das estruturas, principalmente de habitações. Entretanto, como estamos tratando de ocorrências em rodovias e, na maioria das vezes, as consequências dessas independem das condições dos ativos de uma rodovia (exceto nos casos de estruturas de contenção), nesta Metodologia, a vulnerabilidade será associada à suscetibilidade. As classes de suscetibilidade baixa, média e alta receberão os valores de 1, 2 e 3, respectivamente. Caso sejam constatadas estruturas favoráveis à resiliência de um trecho específico, o valor da vulnerabilidade poderá ser reduzido em uma unidade. Ainda, o mapa de suscetibilidade sempre deverá ser sobreposto às áreas urbanizadas (subitem da subseção 3.3.1.2.1) e, onde a rodovia interceptar áreas urbanizadas, o valor da vulnerabilidade deverá ser acrescido em uma unidade.

3.3.1.4 Setorização climatológica/geológico-geomorfológica

Conforme a metodologia proposta pelo Banco Mundial (2019), deve ser realizado um estudo climatológico/geológico-geomorfológico da área analisada, dividindo os setores em bacias que compartilham o mesmo perfil sazonal de precipitação, além de levar em conta as características geológicas e as formas de relevo destas bacias. Com esses dados, será elaborado o mapa de setorização climatológica/geológico-geomorfológica.

Desta forma, as regiões que apresentarem o mesmo regime de chuvas, os mesmos tipos de rochas e as mesmas formações de relevos serão setorizadas como sub-regiões. Os dados a serem utilizados para determinação das características de chuvas do trecho podem ser obtidos por meio do INMET, IBGE, ANA e SGB/CPRM (SGB, 2011). No Apêndice I deste documento é apresentado um exemplo para a elaboração da setorização climatológica/geológico-geomorfológica.

3.3.1.5 Cálculo do valor-limite de precipitação, probabilidade de atingir o valor-limite e taxa de recorrência do valor-limite

A seguir, é apresentado o método para a determinação da taxa de recorrência do valor-limite de precipitação capaz de ocasionar ocorrências em cada bacia a ser analisada. Este procedimento deve ser realizado para a posterior análise de risco, visto que o valor-limite é o gatilho para grande parte dos eventos disruptivos que ocorrem nas rodovias brasileiras, tais como movimentos de massa, inundações, alagamentos, erosões e enxurradas.

- **Cálculo do Valor-limite de Precipitação**

Para determinação do valor-limite, será usado um banco de dados com o histórico de ocorrência de inundações, movimentos de massa, entre outros, bem como dados sobre a localização, data e hora de ocorrência dos eventos, em conjunto com um banco de dados meteorológicos relativos ao mesmo período.

As informações das ocorrências devem ser compiladas com as informações das precipitações acumuladas que antecedem os eventos em 0, 24, 48, 72 e 96 horas. Essas informações serão plotadas em um gráfico de **horas de precipitação acumulada versus precipitação acumulada**. Assim, será traçada uma linha de tendência linear que será correspondente ao valor-limite de precipitação acumulada, que pode ocorrer no período antecedente a um desastre. A Figura 35, a seguir, apresenta um exemplo do cálculo do valor-limite de precipitação para a BR-101, em Angra dos Reis.

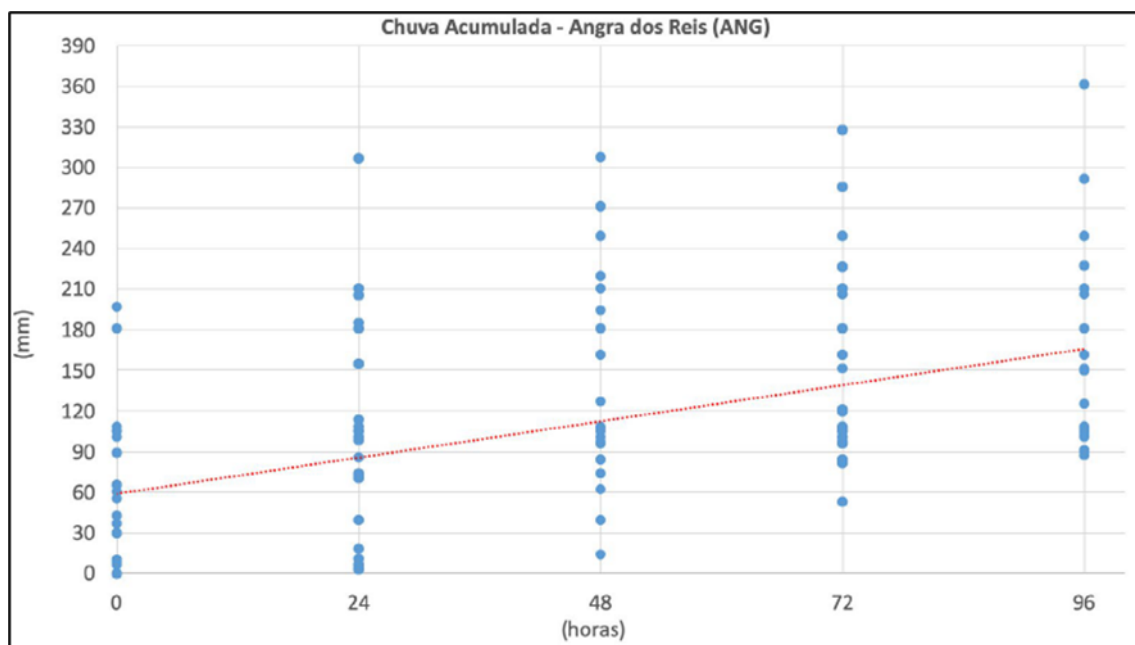


Figura 35 – Exemplo de cálculo do valor-limite de precipitação: linha de tendência entre precipitação acumulada versus tempo para as ocorrências registradas

Fonte: Banco Mundial (2019)

Em alguns casos, pode haver mais pluviômetros no mesmo trecho estudado ou, até mesmo, estações telemétricas que permitem o uso de dados horários. Entretanto, normalmente os dados abertos são diários e podem existir casos com poucas informações registradas ou com a falta de informações no período em que ocorreu o desastre e nas 96 horas que o antecedem. Nestes casos, o cálculo do valor-limite deverá ser adaptado aos dados disponíveis e a investigação deverá ser realizada analisando toda a série histórica, verificando-se a correspondência entre esses dados com os dias das ocorrências e, assim, fazer a estimativa do valor-limite, conforme apresentado no Apêndice I. Alternativamente, poderão ser utilizados os dados do PDIR-Now (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Dynamic Infrared Rain Rate near real-time*), obtidos por meio de sensoriamento remoto.

- **Determinação da Taxa de Recorrência**

A probabilidade de um evento, entretanto, trata-se de um cálculo extremamente complexo uma vez que está associada à heterogeneidade do ambiente,

principalmente nos casos de movimento de massa, do solo e dos regimes de precipitação. Para tanto, devem ser consideradas as premissas básicas, apresentadas abaixo, para determinação desta probabilidade:

- Os fatores que causaram movimento de massa no passado são os mesmos fatores que os causam hoje;
- A probabilidade de um movimento de massa ocorrer no futuro é a mesma que a taxa de recorrência do passado;
- Cada setor é uma microrregião que compartilha as mesmas características climatológicas (regime pluviométrico) e geológico-geomorfológicas (tipos de rochas e formas de relevo) uniformemente distribuídas.

Assim, a determinação da taxa de recorrência do valor-limite é realizada em três etapas:

- (i) seleção dos eventos com precipitação diária acima do valor-limite;
- (ii) seleção, dentre esses eventos, aqueles cuja precipitação acumulada durante 96 horas excedeu o valor-limite da bacia pluviométrica em questão;
- (iii) contagem do número de eventos selecionados.

A taxa de recorrência que excede os valores-limite de precipitação, capazes de deflagrar ocorrências em suas respectivas bacias, é calculada com base no número de eventos que excederam os valores-limite calculados e na extensão temporal da série histórica. A probabilidade de atingir o valor-limite no setor será equivalente à taxa de recorrência, que deverá ser arredondada para um número inteiro.

3.3.1.6 Mapa de risco dos elementos expostos

Segundo o Banco Mundial (2019), uma taxa de recorrência do valor-limite de precipitação de até dois eventos por ano representa um risco baixo para ocorrência de eventos de movimento de massa, caso a taxa de recorrência esteja entre dois e cinco eventos por ano, representa um risco médio, e, se a taxa for maior que cinco,

representará um risco alto. Ressalta-se que a recorrência diz respeito ao evento da precipitação, podendo um mesmo evento acarretar mais de um desastre.

Levando em consideração que o risco está relacionado ao dano que pode ser causado por um processo perigoso (consequências) e à probabilidade de ocorrência do evento, conforme apresentado por SGB/CPRM (2014) e PIARC (2015), no Planejamento Tático, a análise de risco deve ser realizada considerando a vulnerabilidade e a taxa de recorrência do valor-limite de precipitação. Para isso, deve ser elaborada uma matriz de risco para cada trecho analisado, na qual serão multiplicados os valores da vulnerabilidade pela taxa de recorrência do valor-limite, como apresentado na Tabela 34, a seguir. O valor-limite calculado deverá ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Tabela 34 – Cálculo do valor do risco

Vulnerabilidade	Taxa de recorrência do valor-limite de precipitação (nº de vezes por ano)				
	1	2	3	4	5
Baixa (1)	1	2	3	4	5
Média (2)	2	4	6	8	10
Alta (3)	3	6	9	12	15

Para representar o nível de risco em classes, assim como realizado pelo SGB/CPRM (2018a), os resultados da Tabela 34 serão divididos em quatro intervalos: 1 e 2; 3 e 4; 5 a 8; e valores maiores ou iguais a 9. A esses intervalos, devem ser atribuídas as classificações de baixo risco, médio risco, alto risco e muito alto risco, respectivamente. Assim, a tabela anterior pode ser representada qualitativamente, conforme a Tabela 35, a seguir.

Tabela 35 – Classificação do risco

Vulnerabilidade	Taxa de recorrência do valor-limite de precipitação (nº de vezes por ano)				
	1	2	3	4	5
Baixa (1)	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto
Média (2)	Baixo	Médio	Alto	Alto	Muito Alto
Alta (3)	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto

Destaca-se que deverá ser elaborada uma matriz de risco para cada desastre analisado, ou seja, se um mesmo trecho apresentar alagamentos e movimentos de massa, serão elaboradas duas matrizes de risco.

Após a elaboração das matrizes, serão elaborados os mapas de riscos dos elementos expostos, que devem conter todos os elementos espacializados (ativos pontuais ou lineares) do trecho analisado, categorizados conforme o risco estabelecido. Deverão ser elaborados mapas temáticos para cada tipo de risco analisado, de modo a facilitar a interpretação e a tomada de decisão de investimentos.

A seguir, na Figura 36, está apresentado um fluxograma que resume o passo a passo preconizado nas seções 3.3.1.1 a 3.3.1.6.

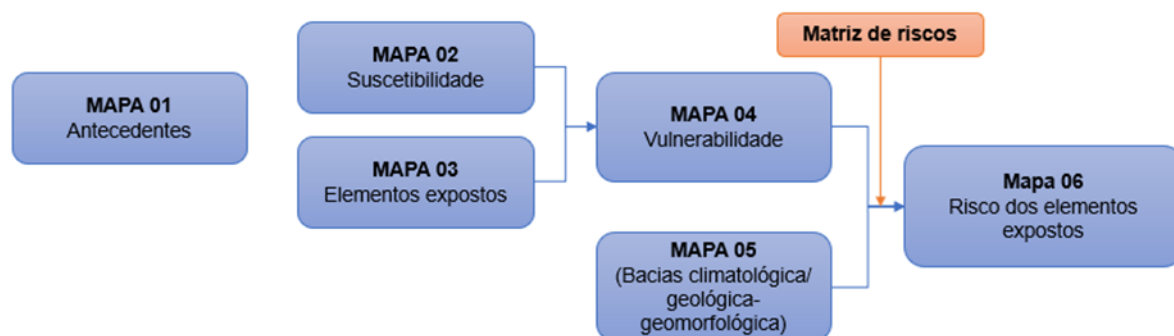


Figura 36 – Fluxograma do mapa de riscos dos elementos expostos

Após a criação do mapa de risco, deverá ser calculado um Índice de Risco (*IR*) com base nas classes de risco dos ativos lineares, conforme a Equação 15, a seguir, a qual relaciona as extensões correspondentes a cada classe de risco com a extensão total do trecho. Os valores utilizados deverão ter precisão de duas casas decimais.

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Extensão do trecho } i * \text{Valor respectivo na matriz de risco})}{\text{Extensão Total do Trecho}} \quad (15)$$

O Apêndice I deste documento apresenta um passo a passo da aplicação da Metodologia descrita para o trecho da BR-259, do quilômetro 74,9 ao quilômetro 83,1, no Espírito Santo – esse trecho foi priorizado como extremamente alto em relação à implantação de medidas de Resiliência Climática, por meio do método elaborado no Planejamento Estratégico.

3.3.2 Proposição de intervenções de resiliência climática

Após a análise dos riscos mapeados, deverão ser propostas medidas de intervenção de Resiliência Climática para o trecho em análise, de forma a reduzir a possibilidade de ocorrências nos pontos levantados ou mitigar os danos causados por eventos disruptivos, caso ocorram.

Dentro das proposições de intervenções de resiliência, existem dois tipos de medidas que podem ser tomadas, de ordem estrutural e de ordem não estrutural. As primeiras são todas aquelas que necessitam da realização de obras de infraestrutura (contenção, drenagem, recuperação de encostas, entre outras), melhoramento de infraestrutura já existente e manutenção de rodovias e seus ativos.

Já as medidas não estruturais são aquelas que não necessitam de realização de obras, tais como: monitoramento para detecção precoce de anomalias, registro de emergências, sinalização de trânsito para conscientização de riscos, desenvolvimento de sistemas de informação de emergências e plano de contingência e resposta a emergências. Na Figura 37, a seguir, estão expostos os exemplos supracitados dessas medidas.

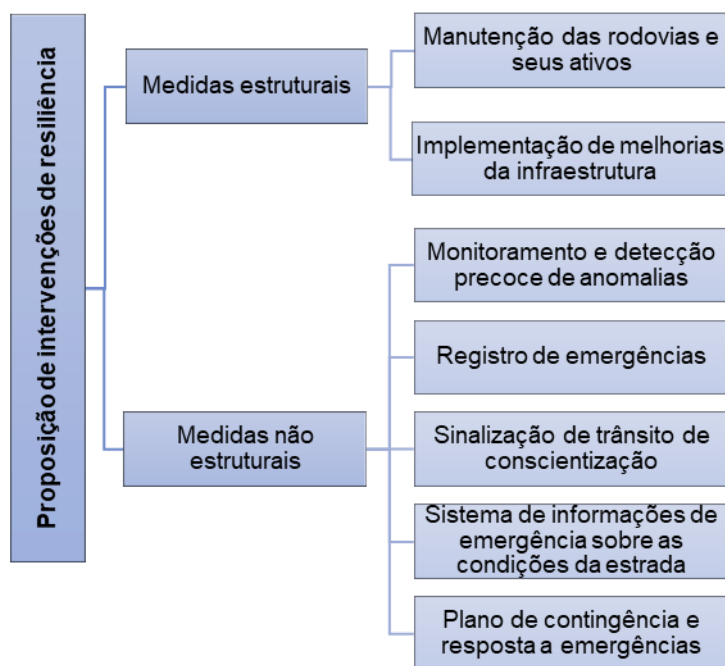


Figura 37 – Tipos de intervenções de resiliência

3.3.2.1 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais não devem ser vistas como ações individuais, mas sim tratadas e aplicadas conjuntamente, de maneira integral, com a finalidade de reduzir o risco de danos provenientes de desastres naturais.

3.3.2.1.1 Monitoramento

Uma das medidas que podem ser propostas é a implementação de um sistema de monitoramento, não somente nos pontos onde existem registros de ocorrências, mas também naqueles que apresentam características semelhantes e que sejam classificados como risco alto e muito alto – até mesmo aqueles classificados como risco médio podem ser monitorados, caso seja julgado como necessário pelo DNIT.

Na implementação desse sistema, pode-se incluir a informação levantada por inspeção visual que já é feita pelas ULs, deixando registrada a periodicidade (que vai depender do nível de risco do trecho) com que são realizadas e reforçando as mesmas em períodos de chuvas.

Na fase de Análise de Risco deve ser relacionado o desencadeamento da maioria das ocorrências com o regime pluviométrico, principalmente aquelas a serem mapeadas pelo Planejamento Estratégico. Por isso, é de suma importância otimizar o espaçamento entre as estações pluviométricas e reforçar o monitoramento hidrometeorológico, com mais estações automáticas e telemétricas, propiciando a captação de dados em tempo real e, para melhor análise, a obtenção de registros horários.

Como parte do monitoramento, é importante a utilização de instrumentos como piezômetros e inclinômetros, para monitorar as encostas classificadas com risco alto de movimentação de massa, além da implementação de uma rede de sensores de estabilidade de taludes nos trechos com maior nível de risco.

A implantação de uma rede de sensores de alerta de inundação em OAEs com recorrência desse tipo de desastre – que podem ser mapeadas na etapa do

Planejamento Estratégico – é importante para monitorar aquelas pontes mais suscetíveis a inundações.

3.3.2.1.2 Registro das ocorrências

A subnotificação de ocorrências atrapalha a adoção de medidas preventivas, por isso é fundamental o desenvolvimento e implementação de um sistema que registre todas as ocorrências pertinentes à resiliência das estruturas, não somente aquelas que originaram contratos de obras emergenciais. Esse registro, que pode ser feito pelas Unidades Locais (ULs), deve especificar o ponto exato da ocorrência, o motivo e o procedimento feito. Essas informações são essenciais para o controle, mesmo que os eventos tenham sido atendidos em contratos de manutenção.

Ressalta-se que as ULs desempenham um papel de grande importância ao registrar as ocorrências, porém faz-se necessário um compartilhamento eficiente com o DNIT (sede) em um sistema integrado, a fim de melhorar o planejamento e realizar mapeamentos cada vez mais eficazes dos locais de risco.

É importante destacar que o Ministério dos Transportes, em 2022, iniciou a elaboração de um sistema que permitirá o registro de todas as ocorrências que impactem diretamente o funcionamento da rodovia. Esse sistema será de grande valia para o desenvolvimento da Resiliência Climática no âmbito do DNIT.

3.3.2.1.3 Sinalização de trânsito e conscientização

A comunicação com os usuários é fundamental para a tomada de decisões sobre o que fazer em caso de interrupção das rodovias, ou para se antecipar a eventos adversos. Desta forma, constitui uma medida de suma importância para a resposta, adaptação e recuperação. Além disso, a sinalização de trânsito temporária, aplicada como medida preventiva e de resposta aos eventos disruptivos em rodovias, deve ser empregada para alertar a população de possíveis ocorrências, principalmente em período de chuvas. Sugere-se também uma maior aplicação de sinais e dispositivos que compõem o subsistema de sinalização vertical permanente, como o sinal A-27 – área com desmoronamento – apresentado na Figura 38, a seguir, além do uso de

painéis de mensagens variáveis eletrônicos para informar os usuários das condições locais no momento de chuva e de placas que identifiquem áreas sujeitas a alagamento.



Figura 38 – Sinalização de advertência A-27

Fonte: CONTRAN (2022)

3.3.2.1.4 Sistema de informações

O Governo Federal possui um sistema de cadastramento gratuito no qual as pessoas que realizarem a solicitação recebem alertas por mensagens de texto SMS de possíveis ocorrências em suas regiões. Este serviço fornece informações antecipadas dos riscos de desastres e de eventos adversos, para que os órgãos de resposta e a população possam evitar ou reduzir os riscos e estar preparados para uma resposta. É importante que o DNIT divulgue e incentive os usuários das rodovias a utilizarem esta estrutura de comunicação.

3.3.2.1.5 Planos de contingência e resposta a desastres

Apesar de já existirem programas de sistemas de emergência, como da Defesa Civil, é fundamental a integração dessas informações com o órgão responsável (DNIT) para elaboração de um plano de contingência diretor para desastres provocados por eventos naturais. Como exemplo, é apresentada a seguir a Tabela 36, extraída do Manual 3 do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (SGB/CPRM, 2018b), onde se informa a correlação das ações de contingência a seguir com os respectivos níveis de emergência.

Tabela 36 – Tabela de correlação entre as ações de contingência com os níveis de alerta de desastres naturais da Defesa Civil Municipal de Blumenau/SC

NÍVEL	GATILHO	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	AÇÕES INTERNAS DA DCM		AÇÕES EXTERNAS DA DCM		
			ATIVIDADES	EQUIPE	ATIVIDADES	EMISOR	ALVO DA MISSÃO
Vigilância - Normalidade	-	-	Acompanhar monitoramento meteorológico	Sobreaviso - DC e AlertaBlu	Emitir boletins meteorológicos periodicamente, manter a rede de monitoramento em funcionamento e atualizar o site. Vistorias	Alerta Blu	Defesa Civil e comunidade
Observação - Pre-atenção	Atingimento dos critérios dos limiares para estágio de observação	Previsão e monitoramento meteorológico, hidrológico, limiares. Informações externas	Mobilização da equipe. Monitoramento meteorológico estendido. Avaliação da escala de plantão	DC e AlertaBlu	Emitir boletins meteorológicos periodicamente, manter a rede de monitoramento em funcionamento e atualizar o site. Vistorias	Alerta Blu e DC	Defesa Civil e comunidade
Atenção	Atingimento dos critérios dos limiares para estágio de observação. Avaliação de ocorrências	Previsão e monitoramento meteorológico, hidrológico, limiares. Informações externas	Comunicação com os NUDECs, atores do Plano de Contingência	Monitoramento 24h, DC e AlertaBlu	Vistorias nos locais de ocorrência, acionamento de órgãos de recuperação. Divulgação em mídia Social	DC	Locais das ocorrências
Alerta	Atingimento dos critérios dos limiares para estágio de observação. Avaliação de ocorrências	Previsão e monitoramento meteorológico, hidrológico, limiares. Informações externas	Abertura dos pontos de apoio, comunicação com os NUDECs, atores do Plano de Contingência (GRAC)	DC	Atendimento aos atingidos, acionamento de órgãos de recuperação. Preparação de evacuação	DC	Moradores das áreas de risco
Alerta máximo	Atingimento dos critérios dos limiares para estágio de observação. Avaliação de ocorrências	Previsão e monitoramento meteorológico, hidrológico, limiares. Informações externas	Ativação do gabinete de crise, comunicação com o Estado e com o Governo Federal	DC	Atendimento aos atingidos, acionamento de órgãos de recuperação. Preparação de evacuação	DC	População atingida

Fonte: SGB/CPRM (2018b)

Em relação a parcerias para gestão do risco, é importante reforçar as existentes entre órgãos rodoviários nos âmbitos federal e estadual com a Defesa Civil correspondente (municipal, estadual ou federal). Cada Unidade Local poderá ter um Plano de Contingência específico para a região correspondente, atrelado aos planos já existentes da Defesa Civil, além de uma Comissão Permanente de Risco, encarregada das ações estabelecidas no plano.

Outra medida que ajudaria a agilizar a resposta aos desastres seria a elaboração de processos licitatórios para a contratação de empresas por meio de contratos intermitentes ou **stand-by** para os trechos priorizados na categoria Extremamente Alta. Nesses contratos, as empresas seriam mobilizadas sob demanda, ocorrendo a suspensão do pagamento em períodos de inatividade. Dessa forma, as empresas ficariam em prontidão para prestar serviços, em qualquer período do ano, mesmo naqueles de baixa pluviometria.

3.3.2.2 Medidas estruturais

A seguir, serão apresentados alguns exemplos de medidas estruturais que podem ser implantadas para aumentar a resiliência dos trechos da malha rodoviária.

3.3.2.2.1 Contratos de manutenção

Uma questão que merece maior destaque é a necessidade de aumentar a frequência da manutenção das obras de arte correntes e das obras de arte especiais, principalmente em períodos que antecedem às chuvas. O processo de manutenção periódica colabora para o bom estado de conservação da infraestrutura, mesmo em condições climáticas extremas, evitando ou mitigando danos provenientes de desastres naturais.

3.3.2.2.2 Implementação de melhorias

A seguir, serão apresentados exemplos de soluções para aumentar a resiliência da infraestrutura em relação à ação climática. Estes tipos de soluções podem ser adotados separadamente, de acordo com a situação previamente avaliada em campo, ou podem ser soluções combinadas. A escolha da solução dependerá da visita técnica realizada por um grupo de profissionais e será baseada na localização, tipo de risco e magnitude, bem como a geologia e hidrologia do local, podendo ser executados ensaios mecânicos, caso necessário.

- **Solução Tipo 1 – Execução ou Recomposição de Drenagem**

Os serviços de drenagem superficial correspondem à execução ou recomposição de meio-fio, sarjetas, dissipadores, descidas d'água, entre outros. Para drenagem profunda, são usados drenos horizontais profundos (DHPs), que são dispositivos arranjados ao longo de encostas que têm por objetivo dar vazão à água infiltrada ou subterrânea, aliviando a pressão de poros no local e melhorando, com isso, a estabilidade das encostas.

- **Solução Tipo 2 – Recomposição de Talude**

É uma técnica cujo objetivo é diminuir a ação erosiva das águas, facilitando a construção de drenagem superficial e consequente escoamento de águas pluviais. Consiste no escalonamento da superfície do talude, com suavização e alargamento, execução de degraus com canaleta de drenagem revestida. A Figura 39, a seguir, apresenta um esquema desta solução.

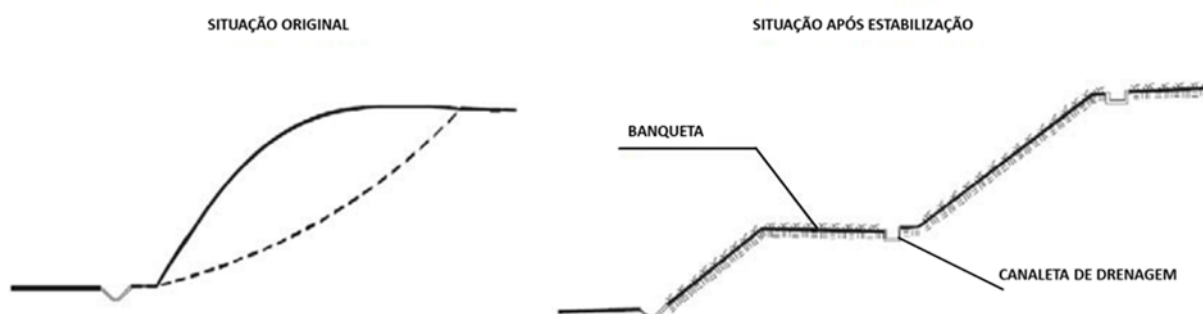


Figura 39 – Desenho esquemático para a recuperação de maciços instáveis

Fonte: Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, 2005)

- **Solução Tipo 3 – Execução de Cortina Atirantada**

As cortinas atirantadas são estruturas de contenção que possuem uma parede de concreto armado, geralmente de 20 a 40 cm de espessura (dependendo da carga nos tirantes), além de tirantes que a fixam ao solo com âncoras pré-tensionadas em uma determinada profundidade, proporcionando estabilidade à estrutura (Figura 40, a seguir).



Figura 40 – Cortina atirantada na BR-356/MG

- **Solução Tipo 4 – Execução de contenção com muro gabião**

O muro gabião é uma estrutura de contenção capaz de admitir deformações em suas fundações sem perder a sua funcionalidade. É composto por elementos modulares, confeccionados a partir de telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção que, preenchidos com pedras de granulometria adequada e costurados juntos, formam estruturas destinadas à solução de problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle da erosão. A Figura 41 apresenta um exemplo dessa estrutura.



Figura 41 – Muro de gabião BR-356/MG

- **Solução Tipo 5 – Solo Grampeado**

O solo grampeado é uma técnica de reforço de solos bastante prática e eficiente para a estabilização de taludes. Consiste em um reforço obtido por meio da inclusão de elementos resistentes à flexão composta, denominados grampos. Quando a técnica é utilizada como estrutura de contenção ou em estabilização de escavações, os grampos são geralmente posicionados horizontalmente e os esforços são principalmente de tração (Figura 42, a seguir).



Figura 42 – Solo grampeado

- **Solução Tipo 6 – Elevação de greide**

Este tipo de solução é utilizado em locais sujeitos a inundações recorrentes. Consiste na elevação das cotas altimétricas do traçado da via, com a execução do pavimento em uma elevação que não permita o acúmulo de água sobre a superfície. Geralmente, o pavimento é executado com uma camada de base drenante (Figura 43).

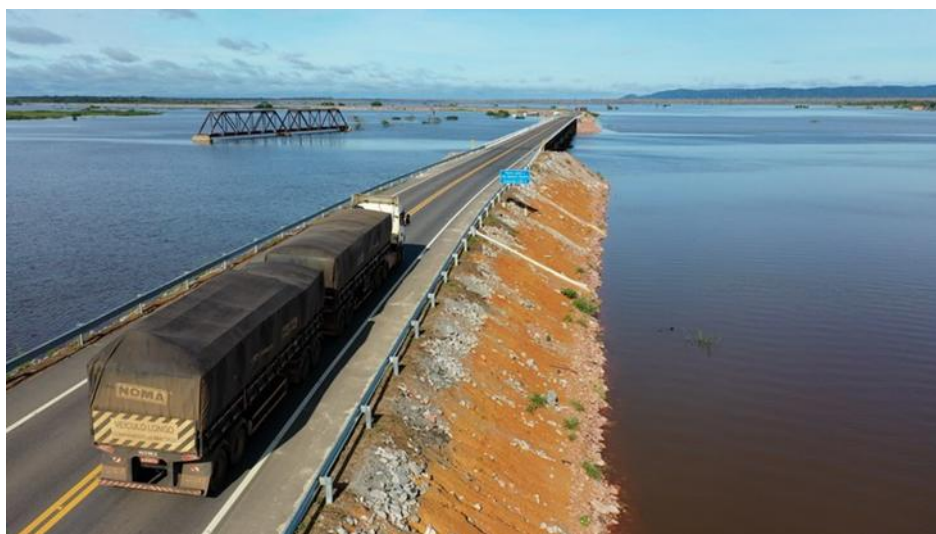


Figura 43 – Obra de alteamento da BR-364

Fonte: DNIT (2022)

Destaca-se que qualquer medida de engenharia utilizada para eliminação ou mitigação dos danos causados por desastres naturais tem um fator chave a ser considerado: a drenagem. Portanto, os sistemas de drenagem devem ser dimensionados de maneira eficiente para garantir a funcionalidade e durabilidade das estruturas.

Destaca-se que qualquer medida de engenharia utilizada para eliminação ou mitigação dos danos causados por desastres naturais tem um fator chave a ser considerado: a drenagem. Portanto, os sistemas de drenagem devem ser dimensionados de maneira eficiente para garantir a funcionalidade e durabilidade das estruturas.

Grande parte dos processos de erosão encontrados nas rodovias nacionais origina-se de problemas nos dispositivos de drenagem. A Figura 44, a seguir, apresenta um exemplo de voçoroca verificado na BR-356, em Minas Gerais, iniciado a partir de danos na saída d'água pelo bueiro, onde foi verificada a inexistência de dispositivos de descida d'água. A imagem abaixo corresponde a uma das cicatrizes constantes na Figura 25, previamente apresentada.



Figura 44 – Erosão avançada em talude de aterro e drenagem danificada

3.3.3 Método de avaliação econômica

Após as etapas de Análise de Risco e a proposição de medidas para o aumento da Resiliência Climática do segmento em questão, deverá ser realizada a avaliação econômica das medidas propostas. A princípio, todos os segmentos identificados com prioridade extremamente alta no Planejamento Estratégico deverão ser considerados, mas as propostas de intervenção também podem ter origens externas e de outros setores do próprio DNIT, conforme já mencionado. Finalizados os trechos com prioridade extremamente alta, a metodologia também deverá ser aplicada aos trechos com prioridade muito alta e assim sucessivamente.

Para a avaliação econômica, o método utilizado, denominado Tomada de Decisão sob Profundas Incertezas (*Decision Making under Deep Uncertainty – DMDU*), será capaz de lidar com graus de incerteza característicos de eventos naturais, combinando variáveis incertas – por meio de simulações de Monte Carlo – para a criação de cenários futuros, dos quais poderão ser extraídos indicadores econômicos, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Relação benefício/custo.

Ainda existem poucos exemplos de abordagens utilizando o DMDU em infraestrutura de transportes. Entretanto, existem alguns exemplos de aplicação em recursos hídricos que podem ter correspondência na infraestrutura, principalmente por levarem

em consideração variáveis que possuem elevado grau de incerteza, como a ocorrência de desastres naturais.

De acordo com o Banco Mundial (2019), as técnicas baseadas no DMDU são muito úteis para lidar com o alto teor de incerteza associada às ocorrências, pois permitem as combinações das variáveis necessárias para tornar as intervenções economicamente viáveis e identificar as intervenções mais robustas. Assim, podem auxiliar a: identificar e caracterizar as incertezas que influenciam a decisão; comunicar os níveis de incerteza e risco às partes interessadas; e melhorar a tomada de decisão, esclarecendo as possíveis opções e os possíveis resultados.

A Metodologia adotada, baseada no DMDU proposto pelo Banco Mundial, será dividida em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 45, abaixo.

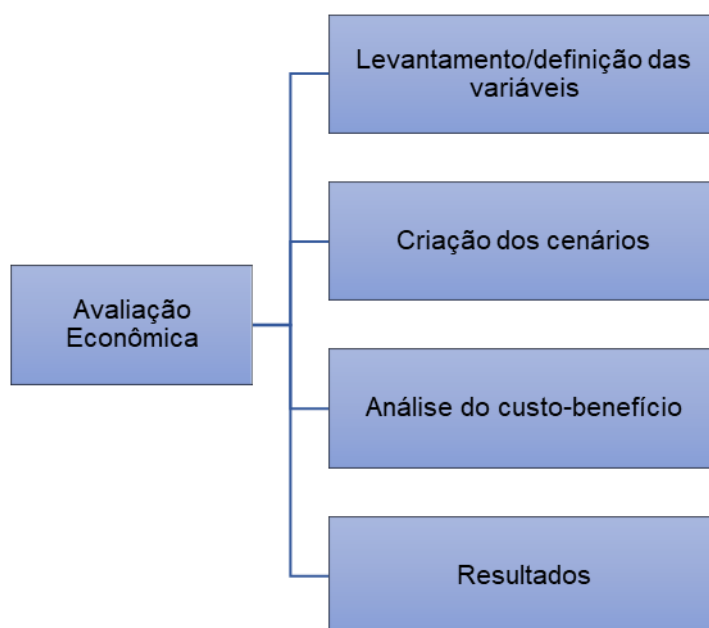


Figura 45 – Etapas da Avaliação Econômica

A seguir, está descrito o método da etapa de Avaliação Econômica das medidas de Resiliência Climática que entrará no Planejamento Tático. Essa avaliação deverá ser realizada com o auxílio da planilha automatizada para os cálculos, a qual se encontra disponibilizada no Anexo B e tem o intuito de padronizar e comparar as solicitações, que poderão seguir à próxima fase.

3.3.3.1 Levantamento das variáveis econômicas

A utilização da avaliação econômica DMDU, no contexto relativo à adaptação de trechos rodoviários quanto à Resiliência Climática, busca identificar os benefícios econômicos decorrentes de investimentos em intervenções preventivas, de forma a criar estruturas resilientes à ação climática e mitigar o risco de ocorrências de eventos disruptivos. Os benefícios são expressos como redução de custos no cenário **com projeto** em relação ao cenário **sem projeto**, como pode ser visto nos gráficos apresentados a seguir, na Figura 46.

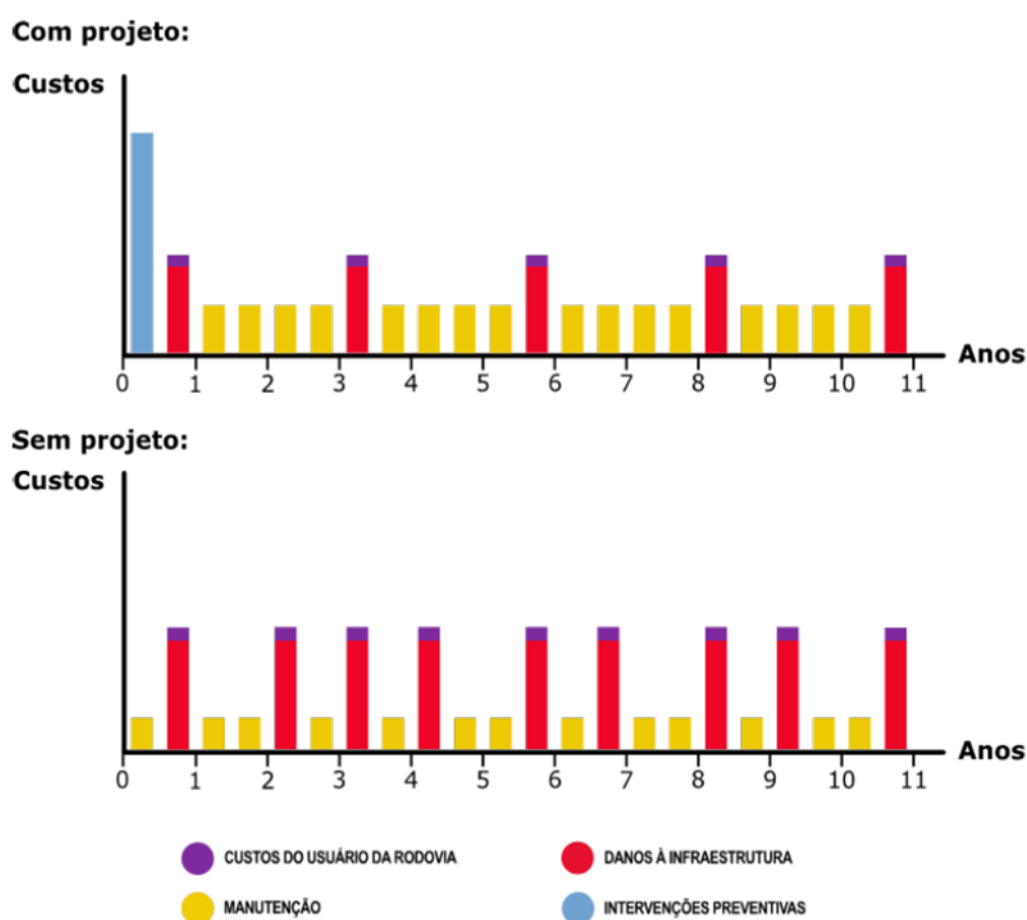


Figura 46 – Cronograma conceitual de investimentos no cenário com projeto e sem projeto

Fonte: Banco Mundial (2019)

No **cenário sem projeto**, o custo econômico incrementado a cada ano para restaurar a infraestrutura prejudicada e o custo da interrupção causada aos usuários são muito altos. Neste cenário, faz-se necessária a execução de obras emergenciais, que

possuem custos elevados, além de gerar um longo tempo de espera aos usuários até a reabertura das rodovias ou a necessidade de adoção de rotas alternativas, o que também implica um custo extra.

Já para o **cenário com projeto**, o investimento inicial em intervenções preventivas e os custos anuais de manutenção podem ser mais altos; no entanto, com a mitigação das consequências geradas por eventos disruptivos, há uma redução dos custos de reparos das infraestruturas rodoviárias e dos custos relacionados aos usuários.

Geralmente, as técnicas DMDU baseiam as tomadas de decisão por meio de criações de diferentes cenários futuros. Os cenários criados têm por objetivo contabilizar as perdas anuais estimadas (*Expected Annual Losses – EAL*), conforme apresentado a seguir, na Equação 16, que é a soma do custo de reparação ou reconstrução da infraestrutura danificada (*Expected Annual Damage to infrastructure – EAD*) e do aumento do custo que os usuários da via precisam assumir ao fazer um desvio ou esperar que a interrupção da rodovia seja sanada (*Expected Annual User Losses EAUL*).

$$EAL = EAD + EAUL \quad (16)$$

O *EAD* representa o custo de reparo ou de reconstrução da infraestrutura após a ocorrência de um evento disruptivo. Já o *EAUL* está relacionado ao custo extra dos usuários quando há algum desastre que ocasione o bloqueio da rodovia e eles são forçados a desviar ou esperar até que a interrupção seja sanada.

Para a realização dos cálculos do *EAD*, *EAUL*, e, posteriormente, do VPL (Valor Presente Líquido), é necessário conhecer algumas variáveis, as quais possuem diferentes graus de incerteza. Assim como preconizado pelo Banco Mundial (2019), neste estudo as variáveis serão classificadas em três categorias diferentes: (i) aquelas que são relativamente fáceis de estimar – devido a análises e estudos prévios –; (ii) as que são mais difíceis de estimar ou presumivelmente incertas; e (iii) parâmetros que não dependem diretamente das ações humanas ou que são profundamente incertos aos tomadores de decisão. A Figura 47, a seguir, apresenta as variáveis

econômicas a serem utilizadas nesta etapa do planejamento, relacionadas aos respectivos graus de incerteza.

As variáveis apresentadas estão descritas a seguir. Destaca-se que a falta de dados para algumas variáveis pode ser prejudicial ao desempenho da análise DMDU, o que pode diminuir a precisão dos resultados da avaliação econômica. Portanto, é fundamental que os dados sejam coerentes com a região em que o trecho analisado está inserido.

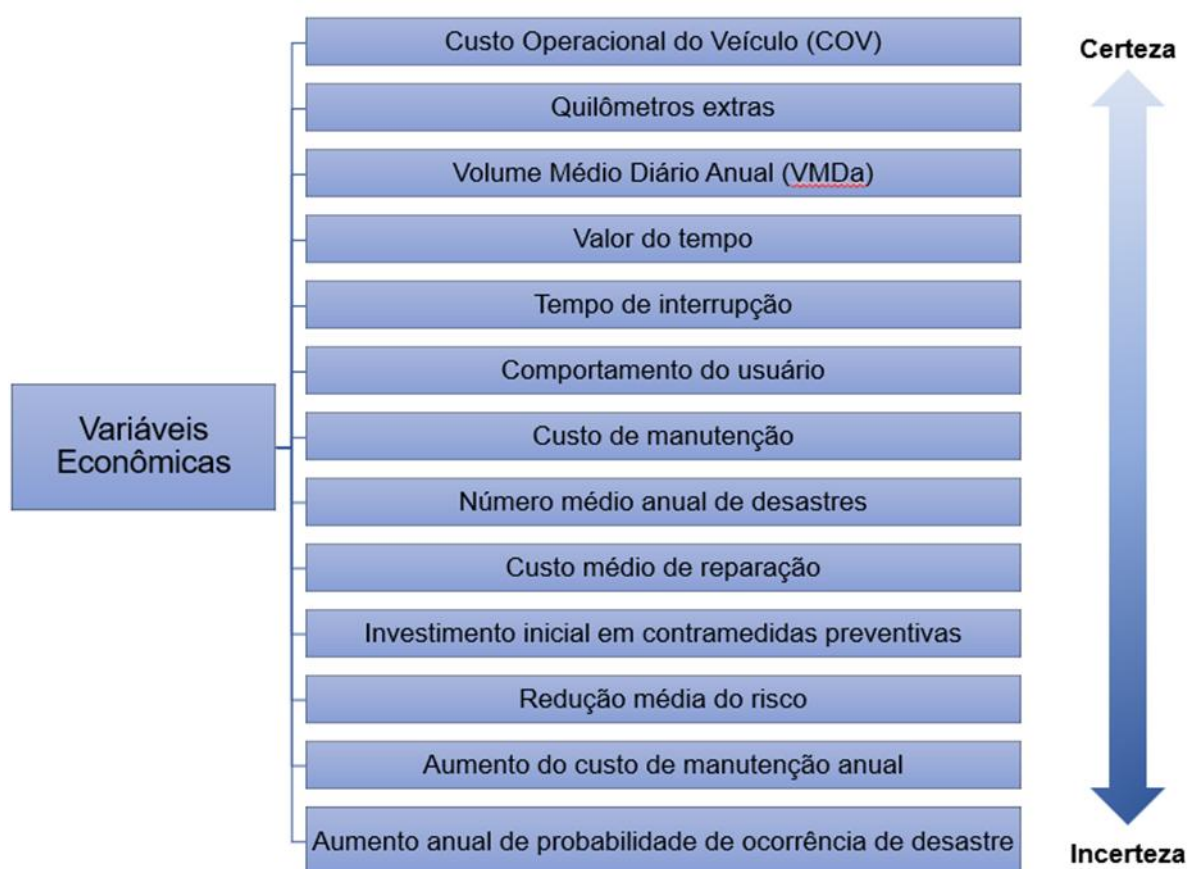


Figura 47 – Variáveis de avaliação econômica classificadas por grau de incerteza

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2019)

3.3.3.1.1 Variáveis Relativamente Fáceis de Estimar

As variáveis consideradas como **certas**, apresentadas abaixo, são aquelas em que é possível calcular um número específico a partir de pesquisa ou análise de dados.

- **Custo Operacional do Veículo (COV)**

O Banco Mundial define o COV como o custo operacional de determinado tipo de veículo em função das condições da rodovia, velocidade de deslocamento, geometria da via, entre outros parâmetros. O COV é dado em R\$/km (reais por quilômetro). O COV poderá ser obtido por meio do *software* HDM-4®. Para isso, deverá ser levantado o percentual de cada classe de veículo correspondente ao Volume Médio Diário anual (VMDa) do trecho em questão, a partir dos dados disponibilizados pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT). Destaca-se que, independentemente do método escolhido para a obtenção desta variável, ele deverá ser o mesmo para todos os trechos analisados.

- **Quilômetros extras**

Os quilômetros extras são definidos como a diferença entre a distância percorrida pelo usuário na rota alternativa e a distância que seria percorrida na rota original, em quilômetros.

- **Volume Médio Diário Anual (VMDa)**

O VMDa representa o volume total de tráfego de veículos na rodovia por ano dividido por 365 dias. Esta variável será obtida por meio do PNCT, podendo ser por meio da contagem ou por meio da modelagem disponibilizada, caso o trecho não apresente pontos de contagem.

- **Valor do tempo**

Em essência, o valor do tempo representa a quantia que o motorista está disposto a pagar para economizar tempo, ou a quantia que aceitaria como compensação do tempo perdido. É dado em R\$/hora (reais por hora). Esta variável pode ser obtida por meio de pesquisa com os usuários da via.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) realizou uma pesquisa sistemática para a estimativa desse valor em âmbito nacional. Na análise, foi aplicado o modelo

mixed logit para estimar a disposição dos usuários a pagar pela redução do tempo de viagem (*willingness to pay* – WTP) e pela redução no risco de morte nas rodovias.

3.3.3.1.2 Variáveis Presumivelmente Incertas

Nesta categoria estão apresentadas as variáveis que são incertas, mas que podem ser estimadas com base na confiabilidade das informações, na experiência das autoridades e por meio de pesquisas. São elas:

- **Tempo de interrupção**

Esta variável está relacionada ao tempo médio (em horas) para restaurar as condições normais de tráfego, após a interrupção. A estimativa é baseada na experiência das unidades descentralizadas do DNIT e está intimamente atrelada ao tipo de desastre que ocasiona a interrupção, podendo ser obtida por meio de registros das ULs.

- **Comportamento dos usuários**

Quando ocorre evento de natureza disruptiva em uma rodovia, como um deslizamento, por exemplo, os usuários consideram duas opções: esperar até a reabertura do tráfego ou seguir por rotas alternativas. Este comportamento será estimado com base na experiência das unidades descentralizadas, podendo também ser estimado por meio de estudos já realizados ou por pesquisas locais. Esta variável, que representa o percentual de usuários que seguem e o percentual de usuários que esperam, deve ser dada em percentual e, posteriormente, multiplicada pelo VMDa.

Entende-se que o comportamento dos usuários está diretamente relacionado ao tempo de interrupção, pois, quanto maior for o tempo de interrupção, maior será a tendência de que os usuários optem por seguir em outra rota.

- **Custo de manutenção**

Refere-se ao custo médio anual despendido pelo órgão responsável para manter a seção da rodovia em análise. Para a estimativa dessa variável é fundamental o conhecimento dos valores de todos os contratos de manutenção. Esta variável pode

ser obtida com o reajustamento do custo de contratos anteriores somados ao contrato atual e dividido pelo tempo de cobertura desses contratos, ou simplesmente por meio do último contrato de manutenção, a critério do DNIT.

3.3.3.1.3 Variáveis Profundamente Incertas

Mesmo que exista um banco de dados robusto dos eventos históricos, há uma grande dificuldade na estimativa destas variáveis devido ao elevado grau de incerteza a elas relacionados. Assim, essas variáveis (apresentadas a seguir) devem ser consideradas como intervalos de possíveis valores que elas podem assumir.

- **Número médio anual de ocorrências**

Essa variável é definida pelo número médio esperado de ocorrências que causam danos à infraestrutura. A estimativa é baseada em dados históricos, podendo ou não estarem combinados com as previsões de alteração dos gatilhos climáticos, mesmo que os eventos futuros sejam incertos. Portanto, é fundamental um banco de dados robusto para a estimativa do intervalo, pois quanto maior o número de dados, melhor será a estimativa. Esta variável será utilizada como um valor aleatório – dentro de um intervalo preestabelecido – na simulação de Monte Carlo, com a finalidade de criação dos cenários econômicos. O critério de escolha do intervalo levará em consideração os valores máximos e mínimos anuais registrados nos últimos 20 anos.

- **Custo médio de reparação**

Assim como a variável descrita previamente (Número médio anual de ocorrências), o custo médio de reparação também é estimado por meio de dados anteriormente catalogados, sendo fundamental o registro e conhecimento dos valores de contratos emergenciais. Esses valores deverão ser corrigidos para o valor presente e o intervalo de variação para a criação dos cenários será estabelecido com base no valor médio desses contratos, no qual o limite inferior do intervalo será a média decrescida em 50% e o limite superior será a média acrescida em 50%.

- **Investimento inicial em contramedidas preventivas**

Os investimentos iniciais em medidas preventivas e contramedidas representam o custo de proteção da infraestrutura contra potenciais ocorrências. A estimativa desses custos deve ser realizada a partir das soluções de engenharia definidas por meio de uma análise ponto a ponto, que deve ser realizada em campo, com subsídio do Mapa de Riscos dos Elementos Expostos. A partir desse levantamento, será possível estimar um valor para o investimento inicial, com base na experiência de obras realizadas pela Superintendência Regional. O limite inferior do intervalo será o valor estimado decrescido em 50% e o limite superior será aquele valor acrescido em 50%.

- **Redução média do risco**

A redução do risco de danos à infraestrutura, após implementação de medidas voltadas à Resiliência Climática, é uma variável de elevado grau de incerteza. Nessa situação de incerteza, baseado nas experiências pessoais de especialistas em transporte e gestão de riscos de desastres, o Banco Mundial (2019) estimou o intervalo de 5 % a 50 % para esta variável, considerando a redução da probabilidade de deslizamentos de terra após as intervenções. Inicialmente, esse mesmo intervalo deverá ser utilizado para ocorrências relacionadas a inundações. No entanto, como as inundações ocorrem em pontos mais específicos e caso o trecho em questão seja analisado apenas por esse tipo de desastre, o intervalo pode ser reduzido e a redução média do risco apresentar valores maiores.

- **Aumento do custo de manutenção anual**

Somente o investimento em intervenções estruturais não é suficiente para reduzir os riscos de danos causados à infraestrutura. Faz-se necessária, também, uma manutenção mais intensiva da faixa de domínio ao longo dos anos. Com a implantação de medidas estruturais e não estruturais, é natural que os custos de manutenção da faixa de domínio aumentem. Esta variável é responsável pelo aumento dos gastos com manutenção necessários para reduzir o risco de desastres

naturais. O intervalo utilizado pelo Banco Mundial (2019) compreende valores entre 10 % e 40 %.

- **Aumento anual da probabilidade de acontecer uma nova ocorrência**

Caso não haja mudança no cenário atual e nenhuma medida seja adotada, os riscos provenientes dos desastres naturais tendem a aumentar com o passar do tempo, pois os ativos se deterioram e o meio está sujeito a modificações, resultantes da ação climática. Esta variável é definida como o aumento anual na probabilidade de acontecer uma nova ocorrência, caso nenhuma contramedida seja feita e a manutenção não seja intensificada.

O intervalo utilizado pelo Banco Mundial (2019) compreende valores entre 0 % e 2,5 % por ano de aumento nas ocorrências de movimentos de massa. Assim como as ocorrências pertinentes a movimentos de massa, as inundações, alagamentos, enxurradas e erosões também estão relacionadas ao mesmo gatilho climático, que é a intensidade pluviométrica. No Planejamento Tático, será utilizado um valor entre 0 % e 3 %, para fins de criação da planilha e simulação.

3.3.3.2 Criação dos cenários econômicos

A criação dos cenários envolve a combinação aleatória dos intervalos definidos para as variáveis de entrada, por meio da aplicação da simulação de Monte Carlo. A combinação entre os *inputs* subsidiará os cálculos das variáveis de saída EAD e EAUL, que por sua vez, serão base de cálculo para a EAL, conforme apresentado anteriormente, na Equação 16. Cada cenário apresentará uma linha de base – que corresponde a uma situação em que nada é realizado em relação ao aumento da resiliência. –, na qual constam os valores de EAL para o horizonte de 20 anos **sem projeto**. Além disso, o mesmo cenário – mesma combinação entre as variáveis de entrada – apresentará valores de EAL **com projeto**, de maneira a possibilitar a comparação para cada cenário criado. Isso permite que seja calculado o benefício do cenário em questão, que é exatamente a diferença entre a EAL **sem projeto** e a EAL **com projeto**, com valores trazidos para o presente, possibilitando o cálculo do VPL.

- **Definição da Linha de Base e cálculo das variáveis de saída**

A linha de base leva em consideração que não será realizada qualquer intervenção para melhoria da resiliência da infraestrutura em relação à ação climática e que a faixa de domínio tenha pouca ou nenhuma manutenção e monitoramento, além daquilo que já é realizado para o pavimento, o que traduz em um risco incremental nas ocorrências.

O cálculo do EAD (custo estimado de reparação ou reconstrução da infraestrutura danificada) considera dados históricos de contratos emergenciais, que, além de fornecerem informações acerca dos custos de reparo da infraestrutura, podem conter dados valiosos do local e período da ocorrência. Para tanto, sugere-se que todos os novos contratos possuam esses dados como requisitos. Devido ao grau de incerteza das variáveis utilizadas no cálculo do EAD (Equação 17), a seguir, em que y representa o ano de cálculo, antes da avaliação econômica, devem ser definidos intervalos de valores para as três variáveis que o compõem, coerentes com os dados históricos.

$$EAD = \left(\begin{matrix} \text{Nº médio de} \\ \text{desastres por ano} \end{matrix} \right) * \left(\begin{matrix} \text{Custo médio} \\ \text{de reparação} \end{matrix} \right) * \left(1 + \frac{\text{Aumento anual da}}{\text{probabilidade de}} \frac{\text{desastres}}{\text{desastres}} \right)^{y-1} \quad (17)$$

Para a realização do cálculo do EAUL (aumento do custo que os usuários da via precisam assumir ao fazer um desvio ou esperar que a interrupção da rodovia seja sanada) é necessário que a análise seja realizada para cada trecho, conhecendo a origem e o destino dos usuários, as possíveis rotas alternativas, o percentual de usuários que optam por esperar e daqueles que optam por seguir em outras rotas, entre outros parâmetros pertinentes aos usuários. A Equação 18, a seguir, apresenta a fórmula para calcular o EAUL de um ano específico.

$$EAUL = \frac{\text{Nº médio de}}{\text{desastres}} \cdot \frac{\text{por ano}}{\text{por ano}} \cdot \left(1 + \frac{\text{Aumento anual da}}{\text{probabilidade de}} \frac{\text{desastres}}{\text{desastres}} \right)^{y-1} \cdot \left[\begin{matrix} \left(\begin{matrix} \text{Usuários que} \\ \text{seguem pela} \\ \text{rota alternativa} \end{matrix} * \text{COV} * \text{Quilômetros extras} \right) \\ + \\ \left(\begin{matrix} \text{Usuários que} \\ \text{esperam} \end{matrix} * \frac{\text{Tempo de}}{\text{interrupção}} * \text{Valor do tempo} \right) \end{matrix} \right] \quad (18)$$

A Equação 17 e a Equação 18, que estão sujeitas às incertezas das variáveis utilizadas, subsidiam o cálculo das perdas anuais totais (EAL), por meio da Equação 16, apresentada anteriormente, e permitem a criação dos cenários anuais em um horizonte de 20 anos. A única variável que difere os cenários **com projeto** dos cenários **sem projeto** é a **Redução média do risco**. Portanto, para a análise baseada em profundas incertezas, o percentual de redução do risco será abatido da variável **Número médio anual de ocorrências**.

Para cada cenário criado, será gerado um Valor Presente Líquido (VPL). Basicamente, o VPL é dado como a diferença entre o custo econômico total no cenário sem projeto e o custo econômico total no cenário com projeto, trazida para o valor atual. Para isso, faz-se necessária a definição de uma taxa de desconto. O Banco Mundial (2019) utilizou uma taxa de desconto de 6 % para a criação de 1.500 cenários, considerando um período de 20 anos. Entretanto, o Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura, elaborado pelo Ministério da Economia, em 2021, recomenda o valor de 8,5 % ao ano para investimentos em infraestrutura no Brasil. A Equação 19, a seguir, apresenta a fórmula de cálculo do VPL, sendo os índices **0** e **i** os cenários sem projeto e com projeto, respectivamente.

$$VPL^i = \left(\sum_{y=1}^{20} \frac{EAL_y^0}{(1+d)^{y-1}} - \sum_{y=1}^{20} \frac{EAL_y^i}{(1+d)^{y-1}} \right) - CI^i \quad (19)$$

Onde:

EAL são as perdas anuais totais;

CI é o custo de capital das intervenções;

d é a taxa de desconto; e

y é o número de anos.

Com o intuito de verificar a quantidade ideal de cenários para a análise de custo-benefício, foram realizadas simulações com a utilização do Excel® e do MATLAB®. Foram realizadas simulações de 1.500, 5.000, 10.000 e 1.000.000 de cenários. As

simulações realizadas no Excel® foram realizadas utilizando-se a planilha elaborada pela equipe (Anexo B), já para aquelas com a utilização do MATLAB®, foi elaborado um código de programação, que permite a geração de quantos cenários se fizerem necessários. O código, a explicação da criação da planilha e um exemplo de aplicação do método estão presentes no Apêndice II deste documento.

Após as simulações realizadas – mais de uma vez para cada quantidade de cenários mencionada anteriormente –, foi constatado que o percentual de VPLs maiores do que 0 e da relação benefício/custo maiores do que 1 (indicadores que serão explicados na sessão 3.3.3.3, a seguir) apresentaram maior variância na simulação de 1.500 cenários e, nas outras simulações, a variância foi pequena e os resultados obtidos foram bastante similares. Sendo assim, concluiu-se que a simulação de 5.000 cenários é suficiente para a análise de custo-benefício.

3.3.3.3 Análise de custo – benefício

A apresentação do VPL em cada cenário é importante ao tomador de decisão, pois permite a visualização do retorno monetário em valores atuais, indicando os investimentos que podem ser mais vantajosos. O VPL maior que zero indica um potencial de viabilidade econômica para um investimento qualquer. Caso o valor resultar negativo, significa que o investimento não é economicamente atrativo, pois os valores atuais dos benefícios auferidos não compensariam aqueles necessários à implantação das medidas de intervenção. Entretanto, somente a análise do VPL não nos permite afirmar que a relação benefício/custo será vantajosa em todos os cenários em que o VPL é maior que zero, pois não é considerado o aumento do custo de manutenção, resultante da implantação de medidas de intervenção.

Sendo assim, lança-se mão de uma nova análise com os valores positivos do VPL, em que são obtidos os resultados da relação entre os benefícios (somatório das diferenças anuais entre os cenários sem projeto e com projeto) e os custos (investimentos iniciais e investimentos adicionais e periódicos em manutenção). O valor da relação benefício/custo maior que 1 (um) indica a viabilidade econômica dos investimentos. De forma contrária, valores entre 0 e 1 indicam que os custos gerados

são maiores que os benefícios econômicos. A seguir, está descrito o passo a passo da obtenção da relação benefício/custo para cada cenário. O Apêndice II apresenta uma aplicação do método, conforme já mencionado.

- Passo 1: EAD sem projeto

Cálculo da EAD sem projeto para cada ano, segundo a Equação 17, levando em consideração o **Número médio anual de ocorrências** gerado randomicamente pela simulação.

- Passo 2: EAUL sem projeto

Cálculo da EAUL sem projeto para cada ano, segundo a Equação 18, levando em consideração o **Número médio anual de ocorrências** gerado randomicamente pela simulação.

- Passo 3: EAD com projeto

Cálculo da EAD com projeto para cada ano, segundo a Equação 17, levando em consideração o **Número médio anual de ocorrências corrigido**, obtido por meio da multiplicação entre a Redução média do Risco gerada randomicamente e o **Número médio anual de ocorrências**.

- Passo 4: EAUL com projeto

Cálculo da EAUL com projeto para cada ano, segundo a Equação 18, levando em consideração o **Número médio anual de ocorrências corrigido**, obtido por meio da multiplicação entre a **Redução média do Risco** gerada randomicamente e o **Número médio anual de ocorrências**.

- Passo 5: EAL sem projeto

Cálculo da EAL (Equação 16) sem projeto para cada ano, já com a utilização da taxa de desconto trazendo para o valor presente, conforme Equação 20, a seguir.

$$EAL \text{ sem projeto} = \frac{EAL_y^0}{(1+d)^{y-1}} \quad (20)$$

- Passo 6: EAL com projeto

Cálculo da EAL (Equação 16) com projeto para cada ano, já com a utilização da taxa de desconto trazendo para o valor presente, conforme Equação 21.

$$EAL \text{ com projeto} = \frac{EAL_y^i}{(1+d)^{y-1}} \quad (21)$$

- Passo 7: Benefícios

Cálculo da diferença entre a EAL sem projeto e a EAL com projeto para cada ano. O somatório dessas diferenças anuais representa os benefícios do cenário em questão. O VPL será calculado por meio desse somatório (Equação 19), com a subtração do valor de investimento inicial, gerado randomicamente.

- Passo 8: Custo total

Cálculo dos custos totais se dará pela soma entre o aumento nos custos de manutenção gerados pela implantação de medidas de Resiliência Climática e o valor do investimento inicial, conforme apresentado na Equação 22, a seguir.

$$Custo = \left(Investimento_{inicial} \right) + \left[\left(\frac{Custo \text{ de } manutenção}{1 + \frac{Aumento \text{ anual do } custo \text{ de } manutenção}{manutenção}} \right) * 20 \right] - \left(\frac{Custo \text{ de } manutenção}{manutenção} * 20 \right) \quad (22)$$

- Passo 9: Relação benefício/custo

A relação benefício/custo se dará por meio da razão entre os benefícios calculados no passo 7 e o custo total calculado no passo 8, representando o custo-benefício do cenário em questão.

3.3.3.4 Resultados

Com o resultado da simulação de 5.000 cenários, para cada trecho analisado, será obtida a quantidade de cenários com a relação benefício/custo maior do que 1.

Entretanto, devido a combinações muito favoráveis à implementação de medidas de Resiliência Climática, alguns cenários apresentarão relações de benefício/custo muito discrepantes em relação às demais, assim, esses cenários deverão ser descartados da análise.

Para isso, deverá ser realizada uma análise estatística dos resultados, por meio da criação de um *boxplot* com todos os cenários e, dessa forma, deverão ser descartados os *outliers*, obtendo o percentual representativo dos cenários com relação benefício/custo maior do que 1. A esse percentual será atribuído o nome de Cenários Viáveis.

Após a avaliação econômica e, definido o percentual de cenários viáveis, ele deverá ser multiplicado pelo Índice de Risco (IR), obtido na etapa de análise de risco, para fins de comparação e priorização de investimentos, pois, não necessariamente o trecho que apresentar maior viabilidade econômica será aquele que possui maior risco ao desastre natural analisado. Dessa forma, os riscos de ocorrências locais e a viabilidade econômica da implantação de medidas de resiliência serão considerados para a priorização de investimentos.

O Apêndice III deste documento apresenta um conteúdo mínimo para a elaboração de um Relatório – Estudo Preliminar de Projetos de Resiliência Climática, que deverá ser apresentado ao DNIT, em caso de demandas internas ou externas, para a habilitação e possível prosseguimento à fase de Planejamento Operacional. Neste relatório, o solicitante deverá fornecer ao DNIT as informações de risco e estimativa de custos das medidas propostas, bem como parte das informações que servirão como dados de entrada para a avaliação econômica, a ser realizada pela Autarquia.

3.4 PLANEJAMENTO OPERACIONAL (PLO)

O Planejamento Operacional representa a etapa de implementação prática das estratégias definidas no Planejamento Estratégico (PLE) e Planejamento Tático (PLT). Ele avança no detalhamento e operacionalização das ações de resposta e recuperação da infraestrutura rodoviária diante dos riscos climáticos, consolidando

assim uma abordagem completa para a gestão da Resiliência Climática no âmbito do DNIT.

Este planejamento orienta a priorização técnica e econômica dos trechos levados adiante pelo Planejamento Tático, por meio da atribuição de índices de prioridade que facilitam a hierarquização dos investimentos e intervenções. Com foco em curto e médio prazo, o PLO estrutura os processos de execução dos projetos, garantindo a implantação eficaz das medidas de adaptação. Esta etapa reforça a capacidade do DNIT de proteger a malha rodoviária federal e assegurar sua funcionalidade mesmo diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

3.4.1 Ordenamento técnico dos trechos habilitados

Após o levantamento dos trechos prioritários quanto à adaptação à Resiliência Climática, aqueles categorizados como **extremamente altos** deverão, a princípio, ser estudados por meio da Metodologia proposta no Planejamento Tático. Essa metodologia busca avaliar cada trecho individualmente, tanto em relação ao grau de risco, representado pelo Índice de Risco (IR), quanto em relação à viabilidade econômica, representada pelo percentual de cenários viáveis, para implantação das medidas de resiliência.

Em posse dessas informações, é possível realizar a listagem ordenada dos trechos estudados. Os riscos de desastres locais e a viabilidade econômica da implantação de medidas de resiliência deverão ser considerados como suporte à decisão para a priorização de investimentos. Dessa forma, após a obtenção do IR, ele deverá ser multiplicado pelo percentual de cenários viáveis, obtido por meio da avaliação econômica. Assim, deve ser calculado o Índice de Prioridade (IP) para cada trecho estudado, conforme a Equação 23, abaixo.

$$IP = \frac{IR * \% \text{ de cenários viáveis}}{100} \quad (23)$$

A seguir, é apresentado, como exemplo, um ordenamento de três trechos estudados por meio da metodologia proposta no Planejamento Tático e aqui ranqueados pelo

Índice de Prioridade. Dois deles foram classificados como **extremamente altos** e um como **muito alto** por meio da análise multicritério, realizada no Planejamento Estratégico.

- **BR – 356/MG**

O trecho entre os quilômetros 40 e 60 da BR-356, em Minas Gerais, foi escolhido para ser o Projeto-piloto para adaptação à Resiliência Climática. Esse trecho possui alta recorrência de registros de ocorrências do tipo movimento de massa e foi classificado como **extremamente alto** (quilômetro 43,0 a 50,6) e como **muito alto** (quilômetro 50,6 a 58,3) pela metodologia proposta no Planejamento Estratégico. A Figura 48, a seguir, apresenta o mapa de risco a movimentos de massa definido para o trecho, e o Índice de Risco (IR) correspondente, ambos definidos no Planejamento Tático.

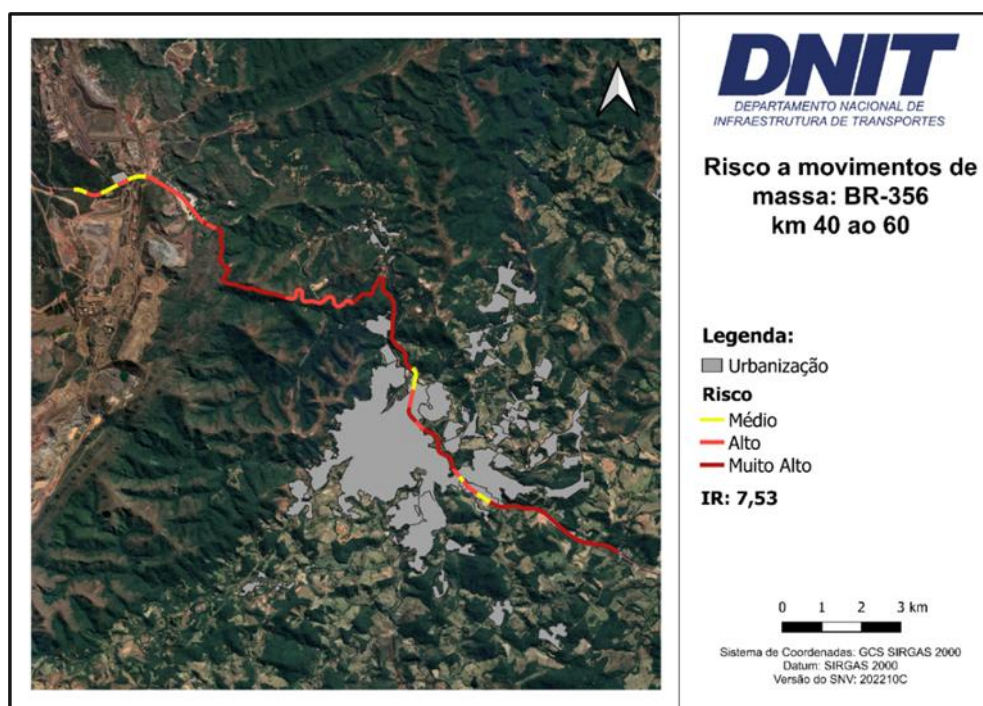


Figura 48 – Mapa de risco ao movimento de massa: BR-356/MG

O trecho em questão não apresenta suscetibilidade a inundações e, por isso, não possui um mapa de risco para esse tipo de evento.

A seguir, na Figura 49, está apresentado o *boxplot* da simulação realizada na avaliação econômica para o trecho em questão, o qual apresentou 89,8 % de cenários viáveis.

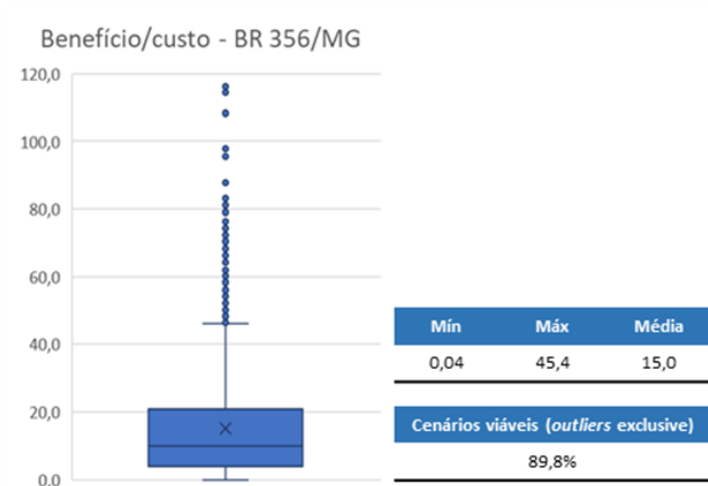


Figura 49 – *Boxplot* benefício/custo: BR-356/MG

- **BR – 259/ES**

A BR-259 apresentou um trecho classificado com prioridade **extremamente alta**, no estado do Espírito Santo, localizado entre o quilômetro 74,9 e o quilômetro 83,1. Esse trecho foi escolhido para ser estudado por meio da Metodologia adotada no Planejamento Tático.

Foi observada a recorrência de dois tipos de ocorrências: movimento de massa e inundações. Assim, foi necessário elaborar os mapas de risco para ambos, sendo que o IR deve ser calculado separadamente para cada tipo de ocorrência e, posteriormente, somado. A Figura 50 e a Figura 51, a seguir, apresentam os mapas de risco para movimentos de massa e inundação, respectivamente. O IR para movimento de massa foi de 3,36 e para inundação de 2,30, totalizando um IR de 5,66 para o trecho em questão.

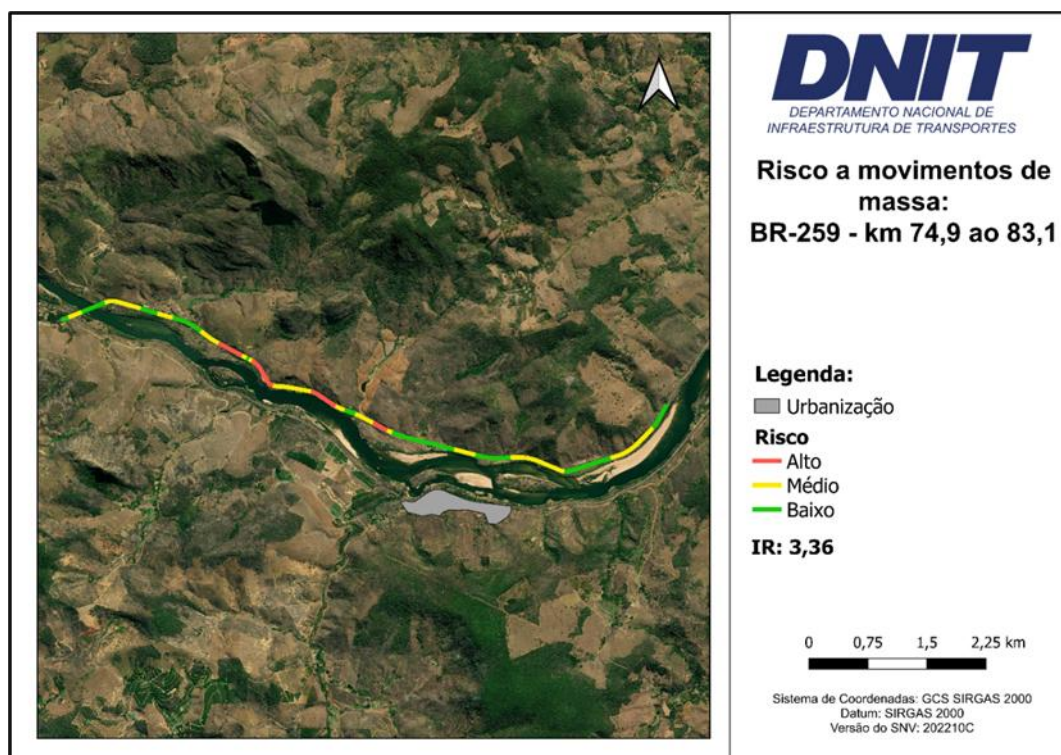


Figura 50 – Mapa de risco a movimentos de massa: BR-259/ES

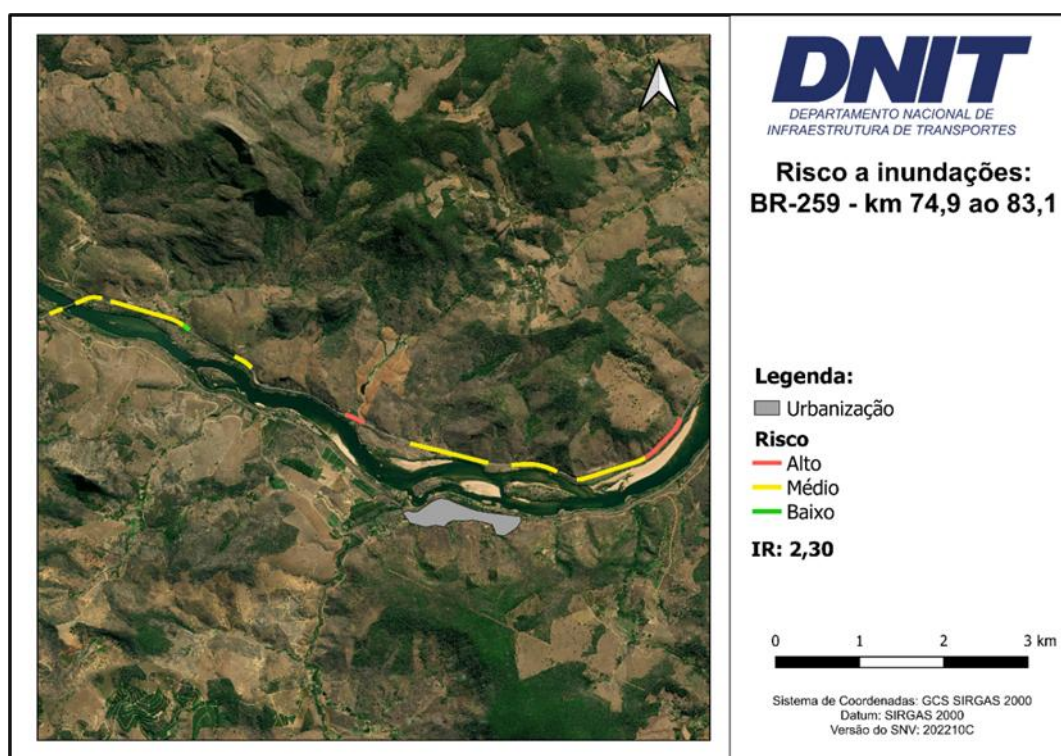


Figura 51 – Mapa de risco a inundações: BR-259/ES

A Figura 52, a seguir, mostra os resultados das relações benefício/custo (RBC) da simulação, realizada com 5000 cenários, para o trecho da BR-259/ES, que apresentou 88,6 % dos cenários viáveis.

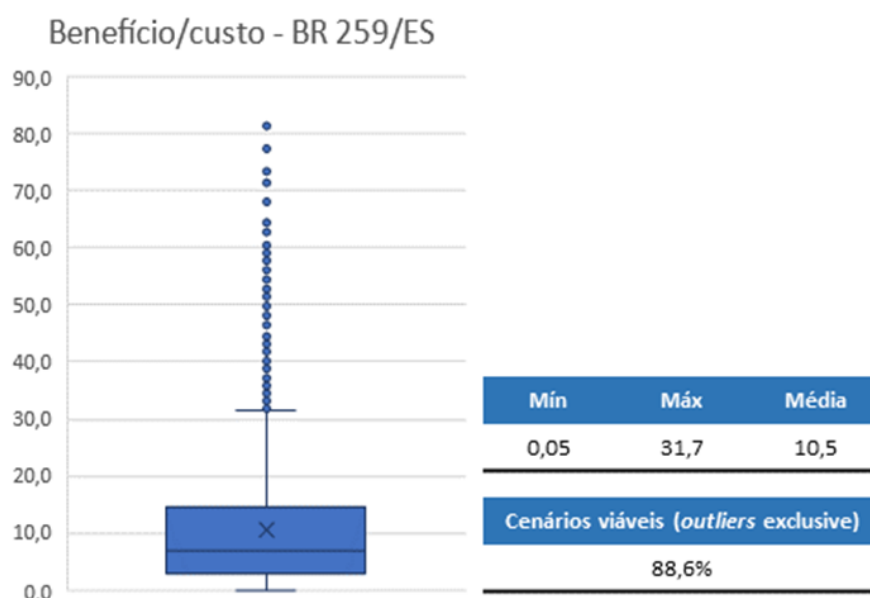


Figura 52 – *Boxplot* benefício/custo: BR-259/ES

- **BR – 495/RJ**

O trecho da BR-495/RJ, localizado entre os quilômetros 20 e 30, foi categorizado com prioridade **muito alta** em relação à priorização quanto à adaptação para melhoria da Resiliência Climática. Destaca-se que essa rodovia apresenta pontos de alagamento, entretanto, não para o trecho em estudo.

Apesar de se encontrar em uma classe de menor prioridade, esse trecho apresentou um Índice de Risco relevante e superior àqueles supracitados. Tal fato é explicado devido à elevada taxa de recorrência do valor-limite de precipitação, utilizada como variável de entrada para a elaboração da matriz de risco.

Ressalta-se que o método utilizado para a determinação do valor-limite de precipitação foi uma adaptação daquele preconizado no Planejamento Tático e utilizado também pelo Banco Mundial (2019). Essa adaptação foi necessária, devido à falta de dados horários de precipitação e registro exato dos dias em que ocorreram

os eventos de movimento de massa. A Figura 53, a seguir, apresenta o mapa de risco e o IR correspondente ao trecho.

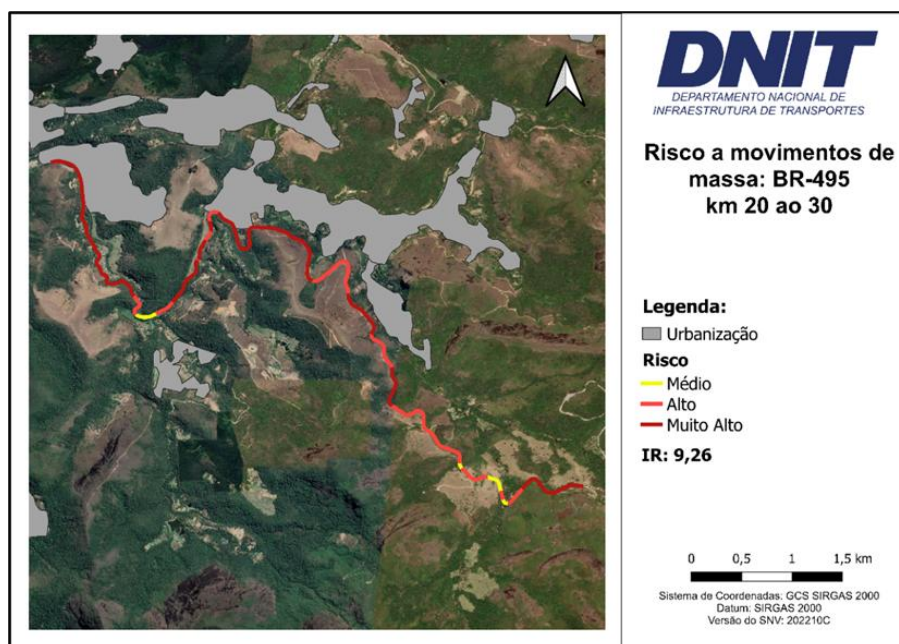


Figura 53 – Mapa de risco a movimentos de massa: BR-495/RJ

A Figura 54, a seguir, mostra os resultados das relações benefício/custo (RBC) da simulação, realizada com 5000 cenários, para o trecho da BR-495/RJ, que apresentou 83,0 % dos cenários viáveis.

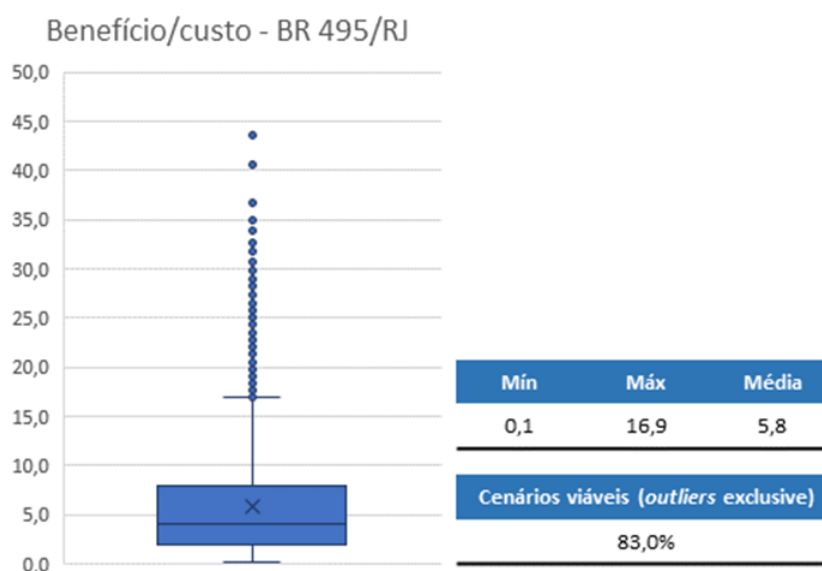


Figura 54 – Boxplot benefício/custo: BR-495/RJ

Destaca-se que o trecho em questão já apresenta algumas medidas de Resiliência Climática implantadas, como cortinas atirantadas, grama armada e telas grampeadas. Dessa forma, os valores correspondentes a esses segmentos foram reduzidos em 50% na matriz de risco e, ainda assim, o trecho apresentou IR mais elevado que os outros dois previamente mencionados.

A Tabela 37, a seguir, apresenta um resumo dos resultados mostrados anteriormente e a comparação entre os valores de IP (Índice de Prioridade) dos três trechos, bem como a ordem de prioridade correspondente.

Tabela 37 – Listagem e ordenamento dos trechos

Trecho	IR	% de cenários viáveis	IP	Ordem de prioridade
BR-356/MG	7,53	89,8	6,76	2º
BR-259/ES	5,66	88,6	5,01	3º
BR-495/RJ	9,26	83,0	7,69	1º

Apesar do trecho referente à BR-495/RJ ter sido categorizado com prioridade **muito alta** no Planejamento Estratégico e os outros dois estarem na categoria **extremamente alta**, e, além disso, corresponder àquele com menor percentual de cenários viáveis, o elevado IR apresentado foi preponderante para ordená-lo como o primeiro a ser priorizado.

Destaca-se que o ordenamento apresentado serve como exemplo de aplicação do método e que, após a consolidação das metodologias apresentadas nos Planejamentos Estratégico, Tático e Operacional com a implantação da Resiliência Climática no âmbito do DNIT, deverão ser realizados os estudos do Planejamento Tático para todos os trechos que apresentarem prioridade de adaptação no Planejamento Estratégico.

3.4.2 Medidas estruturais e não-estruturais

Após a priorização dos trechos e verificada a viabilidade técnica e econômica, deve-se aplicar uma estratégia operacional para garantir a eficácia das medidas de

Resiliência Climática. Este **projeto** abrange o conjunto de medidas de intervenção propostas para serem implantadas com o objetivo de aumentar a Resiliência Climática, reduzindo a possibilidade de ocorrência de desastres nos pontos levantados ou mitigando os danos causados por eventos disruptivos, caso ocorram.

Dentro das proposições de intervenções de resiliência, existem dois tipos de medidas que podem ser tomadas: de ordem estrutural e de ordem não estrutural. As primeiras são todas aquelas que necessitam da realização de obras de infraestrutura, melhoramento de infraestrutura já existente e/ou manutenção corretiva de rodovias e seus ativos.

Já as medidas não estruturais são aquelas que não necessitam de realização de obras, tais como: monitoramento para detecção precoce de anomalias, registro de emergências, sinalização de trânsito para conscientização de riscos, desenvolvimento de sistemas de informação de emergência e plano de contingência e resposta a eventos disruptivos. A seguir, na Figura 55, estão apresentadas as medidas supracitadas.

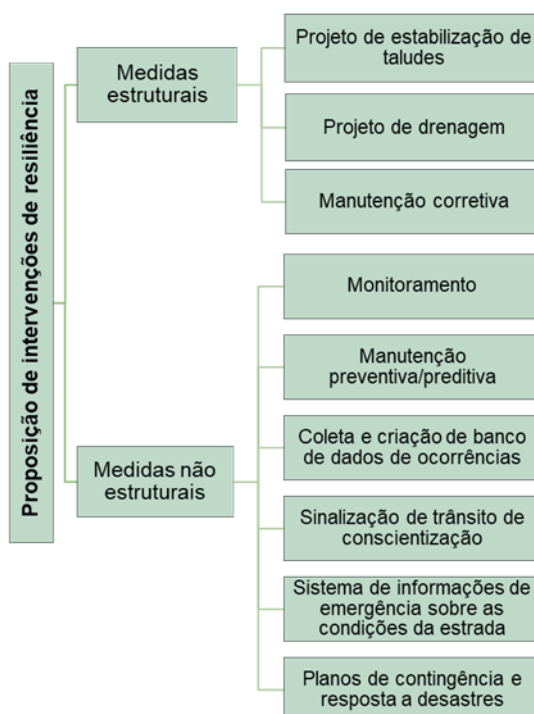


Figura 55 – Tipos de proposição de intervenção de resiliência

3.4.3 Estruturação de monitoramento e resposta

Além das informações obtidas por meio dos planejamentos Estratégico e Tático, ao longo do desenvolvimento do Planejamento Operacional, novas informações serão geradas e deverão ser monitoradas, para controle do andamento da Resiliência Climática, como por exemplo *status* dos projetos de engenharia, das licitações e das obras executadas.

No **Status do Projeto de Engenharia** deverá ser possível visualizar em que situação se encontram os projetos de Resiliência Climática, podendo ser classificados em **a fazer, em andamento** ou **concluídos**.

No eixo **Processos de Licitação**, é necessário incluir o status referente ao processo em questão. Além dos status já utilizados pela CGMRR (**em andamento, concluído e contratado**), será adicionado o *status a licitar*. Esse *status* será atribuído aos trechos habilitados nos quais as aprovações de projetos de engenharia tiverem sido concedidas, mas que ainda não tenham iniciado os processos de licitação. Nesse mesmo eixo, também devem ser fornecidas informações sobre o licenciamento ambiental, especificando a etapa do licenciamento em que cada trecho se encontra, como **licença prévia, licença de instalação e licença de operação**.

Por fim, em **obras executadas**, devem ser apresentados os trechos mapeados pela gestão da Resiliência Climática que tiverem passado por implantação de projetos. Ao clicar nas informações do trecho, uma nova janela se abre, onde são apresentadas as obras executadas. Devem constar também as datas de finalização dessas obras.

Vale salientar que para todos os eixos de análise no painel gerencial, será possível extrair as informações por meio de relatórios gerados pelo sistema. A Figura 56 apresenta um exemplo de Painel Gerencial da Resiliência Climática.

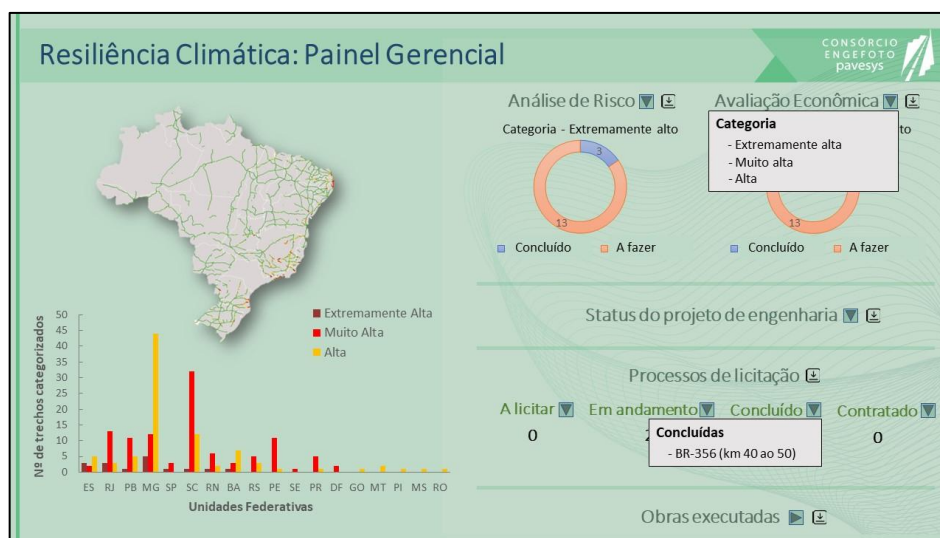


Figura 56 – Exemplo de painel gerencial da Resiliência Climática

3.4.4 Elaboração de Planos de Ações Emergenciais

O Plano de Ações Emergenciais deve ser entendido e elaborado como um plano de resposta a eventos disruptivos. Pode também ser chamado de Plano de Contingência. De acordo com Castro (1999), contingência é a situação de incerteza quanto a um determinado evento, que pode se concretizar ou não, durante um período determinado. Nesse contexto, este documento apresentará diretrizes básicas para a elaboração de planos que guiem as ações do DNIT, em conjunto com outros órgãos, no caso de ocorrência de desastres climáticos em rodovias sob sua administração.

A Resiliência Climática pode ser dividida em quatro etapas: prevenção, preparação, resposta e recuperação. O foco está nas duas últimas (o pós-desastre) e as diretrizes definidas baseiam-se em três documentos principais: o Livro Base do Módulo de Formação - Elaboração de Plano de Contingência, elaborado pelo Ministério da Integração Nacional, em 2017; o Guia de Instruções e Modelo de Plano de Contingência, elaborado pela Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil de Minas Gerais, em 2019 (Defesa Civil de Minas Gerais, 2019); e o Guia de Contratações Emergenciais do DNIT, regulamentado pela resolução nº 20, de 16 de dezembro de 2021.

Em 2012, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) recomendou às concessionárias de rodovias federais uma orientação para que elas elaborassem um Plano de Contingência para chuvas, a ser implementado na área de abrangência das Rodovias Federais Concessionadas. Esse plano deveria contemplar alguns itens para a operacionalização e tomada de decisões nos casos de eventos disruptivos. Levando em consideração esses itens e os documentos mencionados anteriormente com a realização de adaptações para desastres em rodovias, foi estabelecido que o Plano de Ação Emergencial do DNIT deverá conter, no mínimo:

- Trajetos alternativos para interdição de pista, com a utilização de painéis de mensagens variáveis e sinalização provisória;
- Alocação e prontidão de equipamentos próximos aos pontos críticos;
- Plano de comunicação com a mídia;
- Plano de comunicação com os usuários;
- Plano de ação conjunta (DNIT, Corpo de Bombeiros Militar, Defesa Civil e Polícia Rodoviária Federal);
- Plano de comunicação com os institutos meteorológicos para emissão de sinal de alerta às Superintendências Regionais;
- Plano de comunicação com os governos estaduais e municipais.

Os itens destacados acima serão parte integrante da terceira etapa – Medidas de Enfrentamento – da elaboração do Plano de Ações Emergenciais.

Posteriormente à realização da identificação dos trechos e priorização quanto às adaptações de Resiliência Climática a serem realizadas no Planejamento Estratégico, fica estabelecida uma ordem para a análise do risco e da viabilidade econômica da implantação de medidas, a serem realizadas por meio da metodologia proposta no Planejamento Tático. Assim, primeiramente, devem ser estudados os trechos classificados como **Extremamente Alto**, posteriormente, aqueles classificados como **Muito Alto** e, assim, sucessivamente.

Identificada a necessidade de intervenção, deverá ser concretizado um plano de contingência para possíveis desastres e, dessa forma, possibilitar que as unidades descentralizadas do DNIT estejam mais preparadas para as respostas a esses eventos. Para isso, foi elaborado um passo a passo para a confecção do Plano de Ações Emergenciais, que deverá ser realizado para cada trecho estudado no Planejamento Tático – podendo ser elaborado para outros trechos também. Para facilitar a sua elaboração, o Plano de Ações Emergenciais foi dividido em três partes: Conhecimentos Gerais do Trecho, Construção de Cenários e Medidas de Enfrentamento. Os planos deverão ser elaborados pela Equipe de Gestão da Resiliência Climática, em conjunto com as Superintendências Regionais e Unidades Locais.

3.4.5 Integração com sistemas de alerta e comunicação

Ter um plano de comunicação bem estruturado é fundamental para a manutenção da segurança dos usuários em caso de desastres em rodovias. Assim sendo, com base na hipótese acidental levantada, deverá ser elaborado um plano de comunicação com os usuários para garantir a eficácia das ações de resposta e recuperação, além da segurança das pessoas.

No caso de deslizamentos de grandes dimensões, por exemplo, deverá ser realizado o bloqueio imediato da rodovia para verificação da estabilidade dos taludes. Deverá ser realizada a sinalização adequada, de acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do Contran, Volume VII – Sinalização Temporária (BRASIL, 2022), além da comunicação com os usuários, por meio dos canais de mídia previamente levantados, sendo comunicadas também as rotas alternativas. A utilização de painel de mensagens variáveis (PMV) ou painel eletrônico móvel com as informações de bloqueio e desvio é de suma importância para a eficácia da sinalização.

Deverá ser criado um roteiro de comunicação. Nesse roteiro, serão incluídas as informações que serão comunicadas, tais como: a localização do desastre, o tipo de

desastre, a sua dimensão e as rotas alternativas que poderão ser tomadas, sempre comunicando a rota alternativa para veículos pesados.

Além dos canais de rádio e televisão, é fundamental estabelecer uma comunicação direta com os usuários. A Defesa Civil já possui um sistema de alertas que envia mensagens diretamente, pelo aplicativo *WhatsApp*, para os usuários cadastrados. Um acordo de cooperação com o DNIT poderia ajudar na divulgação para o cadastramento de mais pessoas. Além disso, a Defesa Civil poderia auxiliar o DNIT na divulgação de eventos disruptivos para aqueles usuários já cadastrados. Ainda, o *Twitter* da PRF também informa as situações das rodovias em tempo real e já é uma importante ferramenta difundida aos usuários. Assim, é de grande relevância uma cooperação do DNIT com esses órgãos.

Em relação ao Plano de comunicação com a mídia, deverão ser registrados os principais responsáveis pela mídia local e regional (principais rádios, jornais e divulgação por mídias sociais). Neste plano, deverá estar claro como se dará o fluxo das informações. A redundância de informações é bem-vinda.

Primeiramente, deverá ser criada uma lista de contatos de imprensa e deverão ser definidos os protocolos de comunicação, deliberando quais serão os meios de comunicação para transmitir a mensagem e qual será a mensagem transmitida. É importante padronizar a mensagem que será veiculada. Ressalta-se a importância de estabelecer mais de um meio de comunicação.

4 INTEGRAÇÃO METODOLÓGICA

4.1 ARTICULAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE PLANEJAMENTO: PLE → PLT → PLO

Os Planejamentos Estratégico (PLE), Tático (PLT), Operacional (PLO) e Especificação Técnica do Sistema (ETS) estão integrados e funcionam de forma articulada para garantir o fortalecimento da Resiliência Climática da infraestrutura rodoviária federal no DNIT. O PLE abrange a identificação, avaliação e priorização dos trechos vulneráveis, estabelecendo as diretrizes e bases para as fases subsequentes. Já o PLT detalha e realiza uma avaliação aprofundada para trechos previamente priorizados no PLE, elaborando análises de riscos, propostas técnicas e avaliações econômicas preliminares. O PLO opera na fase de elaboração de planos que guiam a execução dos projetos voltados à Resiliência Climática, consolidando as ações de resposta e recuperação da infraestrutura, priorizando e hierarquizando investimentos de forma técnica, estruturando o monitoramento contínuo das medidas e elaborando planos de ação emergenciais para resposta rápida e coordenada em caso de desastres naturais.

Por fim, a Especificação Técnica do Sistema (ETS) atua como suporte à implementação do Sistema de Gestão Especializado em Resiliência Climática (SGR), reunindo definições e conceitos relevantes para um sistema, tais como informação, classificação e gestão de dados e sistemas de banco de dados.

Dessa forma, os planejamentos configuram etapas sequenciais e interdependentes dentro de um fluxo contínuo de gestão para a Resiliência Climática da infraestrutura rodoviária federal. Cada nível de planejamento serve de insumo e orientação para o seguinte, de modo que a conclusão de uma etapa fundamenta e direciona as ações da próxima. Dessa forma, os planejamentos estruturam um ciclo dinâmico e permanente de análise, decisão e execução, que assegura maior sustentabilidade, segurança e eficiência à malha rodoviária federal diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

4.2 FLUXOGRAMA DE DECISÃO E PRIORIZAÇÃO

O fluxograma representado na Figura 57, a seguir, apresenta de forma integrada as etapas do planejamento da Resiliência Climática no DNIT, dividindo-as em três grandes níveis: estratégico, tático e operacional, cada um com atividades e responsáveis bem definidos.

No Planejamento Estratégico, analisa-se toda a malha rodoviária sob administração do DNIT, utilizando a análise multicritério (AHP) para classificar e priorizar os trechos a serem estudados. São coletados dados georreferenciados sobre ocorrências, emergências e indicadores técnicos como VMDa e ICS, sempre registrando as informações de forma padronizada. Os trechos são então organizados conforme critérios objetivos e espacializados em mapas através de sistemas SIG.

No Planejamento Tático, os trechos classificados com prioridade **Extremamente alta** seguem para o detalhamento, embora qualquer outro trecho também possa ser estudado em caso de necessidade. A análise inclui elaboração de mapas de histórico, suscetibilidade, vulnerabilidade, elementos expostos, além de setorização geográfica e cálculo da recorrência de eventos críticos de chuva. Com estes dados, compõe-se uma matriz de risco específica para cada tipo de desastre, classificando os níveis de risco dos trechos e identificando onde estão as maiores vulnerabilidades. Ao final, são propostas medidas estruturais e não estruturais, avaliando-se também a viabilidade econômica das intervenções com métodos de análise sob incerteza.

Por fim, entra em ação o Planejamento Operacional, que prioriza investimentos, acompanha as contratações e monitora a execução das obras e planos emergenciais. O monitoramento é centralizado em um sistema que permite a gestão e o acompanhamento dos projetos, licitações e intervenções, além de garantir a pronta resposta em casos de desastres, através de planos que detalham ações e articulação com demais órgãos.

Essa estrutura assegura que toda a cadeia de Resiliência Climática tenha processos claros e responsáveis definidos do início ao fim.



Figura 57 – Divisão de competências para gestão da Resiliência Climática

Fonte: Consórcio Engefoto-Pavesys (2023b)

5 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

5.1 BARREIRAS TÉCNICAS, INSTITUCIONAIS E OPERACIONAIS

A busca por Resiliência Climática na infraestrutura rodoviária federal representa um compromisso crescente diante dos desafios provocados pelas mudanças ambientais extremas. A implementação de iniciativas voltadas à adaptação e à gestão de riscos climáticos envolve superar importantes barreiras técnicas, institucionais e operacionais, que exigem padronização de metodologias, integração eficiente de dados e comunicação entre setores, além do uso de ferramentas inovadoras para monitoramento e resposta. Ao mesmo tempo, essas dificuldades evidenciam oportunidades para aprimorar processos, otimizar recursos e fortalecer a capacidade de resposta dos projetos, tornando a malha rodoviária mais segura, eficiente e preparada para enfrentar cenários futuros de instabilidade climática.

Uma das principais barreiras técnicas enfrentadas na promoção da Resiliência Climática da infraestrutura rodoviária federal é a falta de registros centralizados e acessíveis sobre ocorrências como movimentos de massa, alagamentos e erosões, o que dificulta o levantamento histórico e a definição de critérios de risco nos diferentes trechos das rodovias. Soma-se a isso a escassez de dados de Modelos Digitais de Terreno (MDT) com escala apropriada, essenciais para o mapeamento detalhado das suscetibilidades a desastres naturais em várias regiões do país. Além disso, a padronização de metodologias de mapeamento de risco ainda exige adaptações e validações constantes, especialmente quando confrontadas à diversidade das condições ambientais brasileiras.

No âmbito institucional, o DNIT atualmente ainda não dispõe de um Sistema de Gestão Especializado em Resiliência Climática (SGR) consolidado que possua uma base de dados estruturada que permita armazenar informações essenciais para subsidiar a execução efetiva de projetos relacionados à Resiliência Climática na malha rodoviária federal. A ausência de um repositório centralizado dificulta a integração e o compartilhamento de dados técnicos, ocorrências e análises críticas, limitando a capacidade do órgão de realizar avaliações consistentes e planejar ações precisas.

Em relação às barreiras operacionais, observa-se que a temática Resiliência Climática atualmente não compõe o Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR). Dessa forma, uma estratégia viável seria a inclusão deste tema no PNMR ou a sua integração com os projetos já existentes. Isso permitiria que as empresas responsáveis pelos contratos de manutenção e restauração das rodovias federais incorporassem, além das exigências convencionais, resoluções específicas voltadas para a Resiliência Climática. Dessa forma, as ações de adaptação climática poderiam ser integradas às rotinas operacionais, garantindo que medidas de prevenção, mitigação e resposta sejam parte contínua dos contratos e programas de manutenção.

Outro desafio no campo operacional é a alocação de equipe voltada à área de Resiliência Climática, visto que o dimensionamento e a capacitação de uma equipe especializada são necessários para acompanhar avanços tecnológicos, análise de risco, operação de sistemas e execução de soluções inovadoras em campo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação da Resiliência Climática nos processos de planejamento e gestão da infraestrutura rodoviária do DNIT representa uma evolução significativa na capacidade institucional de responder aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e eventos extremos. Destaca-se que o sucesso da Resiliência Climática depende da integração dos três níveis de planejamento, tendo como premissa a utilização de dados confiáveis, métodos padronizados de coleta e análise, e sistemas interoperáveis para compartilhamento de informações entre áreas técnicas e operacionais.

A definição clara dos indicadores e critérios, bem como o refinamento das matrizes de julgamento, permitiram maior precisão e operacionalidade na priorização dos trechos e na proposição de medidas mitigadoras.

A equipe a ser responsável pela gestão da Resiliência Climática deve seguir uma abordagem síncrona e integrada para garantir o andamento eficiente das atividades. Isso inclui realizar o diagnóstico da Resiliência Climática idealizada no DNIT, propor sugestões e aprimoramentos, coletar dados pertinentes, realizar análises estratégicas, táticas e operacionais, além de monitorar o processo e priorizar investimentos.

A criação de bases de dados unificadas e interoperáveis pode subsidiar decisões mais precisas, enquanto a inclusão da Resiliência Climática no PNMR e em contratos de manutenção potencializa a transformação da adaptação em prática rotineira e contínua. Além disso, a capacitação de equipes técnicas, acompanhada da adoção de tecnologias de sensoriamento e monitoramento, favorece a modernização dos processos e a resposta rápida a eventos extremos.

Com os aprendizados da execução do projeto-piloto e os ajustes processuais realizados, é possível afirmar que a estrutura proposta para os planejamentos PLO, PLE, PLT e a ETS está alinhada à promoção da resiliência das rodovias federais, à racionalização dos investimentos e ao aprimoramento contínuo dos processos

internos do DNIT. Ressalta-se a importância de manter o ciclo de revisões, treinamentos e integração dos dados, garantindo que as metodologias se mantenham atualizadas frente às demandas institucionais e aos cenários de risco em constante transformação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao **Consórcio ENGEFOTO/PAVESYS**, CNPJ/MF sob nº 43.554.136/0001-56, contratado por meio do **Contrato nº PP-506/2021**, pelo trabalho desenvolvido no âmbito da **Ação 4 do Produto 1 – Assessoria na formulação de projeto para implantação da Resiliência Climática no DNIT**, processo Sei 50600.025144/2021-11.

Esse esforço resultou na elaboração de **quatro documentos estratégicos fundamentais**, que compõem a base para a implementação da resiliência climática na Autarquia:

- **Planejamento Estratégico;**
- **Planejamento Tático;**
- **Planejamento Operacional; e**
- **Especificação Técnica** de um sistema de gestão especializado em resiliência climática no DNIT.

Esses produtos representam um marco para a modernização da gestão e para o fortalecimento da capacidade institucional diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Alinhados às melhores práticas internacionais e às diretrizes de sustentabilidade, eles constituem a base para o desenvolvimento do presente Relatório de Pesquisa.

APÊNDICE I – ANÁLISE DE RISCO

A seguir, está apresentada a aplicação da Metodologia de Análise de Risco Proposta para o trecho da BR-259, do quilômetro 74,9 ao 83,1.

1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Realizou-se levantamento de dados do trecho e da área que o engloba, incluindo o inventário de ocorrências, nomeados de antecedentes do local de desastre, as características geológicas, geotécnicas, hidrológicas, ortoimagens e as rodovias próximas ao local de estudo.

1.1 ANTECEDENTES DO LOCAL

O início desta atividade se deu com a coleta de informações dos antecedentes de eventos para o trecho da BR-259/ES, por meio das imagens disponibilizadas no *Google Earth* (Figura AP 1), em abril de 2019, e pelos contratos de obras emergenciais disponíveis no SIAC (agosto de 2011 a junho de 2022), referentes a ocorrências de movimentos de massa e inundações. A Tabela AP 1, a seguir, apresenta os dados coletados.

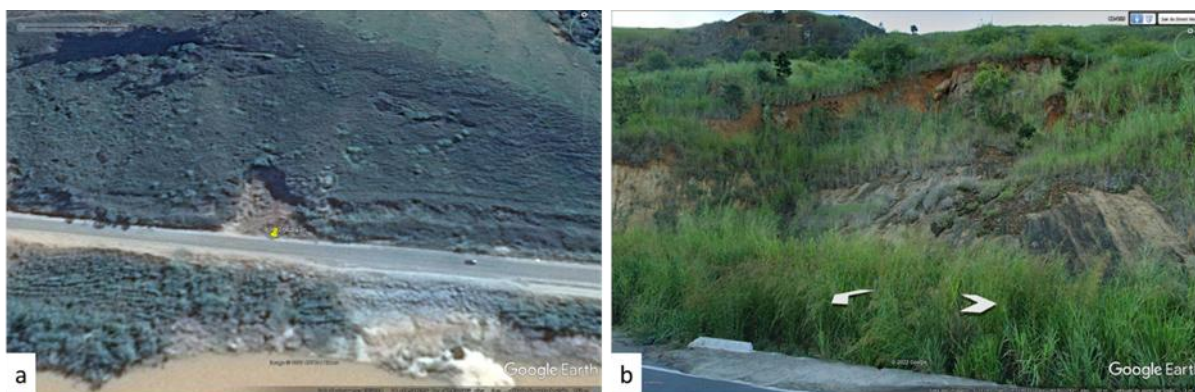


Figura AP 1 – Antecedentes do local obtidos pelo *Google Earth*: (a) deslizamento de barreira em 2014; (b) imagem do local em 2019

Tabela AP 1 – Antecedentes e localização

Antecedentes		Localização	
		Latitude	Longitude
1	Erosão	-19,52249619	-40,82605898
2	Erosão	-19,51439118	-40,84245801
3	Erosão	-19,51946760	-40,83536088
4	Erosão	-19,51173662	-40,86039126
5	Erosão	-19,51439118	-40,84245801
6	Movimento de massa	-19,52477644	-40,79014421
7	Movimento de massa	-19,52763808	-40,80911279
8	Movimento de massa	-19,52580279	-40,81743836
9	Movimento de massa	-19,5225872	-40,82579613
10	Movimento de massa	-19,52097432	-40,82918108
11	Alagamento	-19,516495	-40,838263
12	Obra emergencial	-19,516956	-40,837456
13	Obra emergencial	-19,519814	-40,832896
14	Obra emergencial	-19,51949	-40,835149
15	Obra emergencial	-19,519544	-40,833845
16	Obra emergencial	-19,519544	-40,833845
17	Obra emergencial	-19,519697	-40,832926
18	Obra emergencial	-19,520172	-40,830553
19	Obra emergencial	-19,520478	-40,830052
20	Obra emergencial	-19,527747	-40,80446
21	Obra emergencial	-19,528227	-40,803007
22	Obra emergencial	-19,528719	-40,801803
23	Obra emergencial	-19,525982	-40,791294
24	Obra emergencial	-19,524708	-40,789999
25	Obra emergencial	-19,523727	-40,789185
26	Obra emergencial	-19,519859	-40,832001
27	Obra emergencial	-19,520836	-40,829439
28	Obra emergencial	-19,521948	-40,827487
29	Obra emergencial	-19,527655	-40,809474
30	Obra emergencial	-19,527717	-40,80883

1.2 RODOVIAS PRÓXIMAS

Foram identificadas as rodovias federais e estaduais mais próximas ao trecho, apresentadas no mapa da Figura AP 2. Estas rodovias foram levantadas para que nas próximas atividades sejam analisadas como possíveis rotas alternativas ao trecho em caso de interrupção da BR-259/ES devido à ocorrência de algum evento. Dentre essas rotas, será escolhida aquela que apresentar maior capacidade de suporte para os veículos pesados.

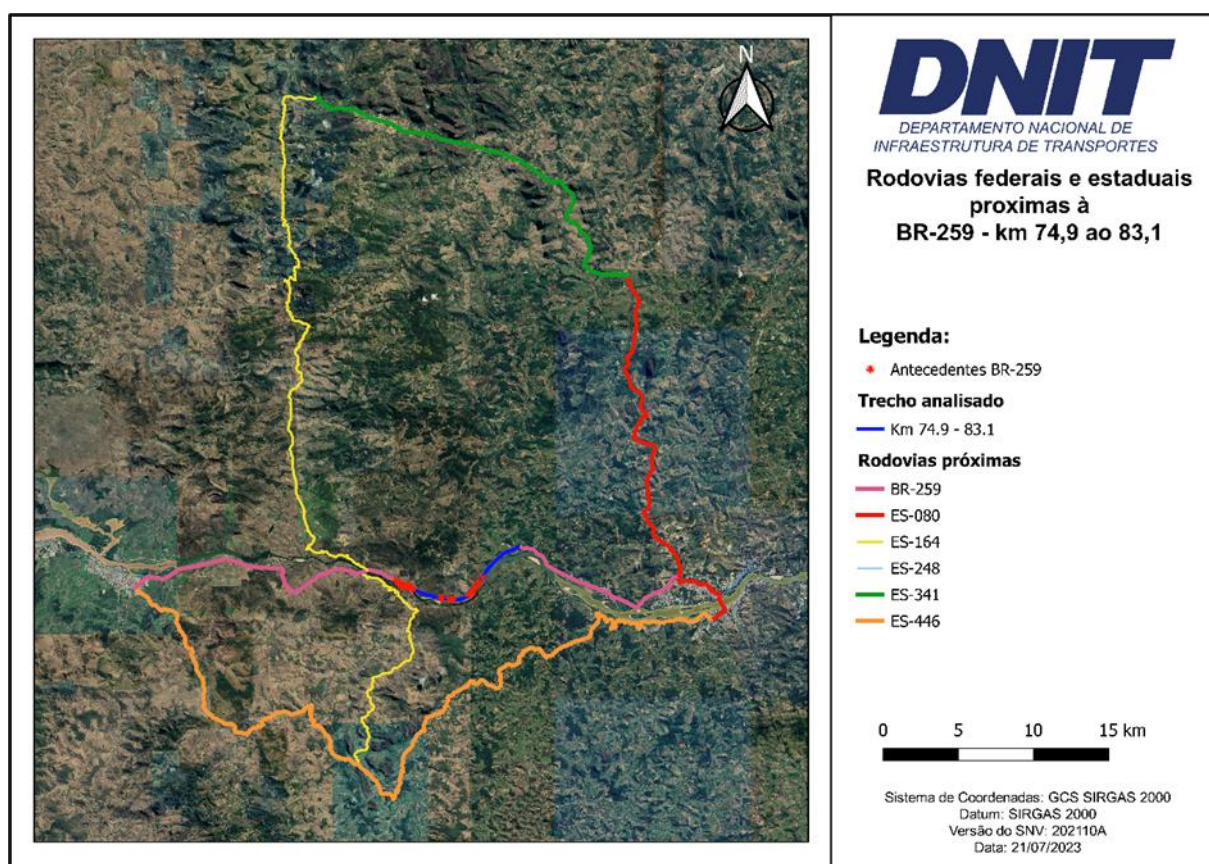


Figura AP 2 – Mapa de rodovias federais e estaduais próximas ao trecho da BR-259/ES

1.3 TRÁFEGO

Conforme dados apresentados pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), o trecho apresentou um VMDa de 7956 veículos no ano de 2022, considerando 120 dias dos quatro primeiros meses do ano, de acordo com os dados disponíveis. Com o objetivo de obter uma maior amostragem, foram levantados também os dados do ano

2021, onde considerou-se 92 dias correspondentes aos três últimos meses do ano, obtendo assim um VMDa de 8040. Caso ocorra interrupção do trecho analisado (quilômetro 70 ao 80), esse volume de tráfego considerável pode gerar consequências adversas ao tráfego e à infraestrutura em outras vias, principalmente quando a rota alternativa apresentar trechos que incluem vias urbanas.

Para analisar o tráfego por tipo de veículo, foram utilizados dados do PNCT de 2021 e 2022, como mencionado anteriormente. A Figura AP 3 mostra o percentual de cada tipo de veículo para o trecho.

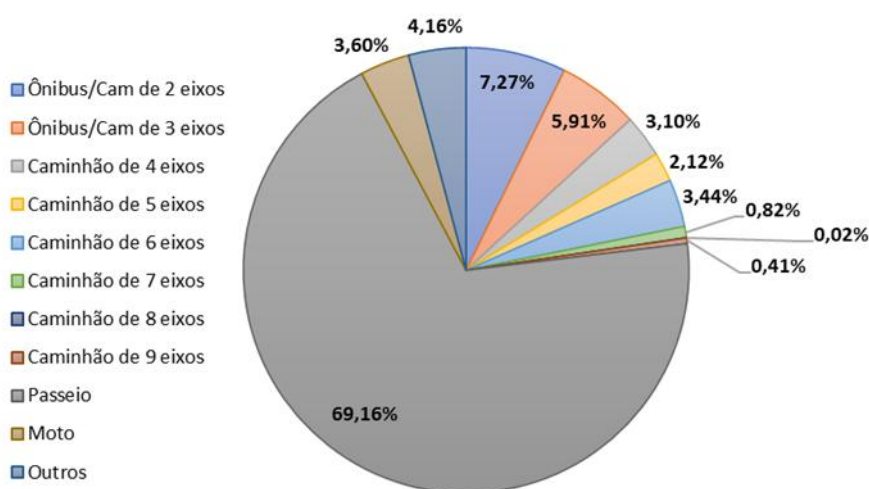


Figura AP 3 – Percentual VMDa por tipo de veículo

1.4 ELEMENTOS EXPOSTOS

O levantamento de ativos da rodovia e a espacialização desses elementos é de suma importância para a posterior categorização em relação ao risco. Além disso, as áreas urbanizadas também são fundamentais para a análise de risco. A Figura AP4 apresenta os ativos expostos no trecho e as áreas urbanizadas no entorno.

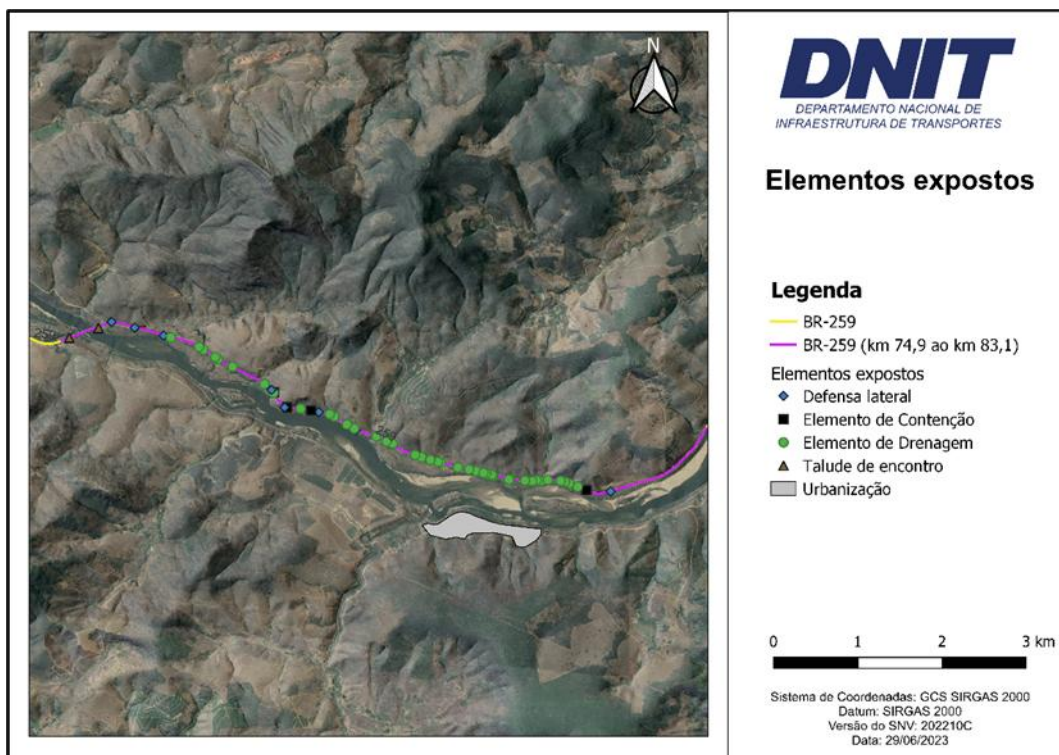


Figura AP 4 – Elementos expostos

1.5 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

A seguir, na Figura AP 5, está apresentado o Modelo Digital de Elevação (MDE), extraído da base do *OpenTopography*. Para isso, foi utilizado o *plug-in OpenTopography DEM Downloader*, no QGIS®. Esse complemento permite o download de modelos digitais de elevação de várias bases abertas, incluindo o MDE Copernicus, com resolução espacial de 30 m.

Modelos digitais com essa resolução poderão ser utilizados para a elaboração dos mapas de declividade, que servirão de subsídio para a setorização climatológica/geológico-geomorfológica. Entretanto, caso não houver mapas de suscetibilidade elaborados pelo SGB/CPRM, para essa finalidade, deverão ser obtidos modelos digitais com melhor resolução espacial, preferencialmente, modelos digitais de terreno de alta resolução.

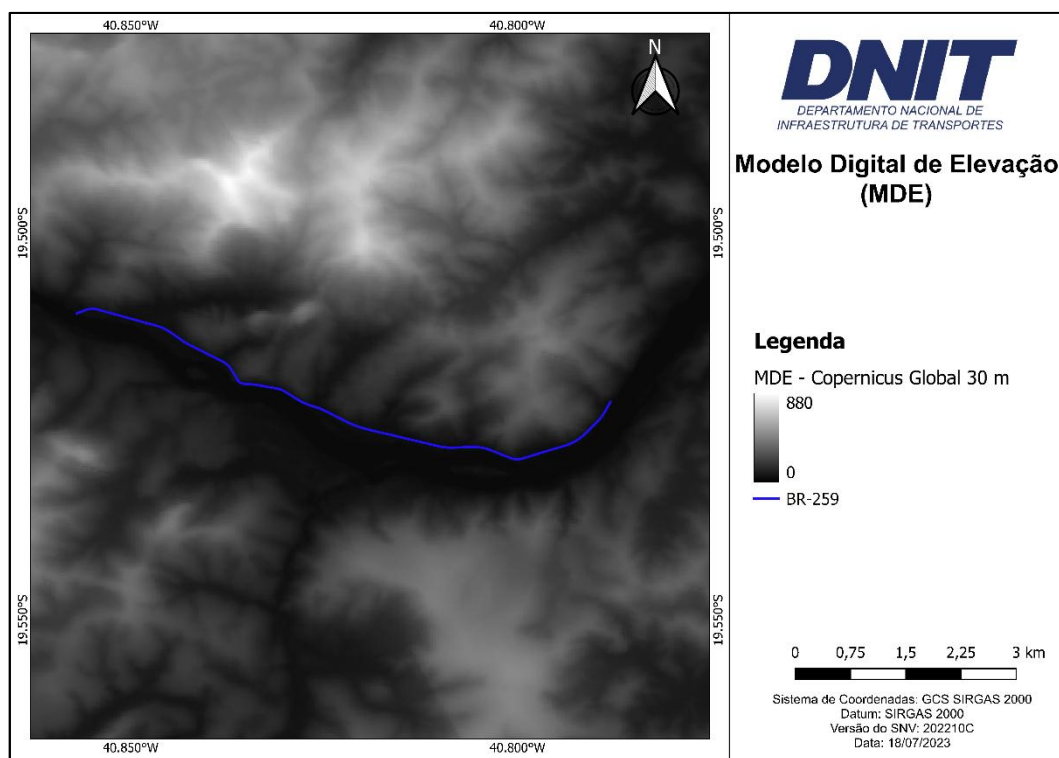


Figura AP 5 – Modelo Digital de Elevação - BR-259/ES

1.6 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A caracterização da geomorfologia pode ser realizada por meio da classificação do relevo estabelecida pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), em 1979. Essa classificação atribui nomenclaturas a diferentes tipos de relevo, levando em consideração os intervalos de declividade preestabelecidos, a saber:

- Plano: superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com expressiva ocorrência de áreas com declives de 0 a 3 %;
- Suave-ondulado: superfície topográfica é caracterizada por uma paisagem pouco acidentada, composta por um conjunto de colinas e/ou outeiros que possuem elevações com altitudes relativas em torno de 50 a 100 metros, respectivamente. Essas elevações apresentam declives suaves, com áreas significativas variando entre 3 % e 8 % de declividade;

- Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada é constituída por um conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando uma expressiva ocorrência de áreas com declives entre 8 e 20 %;
- Forte-ondulado: a superfície de topografia é formada por outeiros e/ou morros (elevações de 100 a 200 metros de altitude relativa), com predominância de declividade entre 20 e 45 %;
- Montanhoso: superfície topográfica vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes, da ordem de 45 a 75 % de declividade;
- Escarpado: regiões ou áreas com predominância de formas abruptas, com declives acima de 75 %.

A seguir, na Figura AP 6, é apresentado o mapa com as classes de relevo mencionadas anteriormente, elaborado a partir do MDE apresentado na Figura AP 5.

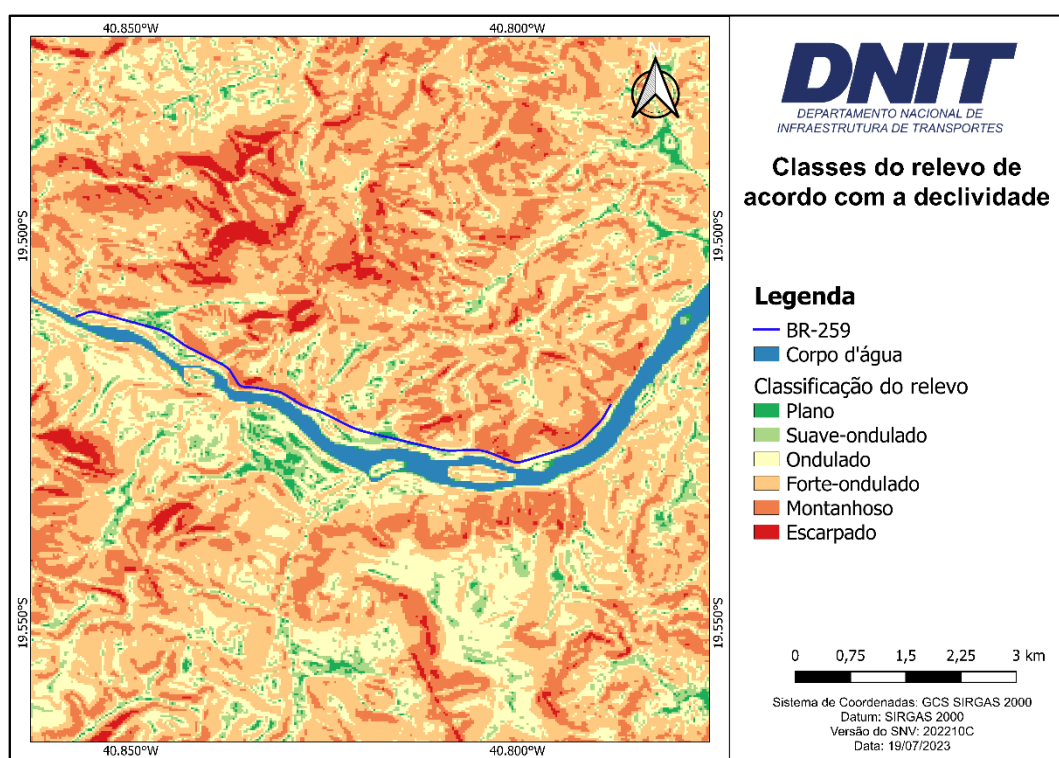


Figura AP 6 – Classes de relevo

Para realizar a setorização climatológica/geológico-geomorfológica, as informações litológicas também são fundamentais. A Figura AP 7, a seguir, apresenta o mapa de unidades litoestratigráficas e litotipos da região onde o trecho está inserido.

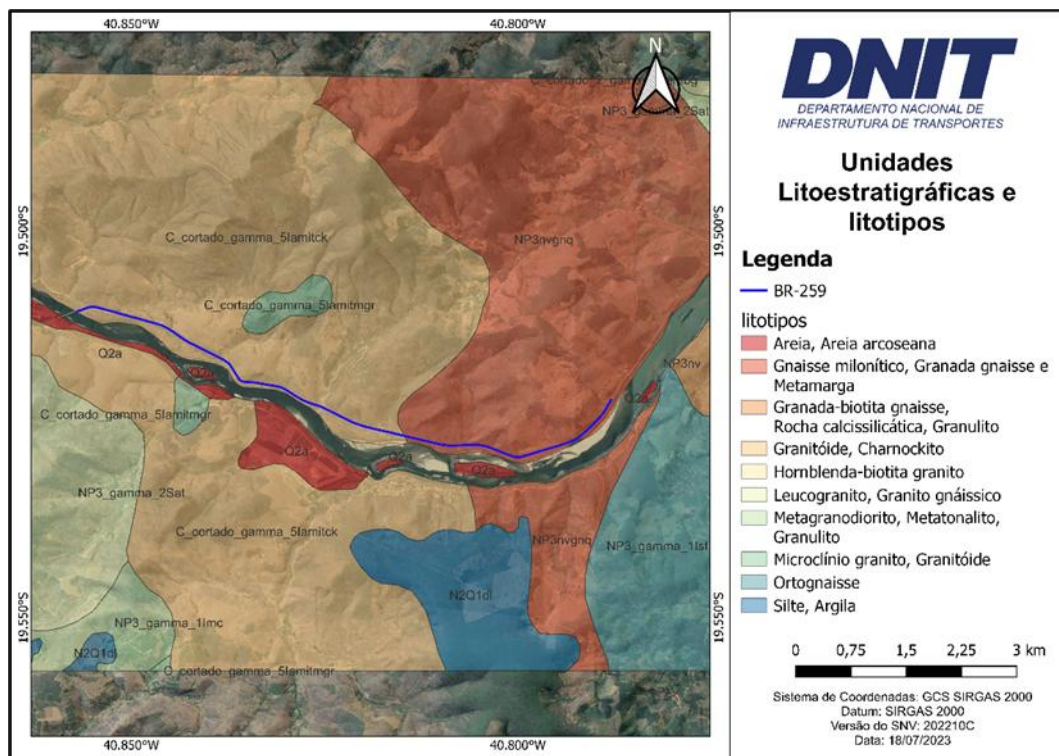


Figura AP 7 – Unidades litoestratigráficas e litotipos

1.7 PLUVIOMETRIA

A escolha das estações pluviométricas a serem estudadas pode se basear nas isoietas de precipitação. Além disso, as isoietas irão compor a setorização climatológica/geológico-geomorfológica para o cálculo do valor-limite de precipitação. A Figura AP 8 apresenta o mapa de isoietas de precipitação média anual, obtidas da base de dados do SGB/CPRM, em escala 1:5.000.000, no qual é possível verificar que todo o trecho se encontra em uma mesma isoieta.

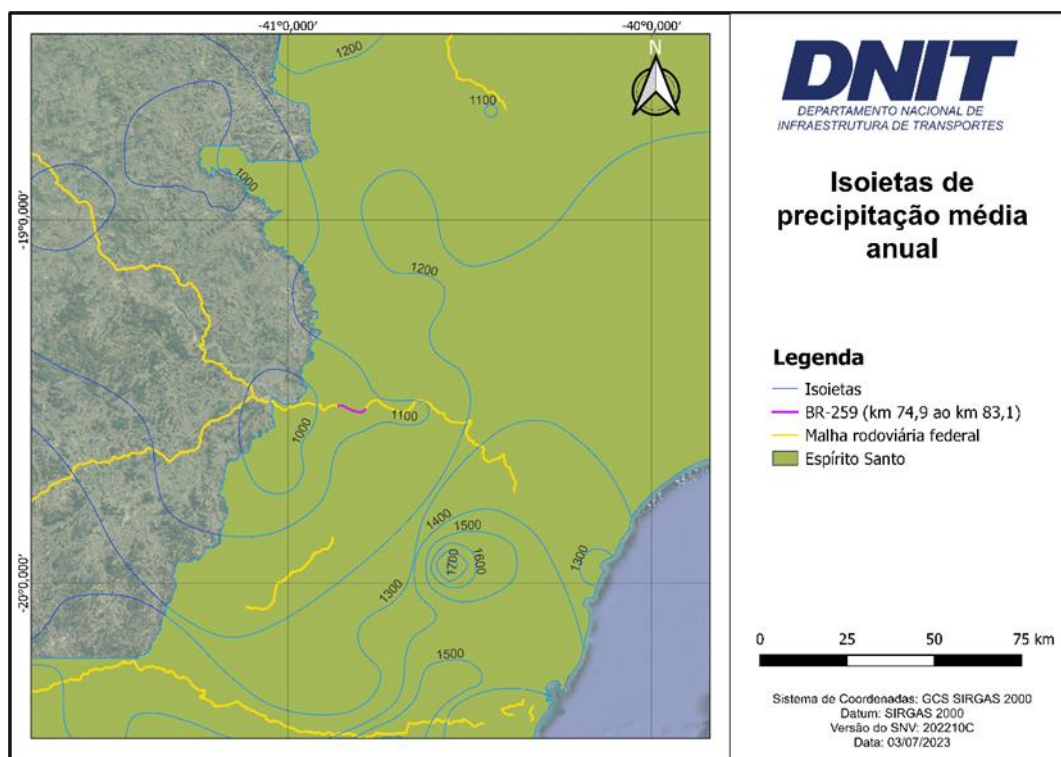


Figura AP 8 – Isoietas de precipitação média anual

1.8 ORTOIMAGENS

As ortomagens poderão ser orbitais ou aéreas, obtidas por meio de sensoriamento remoto de alta resolução ou por meio de levantamentos via veículos aéreos não tripulados (VANTs). Nesta demonstração do método, foram obtidas imagens dos ortomosaicos do Espírito Santo referentes ao imageamento dos sensores 3/3^a dos satélites Kompsat, adquiridos pelo estado no âmbito do projeto Avaliação do Programa Reflorestar, disponíveis no endereço eletrônico <https://geobases.es.gov.br/>.

A Figura AP 9, a seguir, apresenta parte de uma dessas imagens extraídas da base de dados previamente mencionada, com resolução bastante adequada à identificação de lineamentos estruturais e cicatrizes de deslizamentos.

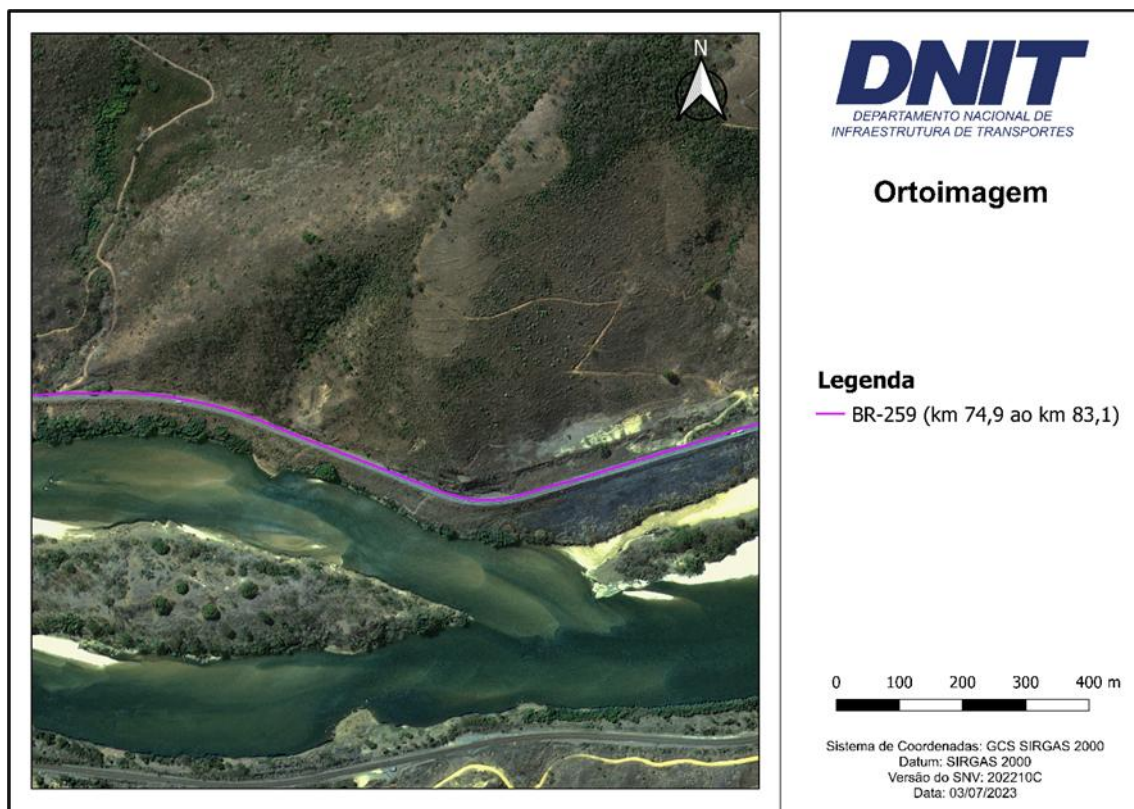


Figura AP 9 – Ortoimagem de segmento da BR-259/ES

2 ANÁLISE DE RISCO

2.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Os dados obtidos na subseção 1.1 foram geoespacializados de forma a montar um mapa de antecedentes que contribuirá com o mapeamento dos pontos de maior risco do trecho, identificando os locais mais suscetíveis a ocorrência e podendo ser utilizado como uma forma de validação do mapa de riscos. O Mapa de antecedentes de eventos está apresentado na Figura AP 10.

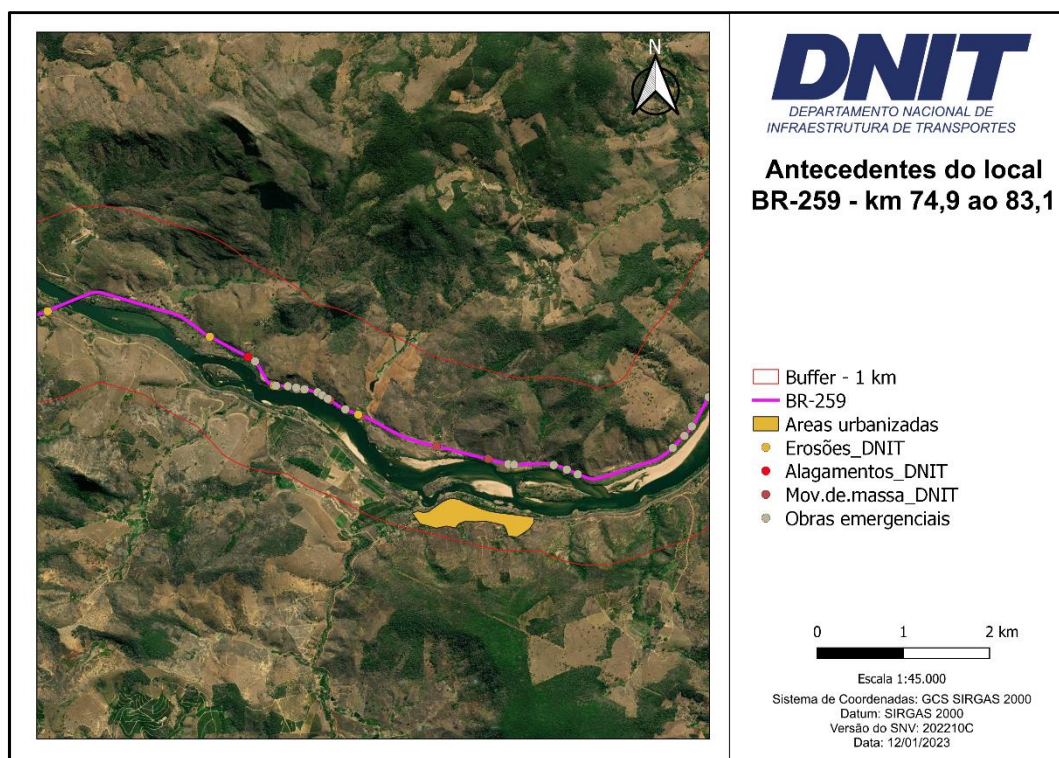


Figura AP 10 – Mapa elaborado com os registros de ocorrências e obras emergenciais no trecho

2.2 MAPA DE SUSCETIBILIDADE

A Figura AP 11 e Figura AP 12, a seguir, apresentam a suscetibilidade ao movimento de massa e inundações, respectivamente.

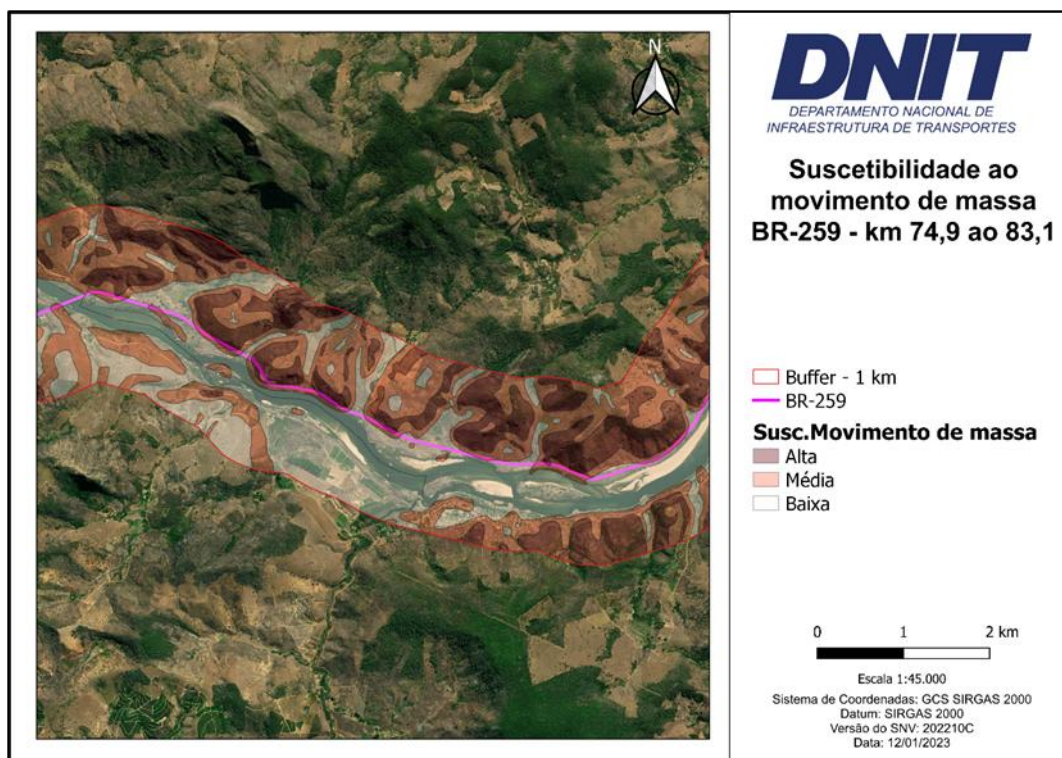


Figura AP 11 – Mapa de suscetibilidade ao movimento de massa

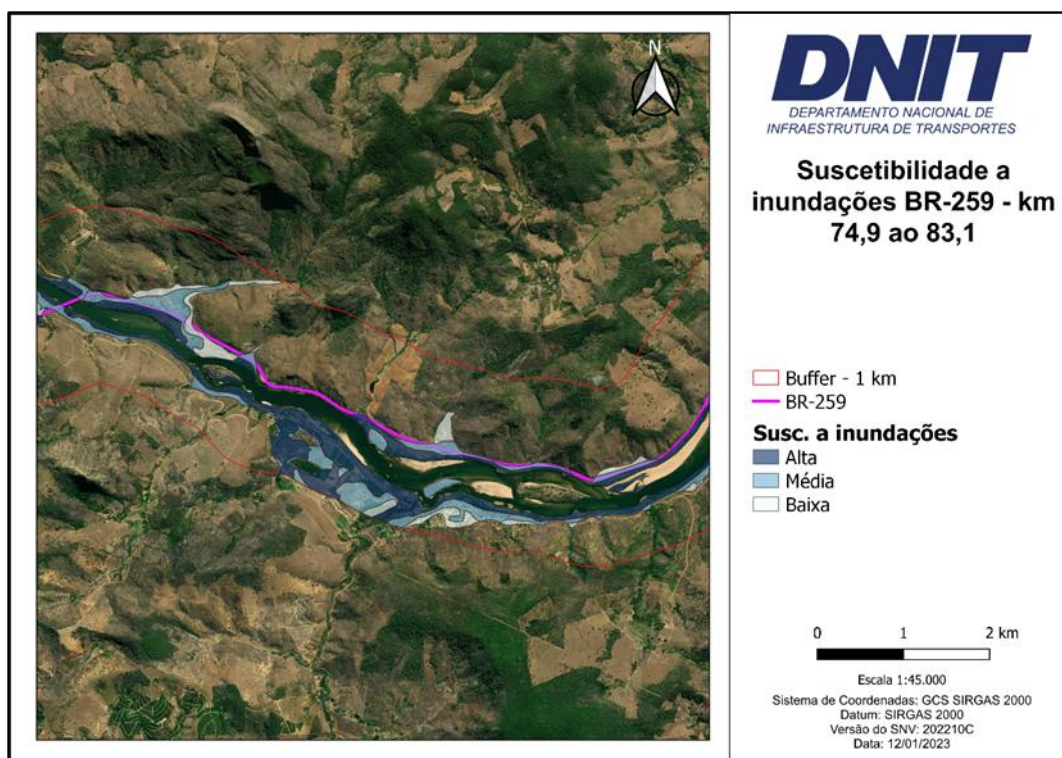


Figura AP 12 – Mapa de suscetibilidade a inundações

2.3 MAPEAMENTO DOS ELEMENTOS EXPOSTOS E SETORES DE RISCO

A Figura AP13 apresenta o mapa de vulnerabilidade ao movimento de massa e a Figura AP14 apresenta os elementos expostos vulneráveis a esse tipo de ocorrência.

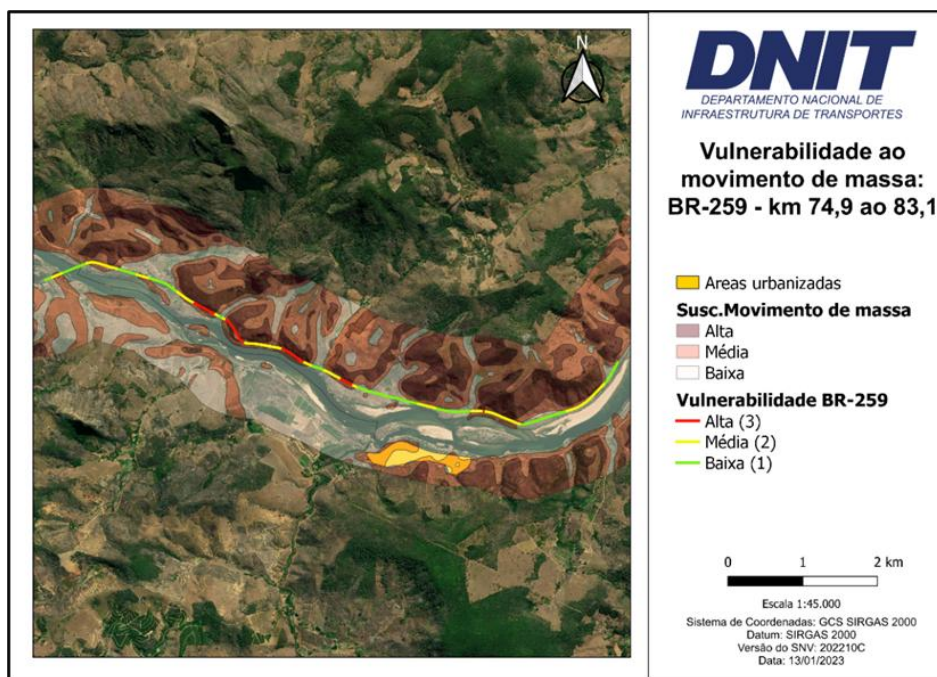


Figura AP 13 – Mapa de vulnerabilidade ao movimento de massa

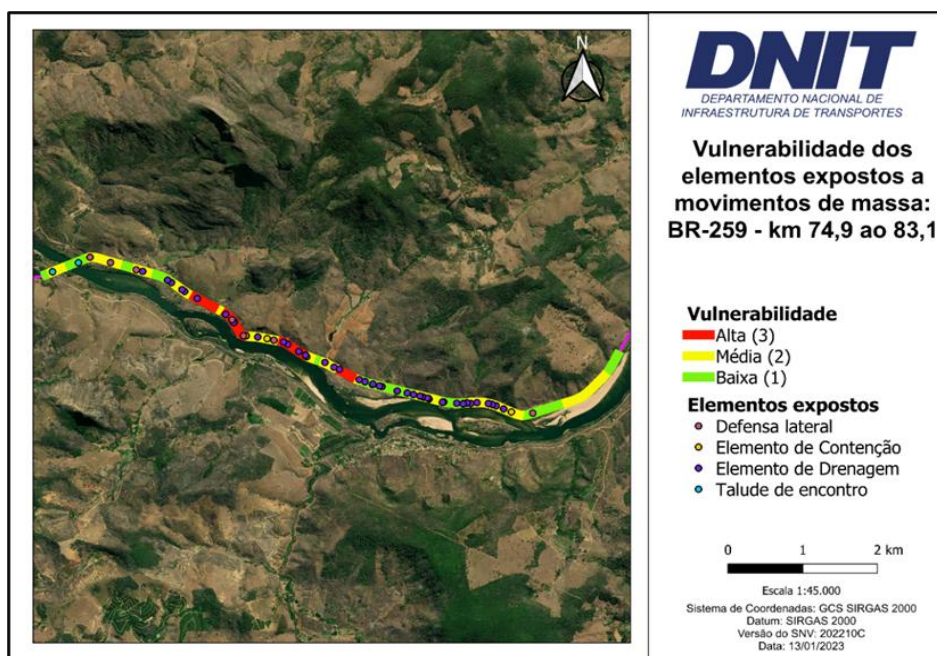


Figura AP 14 – Mapa de suscetibilidade a inundações

A Figura AP 15, a seguir, apresenta o mapa de vulnerabilidade à inundação e a Figura AP 16 apresenta os elementos expostos vulneráveis a esse tipo de ocorrência.

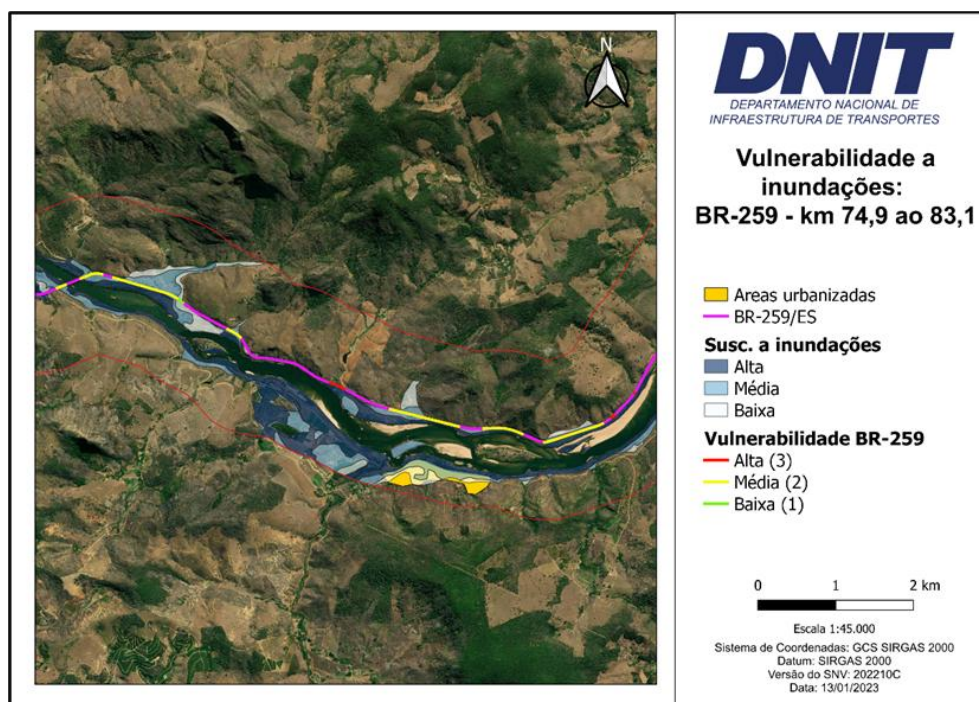


Figura AP 15 – Mapa de vulnerabilidade a inundações

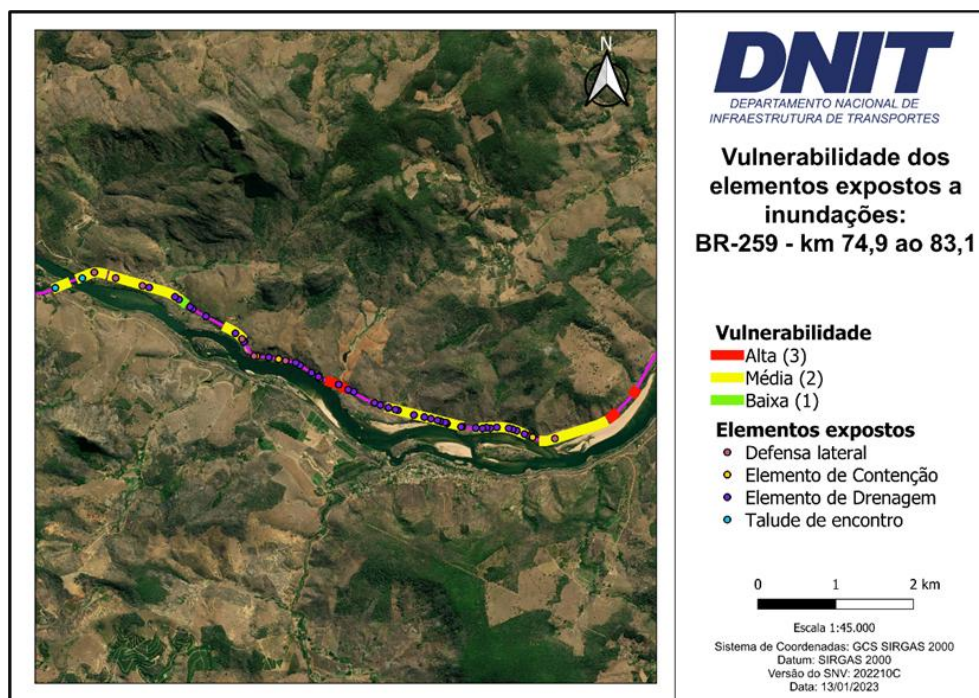


Figura AP 16 – Mapa de vulnerabilidade dos elementos expostos a inundações

2.4 SETORIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA/GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA

Para a delimitação e representação da setorização climatológica/geológico-geomorfológica, são sobrepostos os mapeamentos anteriormente apresentados nas Figuras AP 6, Figura AP 7 e Figura AP 8 (Figura AP 17). Dessa forma, pode-se elaborar um mapa com a setorização de bacias que compartilham o mesmo perfil de precipitação, as mesmas características geológicas e as mesmas características geomorfológicas.

Assim sendo, a linha correspondente ao trecho é segmentada de acordo com as características de pluviosidade, de relevo e litológicas. A Figura AP 18, na sequência, apresenta a setorização climatológica/geológico-geomorfológica do trecho da BR-259/ES, com extensão do quilômetro 74,9 ao quilômetro 83,1. Com essa compartimentação, é possível determinar um valor-limite de precipitação para cada setor, caso os registros possuam os dados das datas exatas e horário das ocorrências.

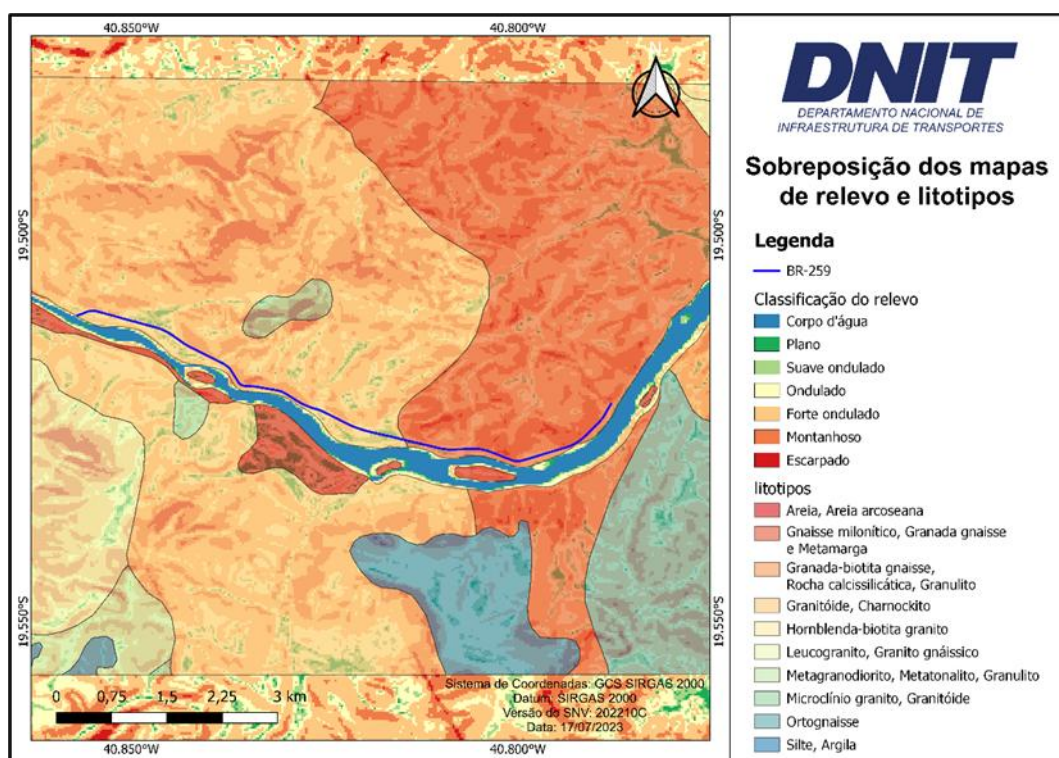


Figura AP 17 – Sobreposição dos mapas de declividade, litologia e isoietas

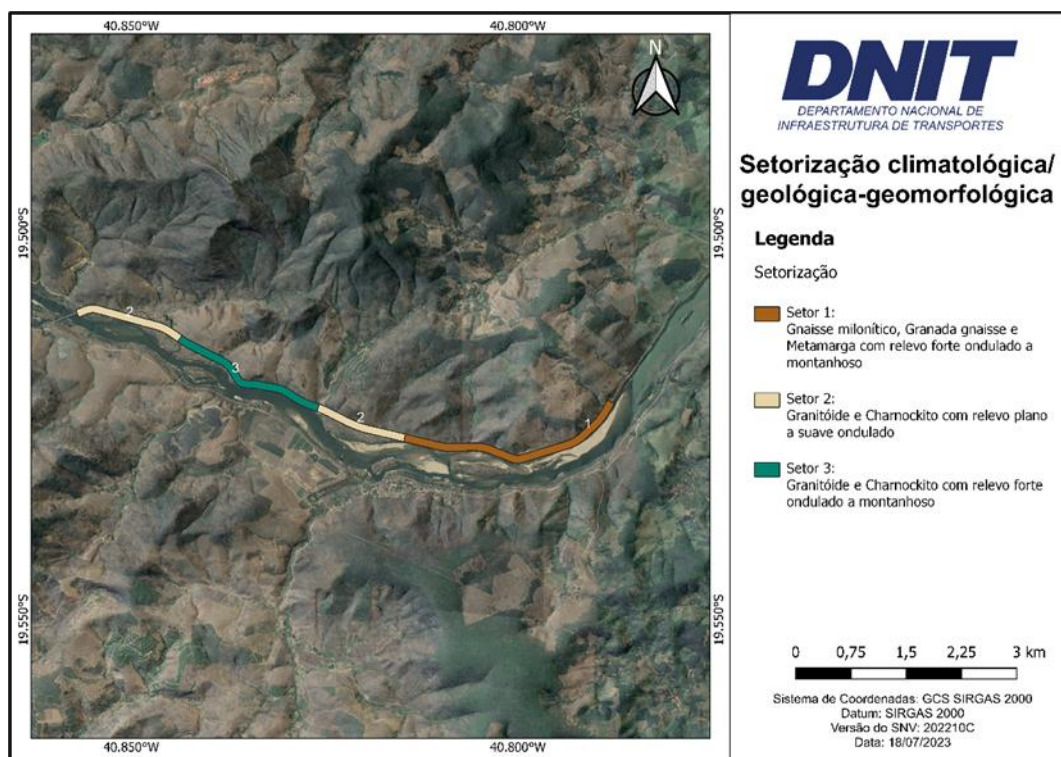


Figura AP 18 – Setorização climatológica/geológico-geomorfológica

2.5 CÁLCULO DO VALOR-LIMITE DE PRECIPITAÇÃO, PROBABILIDADE DE ATINGIR O VALOR-LIMITE E TAXA DE RECORRÊNCIA DO VALOR-LIMITE

O levantamento de dados pluviométricos foi realizado por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da ANA, no portal HidroWeb, de onde foram extraídos os dados das estações de medição mostradas na Tabela AP 2, que podem ser visualizadas no mapa apresentado na Figura AP 19, a seguir.

Tabela AP 2 – Estações pluviométricas próximas ao trecho da BR-259/ES (Km 74,9 ao 83,1)

Código da Estação	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Bacia	Operadora/ Responsável
1941003	BAIXO GUANDU	-19,53	-41,02	Atlântico, Trecho Leste	CPRM
1941023	UHE MASCARENHAS MONTANTE 1	-19,53	-41,01	Atlântico, Trecho Leste	ENERGEST
1941017	AIMORÉS	-19,48	-41,07	Atlântico, Trecho Leste	INMET

Código da Estação	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Bacia	Operadora/ Responsável
1940006	COLATINA - CORPO DE BOMBEIROS	-19,53	-40,62	Atlântico, Trecho Leste	CPRM/ANA
1940044	MARILÂNDIA (COLATINA)	-19,55	-40,52	Atlântico, Trecho Leste	INMET

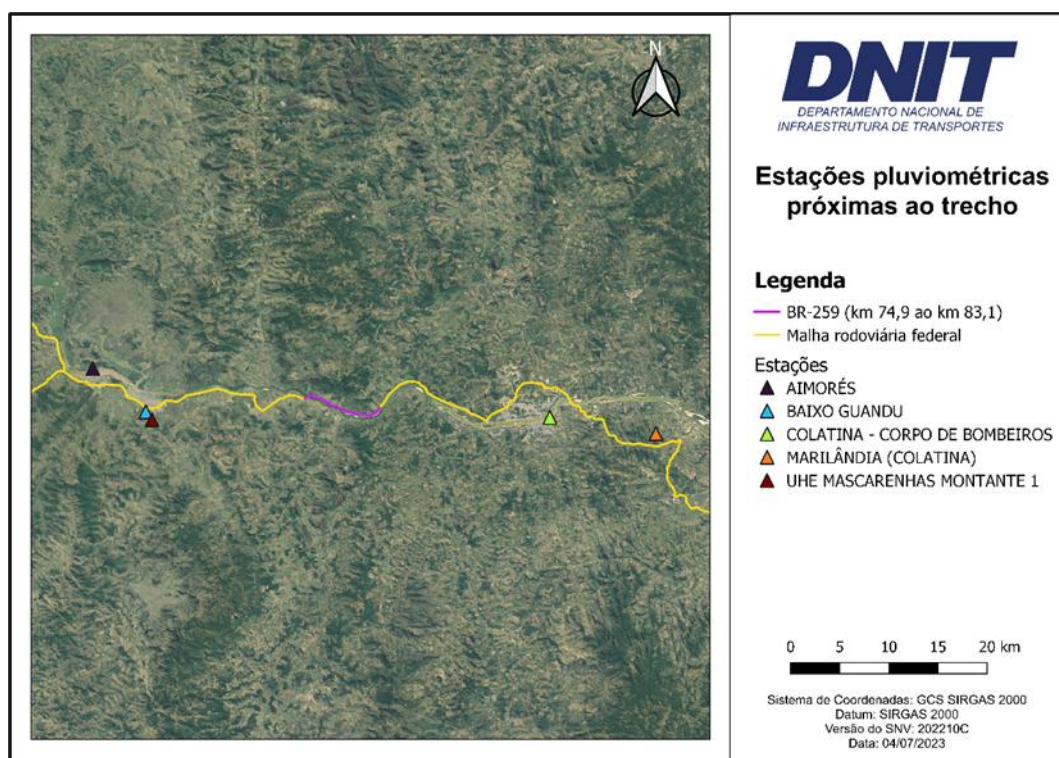


Figura AP 19 – Estações pluviométricas próximas ao trecho da BR-259/ES

2.5.1 Tratamento de dados e avaliação preliminar dos registros das estações

De posse dos dados disponibilizados pela ANA, cada uma das planilhas contendo as séries históricas de medição pluviométrica foi analisada, a fim de se determinar qual ou quais estações apresentavam dados mais completos, representativos e confiáveis sobre os eventos de chuva no trecho em estudo.

A primeira etapa da análise compreendeu o tratamento dos dados das cinco estações pluviométricas identificadas anteriormente. Esta etapa assume um papel muito importante no contexto da gestão de repositórios de informação, lidando com a

identificação e eliminação de erros e inconsistências, além da detecção e eliminação de itens duplicados, de forma a melhorar a qualidade dos dados.

Com os dados tratados, a primeira avaliação foi feita para a Estação Baixo Guandu, que geograficamente se encontra mais próxima ao quilômetro final do trecho. A partir desta primeira análise observou-se que há consistência no registro dos dados pluviométricos ao longo da série histórica (1941-2022) com a interferência dos registros durante todo o ano de 1989, sendo, portanto, uma estação que, guardadas as devidas proporções, pode ser considerada representativa da realidade local e apropriada para a continuidade do presente estudo.

Posteriormente foi avaliada a Estação UHE Mascarenhas Montante 1, também próxima ao Km 80 do trecho em estudo. Com relação aos registros da estação, foi observada consistência no preenchimento dos dados diários de chuva, entretanto, os dados começaram a ser registrados em outubro de 2002 e deixaram de ser registrados em abril 2013, sendo, portanto, a estação desconsiderada para o restante do estudo devido ao tamanho da amostra. As estações Aimorés e Marilândia (Colatina) também foram desconsideradas, uma vez que pararam de operar em 1998 e 2000, respectivamente, impossibilitando a associação direta com os antecedentes locais identificados na Figura AP 19.

Por fim, foram avaliados os dados da Estação Colatina - Corpo de Bombeiros, próxima ao km 74,9 do trecho, cuja série histórica contempla os anos de 1967 a 2022, sem interferência nos registros. Desta forma considerou-se a estação representativa da realidade local e apropriada para a continuidade do presente estudo.

Diante do exposto, a fim de determinar com a maior precisão possível a influência da precipitação nas ocorrências registradas na BR-259/ES do Km 74,9 ao 83,1 serão utilizados os dados das estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros.

2.5.2 Avaliação preliminar dos antecedentes

Com relação ao município de Colatina, onde o trecho em estudo se localiza, é de conhecimento público a elevada suscetibilidade à alagamentos e enxurradas. São frequentes no município inundações e enchentes associadas ao resultado das alterações antrópicas do crescimento e a ocupação desordenada, estreitamento do leito do Rio Doce e seu processo de assoreamento, que se descaracterizou alterando sua dinâmica fluvial, o que extinguiu as planícies de inundação nas áreas urbanizadas de Colatina. Além disso, são constantes os eventos de desmoronamento na região ocasionados por chuvas intensas, conforme consta no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2016).

Os dados utilizados no Planejamento Estratégico foram coletados de diversas fontes, conforme mencionado naquele documento. Entretanto, poucos foram os registros que apresentaram as datas das ocorrências, sendo que, para a análise de risco a ser realizada no Planejamento Tático, o registro das datas e horários das ocorrências é fundamental, para que possam ser correlacionadas com as informações de precipitação. Sendo assim, a seguir, é apresentada a determinação do valor-limite de precipitação e a taxa de recorrência desse valor, baseada em uma análise estatística.

O primeiro passo do estudo compreendeu uma avaliação dos antecedentes locais a partir de imagens disponibilizadas no *Google Earth* a fim de identificar quando cada um deles foi registrado na plataforma, por meio de uma análise ano a ano. A partir desta análise, foi possível observar que os registros são adicionados à base de dados, em sua maioria, nos meses de abril, maio, junho, outubro, novembro e dezembro, mas não há registros para todos os anos.

As primeiras imagens nítidas do trecho da BR-259/ES do Km 74,9 ao 83,1 são do ano de 2003, sendo adicionadas novamente somente a partir 2010. Algumas imagens que auxiliam na identificação das ocorrências podem ser vistas, a seguir, nas Figura AP 20 e Figura AP 21, a seguir.



Figura AP 20 – Parte 1 do trecho da BR-259/ES em maio de 2013 e abril de 2014

Fonte: Google Earth



Figura AP 21 – Parte 2 do trecho da BR-259/ES em maio de 2013 e abril de 2014

Fonte: Google Earth

As Figura AP 20 e Figura AP 21, apresentadas anteriormente, mostram duas partes do trecho da BR-259/ES em maio de 2013 e abril de 2014. Para os dois casos foram identificados com setas verdes diferentes pontos de ocorrências no período, o que direciona o estudo para uma avaliação dos movimentos de massa associados com algum evento de precipitação corrido entre maio e abril dos respectivos anos.

Com a intenção de encontrar algum tipo de registro que pudesse datar eventos de precipitação associados às ocorrências observados neste período, foram pesquisadas notícias da época em portais locais e nacionais, no site do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN e no site do

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Os registros encontrados podem ser vistos na Tabela AP 3.

Tabela AP 3 – Registros de ocorrências associados a eventos de precipitação entre maio de 2013 e abril de 2014

Fonte	Data	Tipo de Desastre	Localização
G1/TV Gazeta	21/12/2013	Movimento de massa	Km 80
Jornal A Gazeta	25/12/2013	Movimento de massa	-
DNIT	25/12/2013	Enxurrada Rio Doce	Km 73 Km 79

No site do DNIT foram encontradas duas notícias associadas à enxurrada do Rio Doce ocasionada pela elevação do nível do rio com os acumulados de precipitação, registrando eventos de interrupção da rodovia no Km 73 e Km 79, ambos para o dia 25 de dezembro de 2013. Para o mesmo período foi encontrada uma capa do Jornal A Gazeta, do Espírito Santo, retratando o cenário de desastres ocasionados pela chuva em todo o estado e, inclusive, no município de Colatina, onde o trecho da BR-259/ES avaliado no presente estudo se encontra. Além disso, no portal de notícias G1, foi registrado um movimento de massa associado à chuva que atingiu o Km 80 no dia 21 de dezembro de 2013. Não foram encontrados registros na página do CEMADEN, uma vez que os dados foram disponibilizados somente a partir do ano de 2017.

Avançando nas imagens disponibilizadas ano a ano no *Google Earth*, é possível perceber que a liberação da rota foi realizada, mas poucas medidas de mitigação de risco foram tomadas por parte dos órgãos locais ou federais responsáveis, uma vez que se verificam os pontos de ocorrências sofrendo processos erosivos ao longo dos anos seguintes, até a data do presente estudo, como pode ser visto na Figura AP 22, a seguir.



Figura AP 22 – Parte do trecho da BR-259/ES em junho de 2017

Fonte: Google Earth

Apesar de reflorestados, nota-se que os locais onde as ocorrências foram registradas permanecem sem nenhuma estrutura de resposta, estando susceptíveis a novas ocorrências e movimentos de massa em situações de precipitação semelhante e até mesmo inferiores às que causaram os eventos observados nas Figura AP 20 e Figura AP 21 como é o caso da Figura AP 23, de 2018.



Figura AP 23 – Deslizamento próximo ao Km 80 da BR-259/ES em maio de 2018

Fonte: Google Earth

Para o caso registrado na Figura AP 22, onde se observou que não foram criadas estruturas de resposta às ocorrências, em 2018 foi registrado um movimento de massa do tipo queda de blocos, que interditou completamente a BR-259/ES entre as cidades de Baixo Guandu e Colatina (Figura AP 24, a seguir).



Figura AP 24 – Notícia de 07 de fevereiro de 2018 com imagem do desastre que interditou a BR-259/ES próximo ao Km 79

Fonte: DNIT (2018)

Este trecho precisou de uma obra emergencial, com data base em março do mesmo ano, para construção de uma estrutura de contenção que pode ser vista na Figura AP 25.



Figura AP 25 – Estrutura de contenção próxima ao Km 79 da BR-259/ES

Com base em todo o exposto é possível determinar que os eventos de chuva diretamente associados com as ocorrências identificadas no *Google Earth* ocorreram em dezembro de 2013 e que um evento pontual, registrado em fevereiro de 2018, em uma zona já exposta da encosta da rodovia, também precisa ser estudado e compreendido. Sendo, portanto, estas datas pontos de partida para a compreensão da influência da precipitação na rodovia.

2.5.3 Análise dos dados

A primeira investigação tratou de avaliar os dados de precipitação registrados de maio de 2013 e abril de 2014 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros, conforme mostram a Figura AP 26 e Figura AP 27, a seguir.

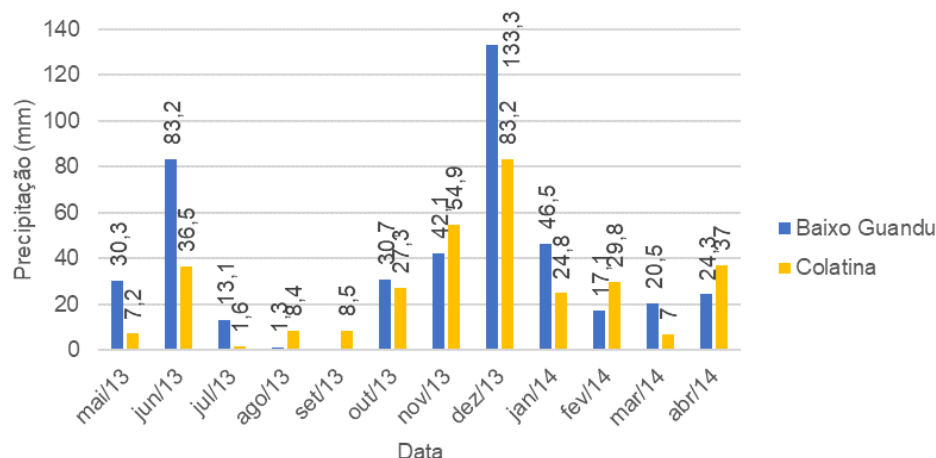


Figura AP 26 – Precipitação máxima registrada entre maio de 2013 e abril de 2014 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

É possível observar que os registros de precipitação máxima nas duas estações, apesar da pouca distância geográfica entre elas, apresentam algumas discrepâncias, especialmente para os meses de maio e junho de 2013 e janeiro e fevereiro de 2014. Não se pode afirmar, entretanto, se estas discrepâncias são erros de medição ou se a chuva atingiu as duas regiões com intensidades realmente diferentes.

Para as duas estações os registros de chuva começam a apresentar valores mais elevados de precipitação em novembro, com seu pico em dezembro, seguindo com magnitudes consideravelmente elevadas até o mês de janeiro.

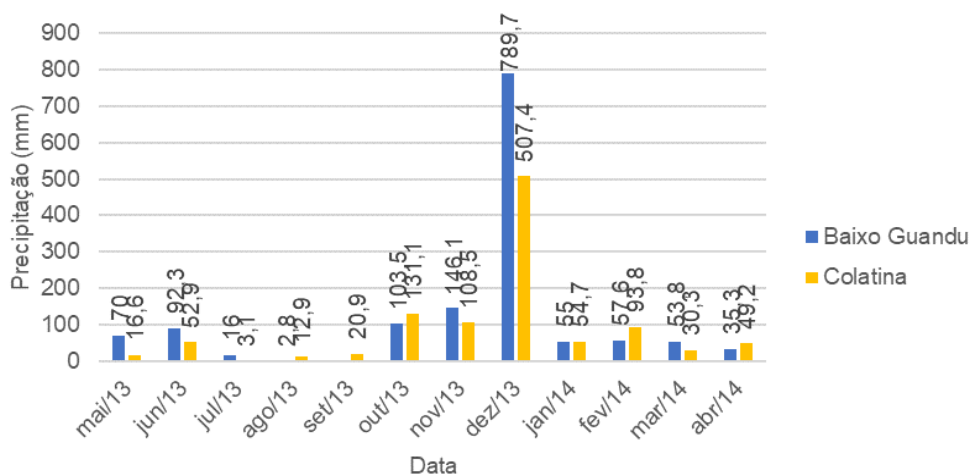


Figura AP 27 – Precipitação total registrada entre maio de 2013 e abril de 2014 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

Avaliando a Figura AP 27, torna-se possível classificar os somatórios de chuva mensal em três grupos: intensidade baixa de julho a setembro, intensidade média entre janeiro e junho e intensidade elevada de outubro a dezembro. Considerando apenas os registros de precipitação elevada, nota-se, ainda, que a precipitação acumulada em dezembro de 2013 (789,7 mm - 507,4 mm) é, aproximadamente, cinco vezes superior às de outubro e novembro, o que vai de encontro com as notícias encontradas (Tabela AP 2), comprovando ser, de fato, este o mês em que os eventos que apareceram nos registros de abril foram deflagrados.

A fim de buscar estabelecer uma correlação entre estes eventos específicos de precipitação com as ocorrências, optou-se por avaliar toda a série histórica disponível nas duas estações (1967-2022), especificamente para o mês de dezembro, por meio de valores máximos de registro de chuva (Figura AP 28) e somatórios de chuva (Figura AP 29).

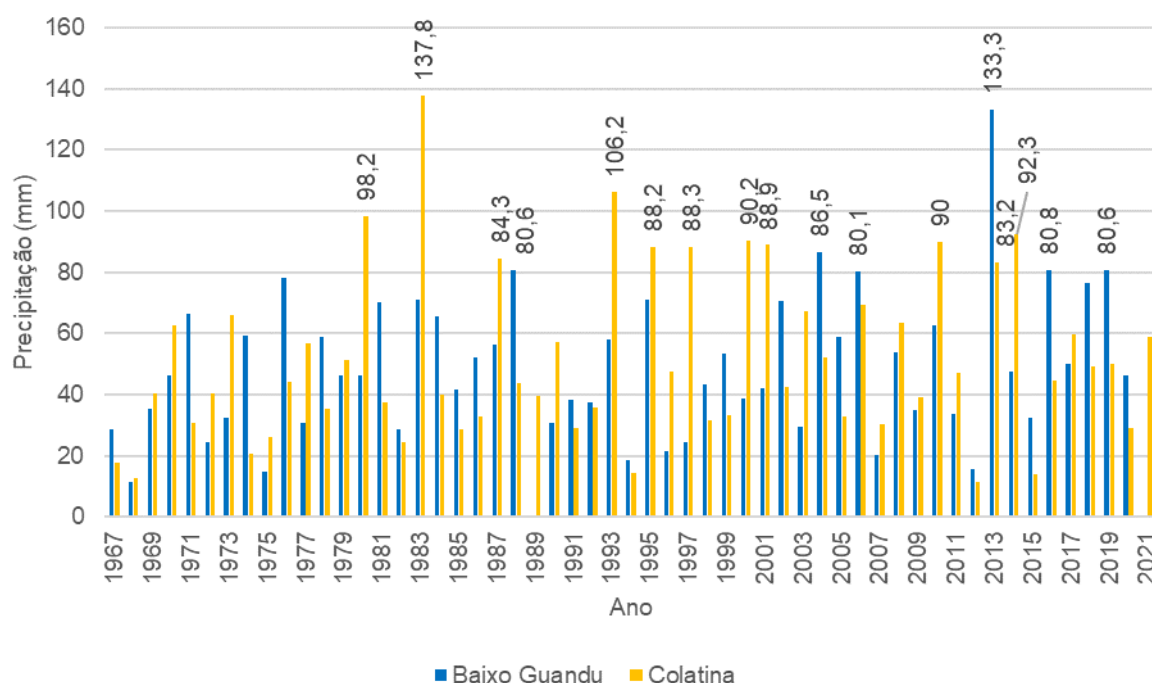


Figura AP 28 – Precipitação máxima registrada na série histórica para o mês de dezembro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

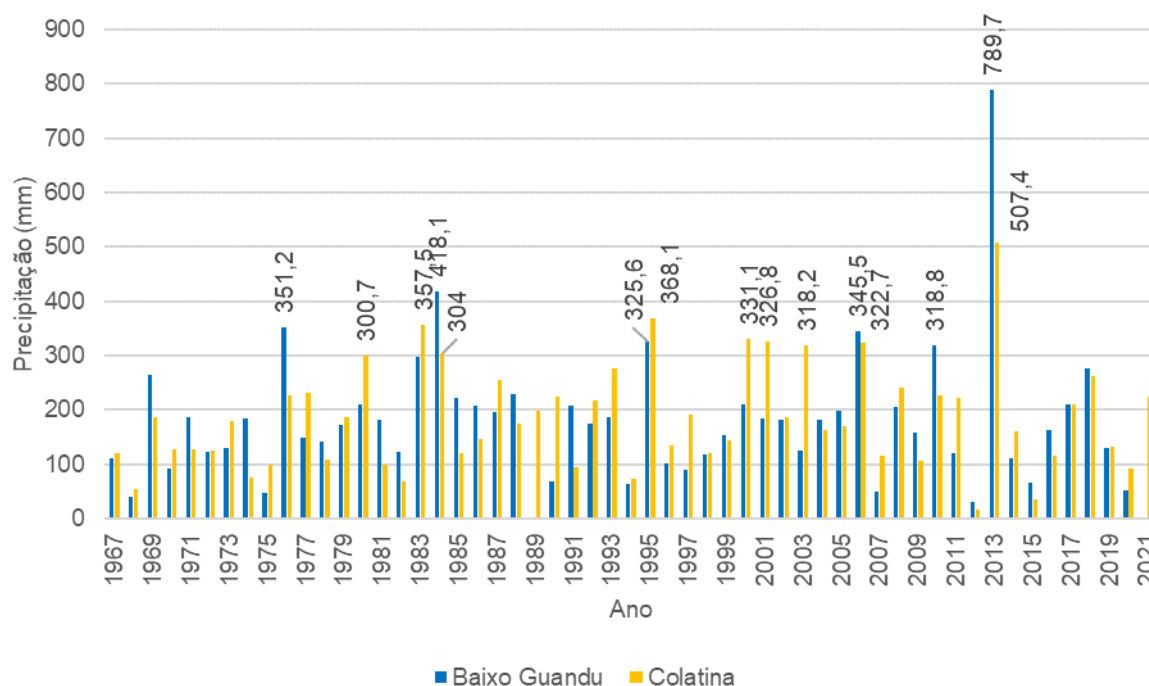


Figura AP 29 – Precipitação acumulada registrada na série histórica para o mês de dezembro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

O gráfico da Figura AP 28 mostra que, ao longo dos 55 anos de registro na estação, a maior parte dos valores máximos de precipitação ocorre entre 40 e 50 mm durante o mês de dezembro. Além disso, nota-se que foram registrados apenas quatorze eventos de precipitação máxima entre 80 e 100 mm e, ainda, três eventos de precipitação máxima com valores superiores a 100 mm, são eles: 137,8 mm (1983), 106,2 mm (1993) e 133,3 mm (2013).

A partir de 1983, a exceção de 2003, observa-se também uma recorrência de chuva máxima superior a 100 mm de 10 em 10 anos para o mês de dezembro, o que deve ser considerado na tomada de medidas de mitigação de risco, sejam elas de projeto ou preventivas. A chuva máxima registrada em 2013 foi, além disso, a segunda maior chuva registrada na história para o mês, o que reforça, uma vez mais, a conclusão de que a chuva de dezembro de 2013 é responsável pelas ocorrências identificados nas imagens do *Google Earth*.

Com relação aos somatórios de precipitação do mês de dezembro na série histórica, observa-se na Figura AP 29 que quinze vezes, nos 55 anos de registro, o acumulado

de chuva no mês atingiu valores superiores à 300 mm, sendo apenas dois destes registros superiores a 500 mm, ambos registrados no ano de 2013, um em cada estação - 507,4 mm (Colatina) e 789,7 mm (Baixo Guandu). Estes valores são, não somente os maiores valores de precipitação registrados na história local para o mês em questão, mas também em toda a série histórica.

Além disso, em média, registra-se aproximadamente 71,94 mm de chuva durante o mês de dezembro na Estação Baixo Guandu, valor este que é inferior a uma única chuva registrada em dezembro de 2013 (133,3 mm). Para a Estação Colatina – Corpo de Bombeiros a média de chuva registrada em dezembro atinge o valor de 82,87 mm (Colatina), número muito próximo ao valor de um único episódio de precipitação em dezembro de 2013 (83,2 mm).

Em função de determinar um parâmetro inicial para o valor-limite de precipitação, foi realizada a análise diária da chuva para o mês de dezembro de 2013 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros, a fim de avaliar os valores de precipitação associados aos eventos que foram identificados no *Google Earth*. A Figura AP 30 mostra a precipitação registrada no mês em questão.

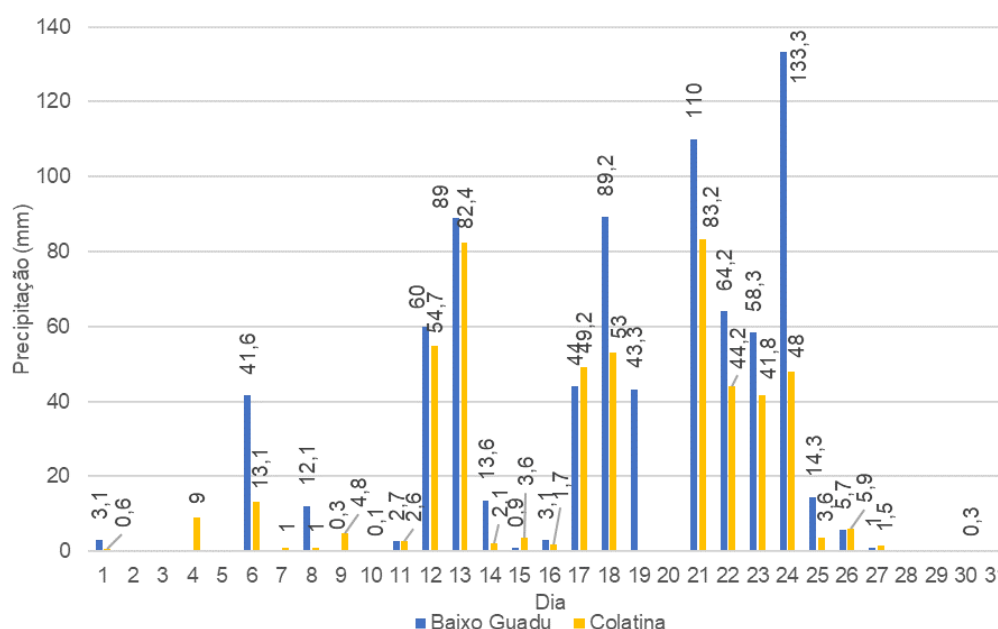


Figura AP 30 – Precipitação diária registrada no mês de dezembro de 2013 nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

Avaliando as chuvas de dezembro de 2013 nota-se que o mês se divide em quatro eventos de precipitação que chamam atenção. Um evento único, datado em 6 de dezembro, com registro de 41,6 mm de chuva na estação Baixo Guandu, e três eventos de chuva acumulada, datados nos dias 12 e 13 de dezembro (54,7 a 89,0 mm), 17 e 19 de dezembro (44,0 a 89,2 mm) e nos dias 21 a 24 de dezembro (83,2 a 133,3 mm).

Com base nestas observações e com o respaldo dos registros apresentados na Tabela AP3, é possível afirmar que os movimentos de massa são resultado não apenas de uma chuva de elevada magnitude ocorrida no dia 21 de dezembro de 2013 (110,0 mm), mas também de um acumulado de chuva bastante significativo desde o dia 12 de dezembro. Os registros de enxurrada no km 73 e no km 79 estão associados também ao acúmulo de chuva no Rio Doce, bem como aos dois eventos de precipitação superiores a 100 mm em um intervalo de três dias.

A fim de auxiliar na determinação de um valor-limite de precipitação, optou-se por avaliar o movimento de terra que bloqueou a BR-259/ES próximo ao Km 79, na madrugada do dia 05 de fevereiro para o dia 06 de fevereiro de 2018, onde se sabe, por meio das notícias veiculadas na época (Figura AP 24), que os eventos de precipitação desencadearam o desastre. A Figura AP 31 mostra a precipitação diária no mês de fevereiro de 2018.

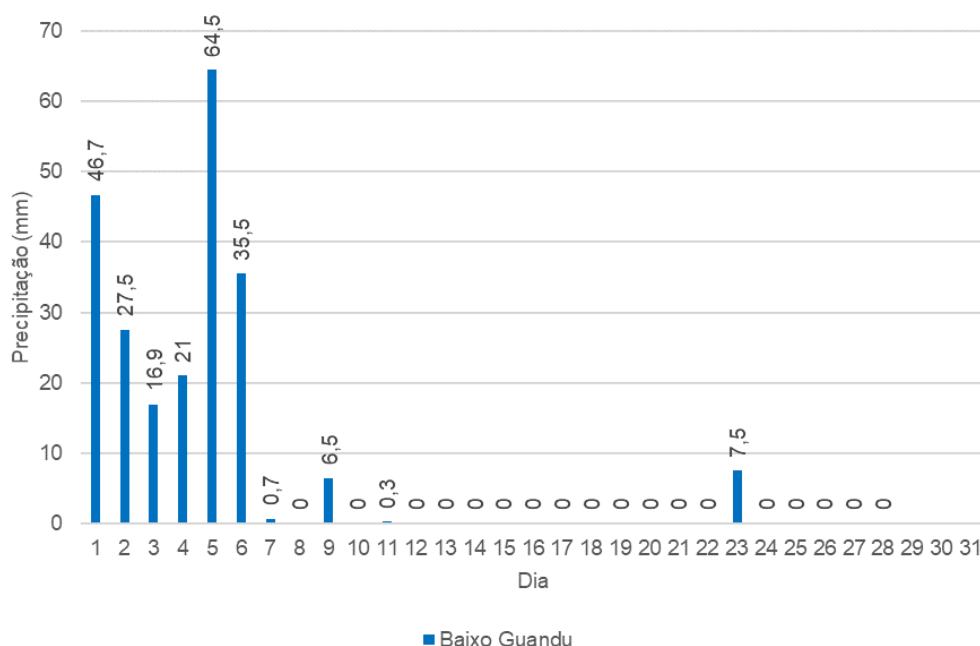


Figura AP 31 – Precipitação diária registrada no mês de fevereiro de 2018 na Estação Baixo Guandu

Uma vez que o Km 79 situa-se mais próximo à Estação Baixo Guandu, optou-se por utilizar os registros pluviométricos apenas desta estação, por serem mais representativos da realidade local. Nota-se que entre os dias 1 e 6 de fevereiro de 2018 foram registradas chuvas contínuas, gerando um acumulado de precipitação de 212,1 mm. Especificamente no dia 5, dia em que o evento foi desencadeado, houve um pico de precipitação de 64,5 mm, sendo, portanto, este número um dado valioso para a determinação do valor-limite de precipitação.

Após todas as análises expostas, é possível estabelecer uma relação entre os valores dos registros de chuva de dezembro de 2013 e fevereiro de 2018. No dia 12 de dezembro foi registrada uma chuva de 54,7 mm, que antecede uma sucessão de episódios de precipitação que desencadearam ocorrências no trecho em estudo. Este valor se aproxima bastante do valor de precipitação observado para no dia 5 de fevereiro de 2018 (64,5 mm), sendo, portanto, um bom limite a ser estabelecido para a contagem de eventos que possam desencadear novos problemas no futuro.

Sendo assim, optou-se por adotar três valores como base de análise, são eles: 60 mm, tomando como referência os eventos de 2013 e 2018 e buscando estabelecer um valor a favor da segurança da rodovia e dos usuários, 80 mm e 100 mm.

Estabelecidos estes limites, foram elaboradas a Tabela AP 4 e a Tabela AP 5, com a contagem do número de eventos de chuva iguais ou superiores aos valores determinados para cada mês do ano e para a série histórica (1967-2022) das duas estações.

Tabela AP 4 – Número de ocorrências de precipitação na Estação Baixo Guandu (1967-2022)

Precipitação	Maior 60 mm	Maior 80 mm	Maior 100 mm
Série	78	24	7
Janeiro	9	2	0
Fevereiro	10	2	2
Março	12	3	1
Abril	2	1	1
Maio	1	0	0
Junho	1	1	0
Julho	0	0	0
Agosto	0	0	0
Setembro	0	0	0
Outubro	6	3	0
Novembro	11	3	1
Dezembro	26	9	2

Tabela AP 5 – Número de ocorrências de precipitação na Estação Colatina – Corpo de Bombeiros (1967-2022)

Precipitação	Maior 60 mm	Maior 80 mm	Maior 100 mm
Série	85	34	10
Janeiro	15	4	1
Fevereiro	3	1	0
Março	11	4	2
Abril	2	1	0
Maio	1	1	0
Junho	0	0	0

Precipitação	Maior 60 mm	Maior 80 mm	Maior 100 mm
Julho	0	0	0
Agosto	0	0	0
Setembro	0	0	0
Outubro	9	3	2
Novembro	24	7	3
Dezembro	20	13	2

Avaliando o número de ocorrências da série histórica na Tabela AP 4, nota-se que apenas 79 eventos de precipitação da Estação Baixo Guandu, localizada próximo ao Km 80 da BR-259/ES, apresentaram valor igual ou superior à 60 mm. As chuvas de intensidade superior a 60 mm concentram-se especificamente de novembro a março, com picos de ocorrência sequencial em novembro e dezembro. Proporcionalmente, cerca de 47 % das chuvas mais intensas ocorrem nestes meses, sendo aproximadamente 43 % das chuvas com mais de 100 mm de precipitação também registradas no período.

Um comportamento similar é observado na Tabela AP 5, onde foram registrados 85 eventos desta magnitude. As chuvas de intensidade superior a 60 mm concentram-se especificamente de novembro a março, com picos de ocorrência sequencial de novembro a janeiro. Proporcionalmente, cerca de 70 % das chuvas mais intensas ocorrem nestes meses, sendo 60 % das chuvas com mais de 100 mm de precipitação também registradas no período.

Por todo o exposto, levando em consideração o cuidado no tratamento dos dados de registros de precipitação, a proximidade das estações de medição ao trecho do Km 70 ao 80 da BR-259/ES, a associação das imagens das ocorrências obtidas no *Google Earth* com contratos e com episódios de chuva de dezembro de 2013 e fevereiro de 2018 e, ainda, reconhecendo que o trecho estudado apresenta uma extensão de apenas 10 km, onde foram identificados 22 ocorrências, a amostra estudada pode ser adotada como representativa da realidade local.

2.5.4 Previsão de riscos geo-hidrológicos

Com o intuito de embasar as conclusões tomadas com base nas chuvas, a probabilidade de riscos geo-hidrológicos no trecho estudado (BR-259/ES do Km 70 ao 80) foi consultada na página *web* do CEMADEN.

Devido à limitação dos dados disponibilizados serem apenas de 2016 em diante, foi possível realizar uma análise pontual dos alertas associados ao evento de movimento de massa registrado em 06 de fevereiro de 2018. Os mapas de risco geo-hidrológicos emitidos pelo CEMADEN no período de 1 a 7 de fevereiro podem ser vistos na Figura AP 32 e Figura AP 33, a seguir.

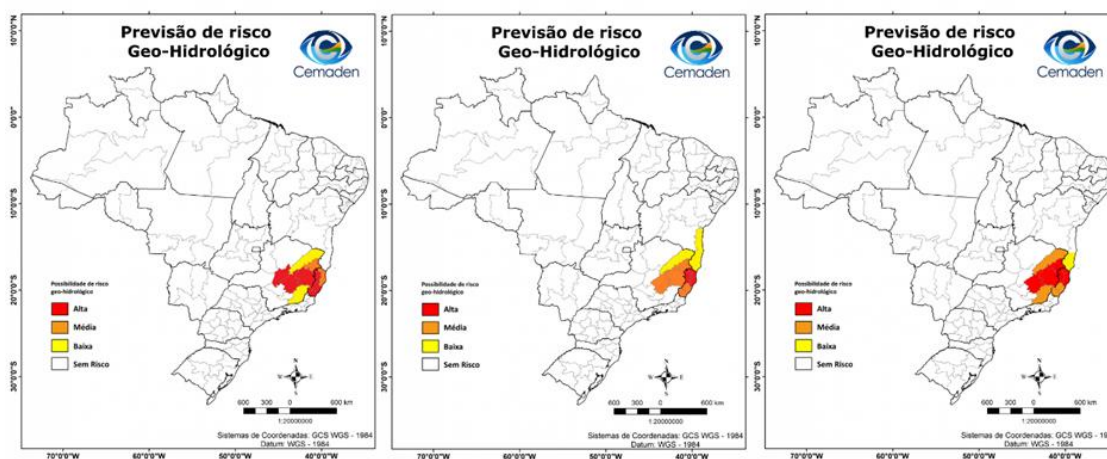


Figura AP 32 – Mapas de risco geo-hidrológico em 01, 02 e 03 de fevereiro de 2018

Fonte: CEMADEN

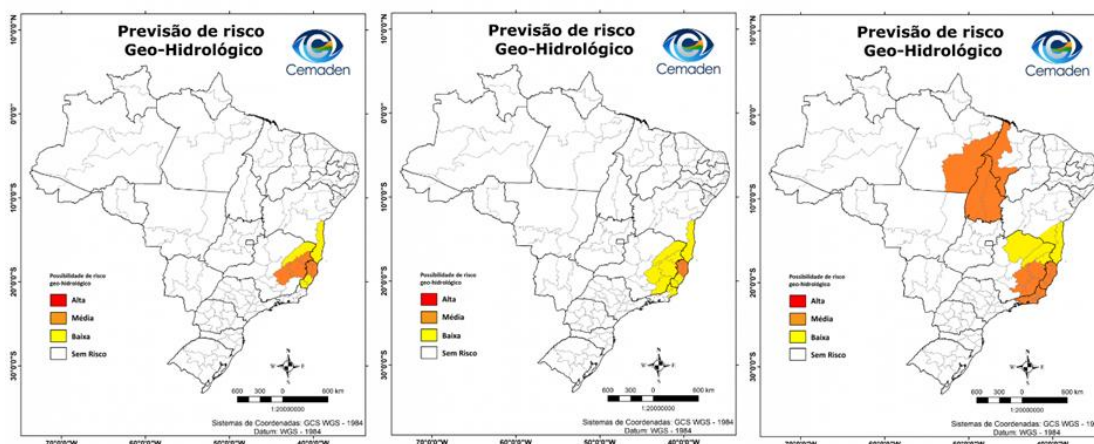


Figura AP 33 – Mapas de risco geo-hidrológico em 04, 05 e 06 de fevereiro de 2018

Fonte: CEMADEN

Analisando os mapas de risco geo-hidrológico da Figura AP 32 é possível notar que nos dias 1, 2 e 3 de fevereiro, o CEMADEN emitiu alertas de risco alto para a região onde a BR-259/ES do Km 70 ao 80 se encontra, com base na possibilidade de pancadas de chuva de intensidade moderada no Espírito Santo, que poderiam favorecer a ocorrência de eventos de enxurrada, principalmente em pequenas bacias urbanas, indicando que, caso os limiares críticos fossem atingidos, deslizamentos pontuais poderiam ocorrer devido ao alto volume de chuva acumulado nas 48 horas anteriores. Nesses dias foram registradas precipitações consecutivas de 46,7 mm, 27,5 mm e 16,9 mm, respectivamente.

Com relação aos mapas da Figura AP 33, a previsão meteorológica realizada pelo CEMADEN indicava condição para grandes acumulados pluviométricos, com possibilidade de pancadas de intensidade moderada no Espírito Santo ao longo de todo o dia. Devido ao alto volume de chuva acumulada nos últimos dias a possibilidade de ocorrência de eventos geo-hidrológicos foi considerada média no norte do Espírito Santo naquele momento. Entretanto foi registrada precipitação alta (64,5 mm) no dia 5 de fevereiro de 2013, o que deflagrou o que já vinha sendo alertado desde o dia 1º, possibilidade de enxurrada seguida de movimento de massa pontual.

Desta forma, com base nas avaliações dos alertas emitidos pelo CEMADEN é possível concluir que, de fato, o desastre registrado em fevereiro de 2013 está associado aos eventos de precipitação, sejam eles pontuais ou acumulados, e que este o limiar de chuva atingido neste dia é um bom valor para se tomar como base para a emissão de alertas.

2.5.5 Valor-limite de precipitação

De acordo com a metodologia proposta no documento *Melhoria da Resiliência Climática da Malha Rodoviária Federal Brasileira*, publicado em 2019 pelo Banco Mundial, é possível definir a probabilidade de um evento de movimento de massa por meio da sua relação com a ocorrência de um fator desencadeador, que seria um valor-limite de precipitação. Esse valor-limite pode ser calculado para micro divisões regionais ou setores com características climatológicas, geológicas e geomorfológicas

similares. Desta forma, define-se, estatisticamente, que ao calcular a probabilidade desse valor-limite ser atingido, é possível também inferir a probabilidade de um evento de movimento de massa na região como um todo.

A probabilidade de um evento de movimento de massa, entretanto, se trata de um cálculo extremamente complexo uma vez que está associada à heterogeneidade do ambiente, do solo e dos regimes de precipitação. Para tanto, parte-se de três premissas básicas para determinação desta probabilidade:

- Os fatores que causaram movimento de massa no passado são os mesmos fatores que os causam hoje;
- A probabilidade de um movimento de massa ocorrer no futuro é a mesma que a taxa de recorrência do passado;
- Cada setor é uma microrregião que compartilha as mesmas características climatológicas (regime pluviométrico) e geológico-geomorfológicas (tipos de rochas e formas de relevo) uniformemente distribuídas.

Sendo assim, a definição do valor-limite, de acordo com o material do Banco Mundial, depende de dois bancos de dados distintos, a saber: o inventário de movimentos de massa, com todas as informações que os descrevem, como localização, dia e hora de cada evento, e um banco de dados meteorológicos históricos. O resultado será a probabilidade de ocorrer um evento de movimento de massa em toda a região.

Com base nas conclusões obtidas por meio das análises da subseção 2.5.3, da Tabela AP 4 e Tabela AP 5 e dos mapas de risco hidro-geológicos gerados pelo CEMADEN, é possível estabelecer valores-limites de precipitação para a região próxima à BR-259/ES conforme a Tabela AP 6, a seguir.

Tabela AP 6 – Valor-limite de precipitação

Valor-limite	Medida
60 mm	Emissão alerta de risco moderado
60 mm - 80 mm	Emissão de alerta de risco alto
Acima de 80 mm	Emissão de alerta de risco muito alto

Uma vez que poucos eventos de precipitação atingem o valor de 60 mm neste trecho, determina-se que o início do risco pode começar assim que os acumulados de chuva ou chuvas isoladas atinjam valores próximos deste limite, sendo um valor indicado para o início da emissão de alertas de risco hidrológico e geológico. Para valores iguais ou superiores a 60 mm e inferiores à 80 mm, estabelece-se um risco alto de desastres hidro-geológicos e um risco muito alto destes para valores de precipitação superiores a 80 mm.

Os estudos realizados pelo Banco Mundial fizeram a determinação da taxa de recorrência do valor-limite de cada bacia com base em três etapas: seleção dos eventos com precipitação diária acima do valor-limite; seleção, dentre esses eventos, daqueles cuja precipitação acumulada durante 96 horas excedeu o valor-limite da bacia pluviométrica em questão e contagem do número de eventos selecionados. Entretanto, diferente da situação proposta no documento do Banco Mundial, que possuía dados horários de precipitação para execução das análises, os dados disponíveis para a estação estudada são diários (somatório de 24h), não sendo possível realizar uma análise precisa da extensão temporal dos eventos de precipitação.

Desta forma, baseado nos dados disponíveis e adaptando a metodologia para a realidade deles, entendendo que todos os antecedentes analisados pertencem a uma região com características geológicas e geomorfológicas similares, mas com comportamentos de precipitação distintos detectados nas duas estações mais próximas ao trecho, é possível determinar dois valores de taxa de recorrência do valor-limite para o trecho estudado, conforme Tabela AP 7, a seguir.

Tabela AP 7 – Taxa de recorrência do valor-limite nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

Estação	Baixo Guandu	Colatina
Localização	Km 80	Km 70
Nº Ocorrências	78	85
Horizonte de Monitoramento	55	55
Taxa de recorrência	1,4	1,6

Portanto, determina-se que a probabilidade de um evento causar movimentos de massa é de 1,4 vezes por ano nas proximidades do Km 80 e 1,6 vezes por ano nas proximidades do Km 70 do trecho da BR-259/ES. Destaca-se que a metodologia foi realizada para as duas estações em questão, para facilitar o entendimento da adaptação da metodologia proposta pelo Banco Mundial (2019), entretanto, apenas a estação de Colatina se encontra na mesma isoietas do trecho, conforme apresentado na Figura AP8. Assim, a taxa de recorrência de 2 – número inteiro imediatamente superior – eventos por ano foi estabelecida para a elaboração da matriz de riscos.

Além disso, nota-se uma elevada recorrência destes eventos associada aos meses de novembro a janeiro, podendo ser determinada também uma probabilidade de que esses eventos aconteçam no período em questão. Este valor pode ser calculado pela razão entre o somatório dos eventos ocorridos nos meses em questão pelo total de eventos de precipitação igual ou superior a 60 mm ao longo da série histórica. A probabilidade de um evento de precipitação que possa implicar em um desastre ocorrer nestes meses pode ser vista na Tabela AP 8.

Tabela AP 8 – Probabilidade de atingir o valor-limite de precipitação entre novembro e janeiro nas estações Baixo Guandu e Colatina – Corpo de Bombeiros

Estação	Baixo Guandu	Colatina
Localização	Km 80	Km 70
Número de ocorrências (novembro a janeiro)	46	59
Total de ocorrências	119	119
Probabilidade	39 %	50 %

Associado à Estação Baixo Guandu a probabilidade de que se registre ocorrências associadas à precipitação nos meses de novembro, dezembro e janeiro atinge 39 %, enquanto para a Estação Colatina – Corpo de Bombeiro o valor chega à 50 %. Estes valores são bons indicadores para a emissão de alertas e tomada de decisões bem direcionados nos meses em questão, a fim de mitigar os riscos associados às ocorrências tanto para as rodovias quanto para os usuários.

Vale salientar que, apesar de o presente estudo definir um valor-limite de precipitação, os eventos de chuva podem afetar as rodovias federais mesmo que este índice não seja atingido em um único dia ou em um único evento. Os mapas de risco disponibilizados pelo CEMADEN e os alertas da Defesa Civil tem como base o acumulado de chuva e a previsão meteorológica para o dia seguinte, de modo que vários dias contínuos de chuva insistente possam atingir este valor-limite e ocasionar diferentes tipos de danos às rodovias e encostas. Entretanto, para uma análise mais precisa dos eventos de acúmulos temporais, seria importante obter dados horários de precipitação, que no momento, não estão disponíveis no trecho estudado.

2.6 MAPA DE RISCOS DOS ELEMENTOS EXPOSTOS

Após a obtenção do valor da taxa de recorrência, foram elaboradas as matrizes de risco, tanto para movimento de massa, quanto para inundações. A Figura AP 34, a seguir, apresenta o mapa de risco ao movimento de massa.

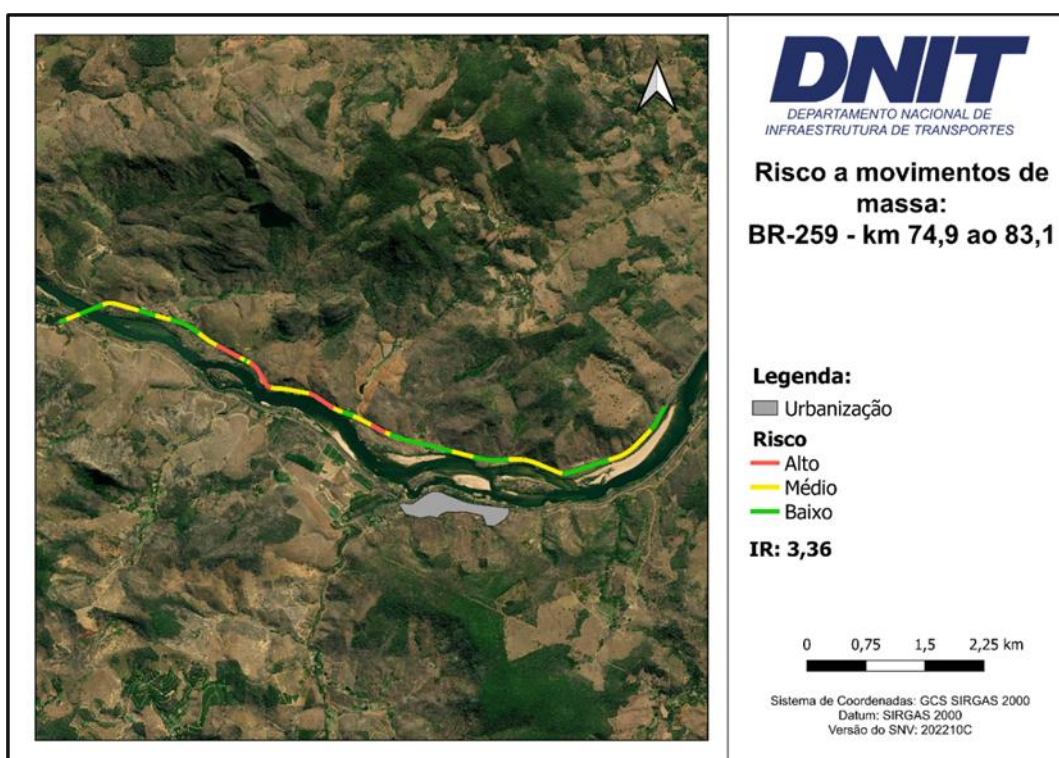


Figura AP 34 – Mapa de risco a movimentos de massa

A Figura AP 35, a seguir, contém o mapa de risco a movimento de massa dos elementos expostos.

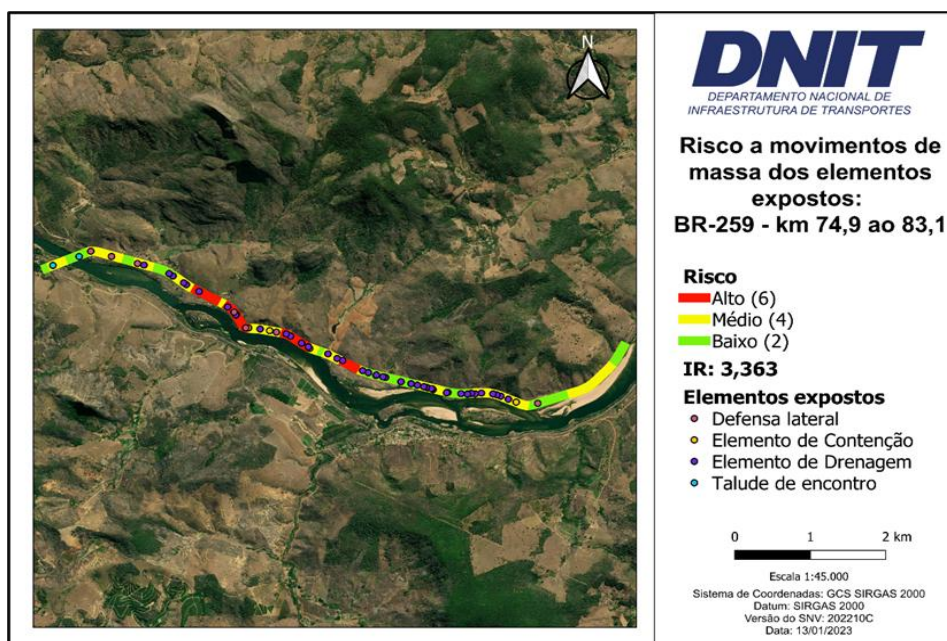


Figura AP 35 – Mapa de risco a movimentos de massa dos elementos expostos

O mapa de risco a inundações do trecho em estudo está apresentado na Figura AP 36, a seguir.

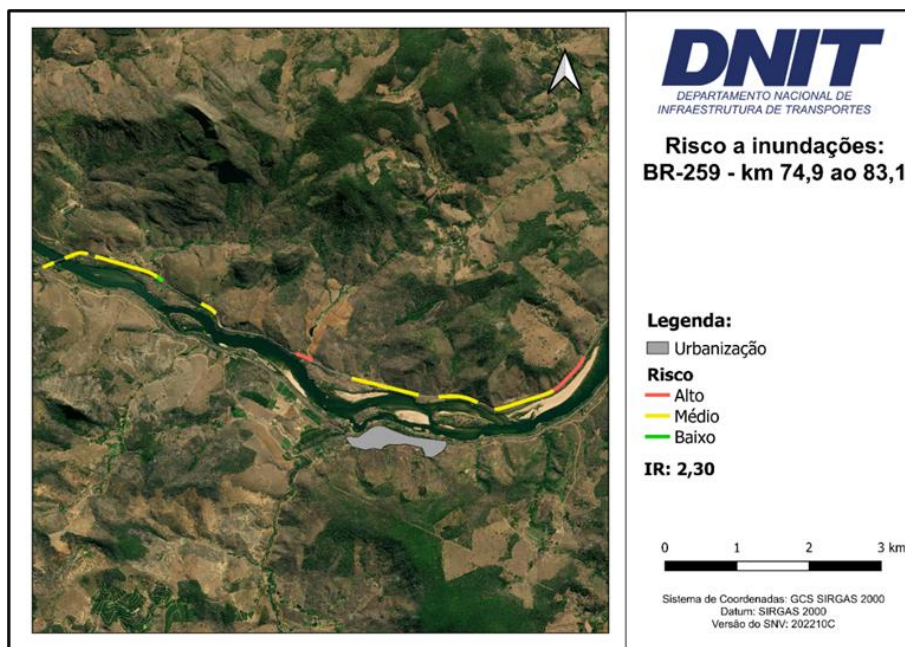


Figura AP 36 – Mapa de risco a movimentos de massa dos elementos expostos

A Figura AP 37, a seguir, contém o mapa de risco a inundações dos elementos expostos.

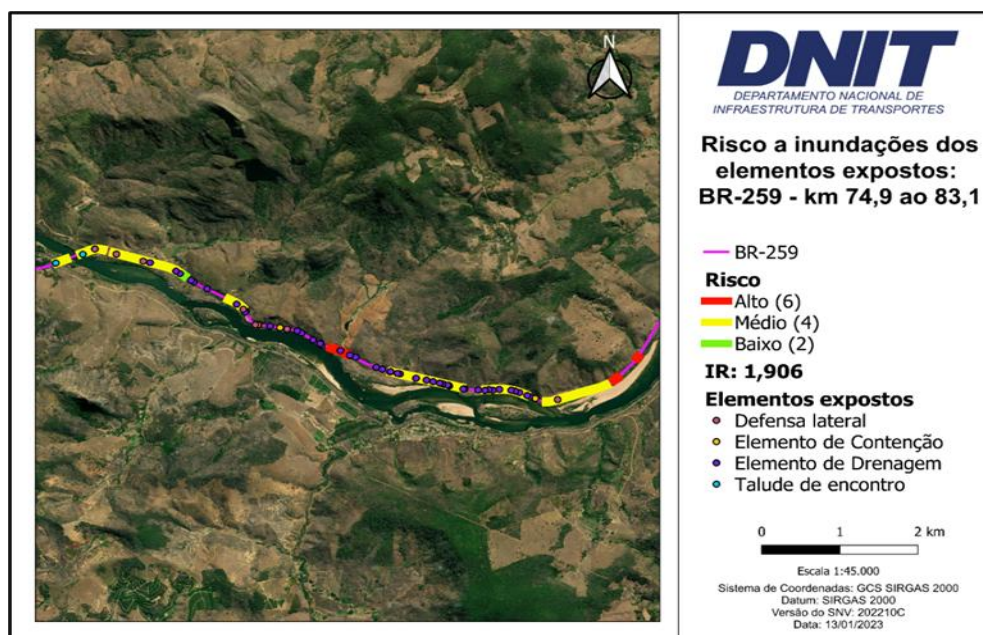


Figura AP 37 – Mapa de risco a inundações dos elementos expostos

APÊNDICE II – AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A utilização da avaliação econômica por meio do método Tomada de Decisões sob Profunda Incerteza (*Decision Making under Deep Uncertainty – DMDU*), no contexto relativo à adaptação de trechos rodoviários quanto à resiliência climática, busca identificar os benefícios econômicos decorrentes de investimentos em intervenções preventivas, de forma a criar estruturas resilientes à ação climática e mitigar o risco de ocorrências de eventos disruptivos. A seguir, será apresentado o método utilizado para a criação da planilha DMDU (Anexo B) e a aplicação desta avaliação para um trecho priorizado como Extremamente Alto – BR-259/ES, do quilômetro 70 ao 80 – por meio da metodologia a ser aplicada no Planejamento Estratégico.

• Criação da planilha

Primeiramente, foi criada uma aba **Dados** na planilha para a inserção dos dados das variáveis de entrada do trecho da BR-259/ES (Figura AP 38) e criação de um cenário teste (Figura AP 39), de forma a permitir os ajustes e possíveis correções das fórmulas utilizadas nos cálculos das variáveis de saída: EAD sem e com projeto; EAUL sem e com projeto; EAL sem e com projeto e VPL.

	A	B	C	D	E	F
1						
2			Método DMDU - BR-259/ES			
3		Incerteza	Variável	Valor/Intervalo		unidade
4		Relativamente fáceis de estimar	Custo operacional do veículo	2,44		R\$/km
5			Km extra	27		km
6			VMDa	8040		Veículos
7			Valor do tempo	22,74		R\$/h
8		Presumivelmente incertas	Tempo de interrupção (mín/máx)	3	168	h
9			Comportamento do usuário (seguem/esperam)	60	40	%
10			Custo de manutenção	869.248,83		R\$
11		Profundamente Incertas	Número médio anual de ocorrências	1	15	
12			Custo médio de reparação	469.519,08	1.408.557,23	R\$
13			Investimento inicial	7.963.370,96	23.890.112,88	R\$
14			Redução média do risco	5,00	50,00	%
15			Aumento do custo de manutenção anual	10,00	40,00	%
16			Aumento anual de probabilidade de acontecer uma nova ocorrência	0,00	2,00	%
17						

Figura AP 38 – Dados das variáveis para o trecho da BR-259/ES

	H	I	J	K	L	AA	AB	AC
1								
2			Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 18	Ano 19	Ano 20
3		EAD (sp)	R\$ 469.519,08	R\$ 472.784,84	R\$ 476.073,32	R\$ 528.236,42	R\$ 531.910,59	R\$ 535.610,32
4		EAUL (sp)	R\$ 537.200,64	R\$ 542.572,65	R\$ 547.998,37	R\$ 636.209,10	R\$ 642.571,19	R\$ 648.996,90
5		EAD (cp)	R\$ 446.043,12	R\$ 449.145,60	R\$ 452.269,65	R\$ 501.824,60	R\$ 505.315,06	R\$ 508.829,81
6		EAUL (cp)	R\$ 510.340,61	R\$ 515.444,01	R\$ 520.598,45	R\$ 604.398,64	R\$ 610.442,63	R\$ 616.547,06
7			0	1	2	17	18	19
8		EAL (sp)	R\$ 1.006.719,72	R\$ 935.813,35	R\$ 869.903,11	R\$ 290.946,83	R\$ 270.464,95	R\$ 251.425,52
9		EAL (cp)	R\$ 956.383,73	R\$ 889.022,68	R\$ 826.407,96	R\$ 276.399,49	R\$ 256.941,71	R\$ 238.854,24
10		Diferença	R\$ 50.335,99	R\$ 46.790,67	R\$ 43.495,16	R\$ 14.547,34	R\$ 13.523,25	R\$ 12.571,28
11		Manutenção (sp)	869.248,83	869.248,83	869.248,83	869.248,83	869.248,83	869.248,83
12		Manutenção (cp)	956.173,71	956.173,71	956.173,71	956.173,71	956.173,71	956.173,71
13		d	8,50%					
14		y	1					
15			20					
16		VPL	-R\$ 7.414.510,80					

Figura AP 39 – Dados das variáveis para o trecho da BR-259/ES

É importante mencionar que foi realizada uma pesquisa no site do IBGE para verificar a renda média mensal dos trabalhadores do Estado do Espírito Santo, que foi de aproximadamente dois salários-mínimos. Portanto, o WTP utilizado foi de 22,74 R\$/hora.

A partir de um levantamento de notícias, foi constatado que o tempo médio de interrupção de rodovias onde ocorrem **Movimentos de massa** é de sete dias. Na metodologia proposta pelo Banco Mundial (2019), esta variável é fixada em três horas. Porém, por considerarmos que o tempo de interrupção é uma variável incerta e que depende de uma série de fatores, como o volume de material na pista e a gravidade do desastre, entre outros, foi adotado um intervalo entre 3 e 168 horas.

Uma variável para a qual foi fixado um valor pela metodologia proposta pelo Banco Mundial (2019) é o Comportamento do usuário, entretanto, sabe-se que essa variável é presumivelmente incerta e que não existe um registro ou fonte **clara** desse valor. Dessa forma, decidiu-se condicionar o valor a ser utilizado com o tempo de interrupção do trecho, em intervalos de valores aleatórios, assumindo que quanto maior for o tempo de espera mais usuários optarão por seguir o caminho pela rota alternativa.

Assim como as variáveis relatadas no parágrafo anterior, outras duas que foram assumidas como diretamente proporcionais entre si são: Investimento inicial e Aumento do custo de manutenção. Quanto maior for o investimento em intervenções, maior será o custo necessário para manter a infraestrutura nas condições ideais.

Sendo assim, a variável Aumento do custo de manutenção foi condicionada ao Investimento inicial em contramedidas preventivas, de maneira a criar cenários que tendam a se aproximar mais à realidade.

Na sequência, em uma nova aba da planilha, denominada **Cenários**, foram criadas colunas para as variáveis presumivelmente incertas e profundamente incertas que possuem intervalos de variação, como pode ser observado nas colunas A até J, da Figura AP 40, a seguir. As células correspondentes a estas variáveis foram programadas para variar aleatoriamente, conforme as condições previamente estabelecidas. Além disso, as linhas de cálculo apresentadas na Figura AP 39, anterior, foram alocadas em uma mesma linha, possibilitando a criação de um cenário para cada linha da planilha. A Figura AP 40, a seguir, apresenta alguns dos 5 mil cenários gerados e os respectivos valores de VPL e a relação benefício/custo.

Após a inserção dos dados de entrada (colunas A até J) com valores aleatórios entre os intervalos definidos, a EAD sem projeto e a EAUL sem projeto foram calculados para o horizonte de 20 anos, nas colunas K a AD e AE a AX, respectivamente. O EAD e o EAUL nos cenários com projeto foram calculados considerando a redução média do risco de desastre com a implantação de medidas de Resiliência Climática. Essas perdas estão apresentadas nas colunas AY a CL. As perdas anuais totais (EAL) para os cenários sem e com projeto estão apresentadas nas colunas CM a DZ. As diferenças anuais entre a EAL sem projeto e a EAL com projeto são apresentadas nas colunas EA a ET.

Com a posse de todos os dados mencionados acima, é possível realizar o cálculo do VPL, apresentado na coluna EU. Os custos totais em 20 anos estão calculados e apresentados na coluna EV, e, por último, a relação benefício/custo apresenta-se na coluna EW.

Além dos 5 mil cenários, mostrados parcialmente na Figura AP 40, a seguir, foram realizadas outras três simulações: 1,5 mil; 10 mil e 1 milhão de cenários. Verificou-se que 5 mil cenários apresentam resultados muito similares com as simulações de 10 mil e 1 milhão de cenários, portanto, mostrando-se suficiente. As simulações

realizadas com 1,5 mil cenários apresentaram maior variância entre os resultados do que as outras, portanto sendo descartada. Para a simulação de 1 milhão de cenários, foi produzido um código de programação no MATLAB®, apresentado em sequência à Figura AP 40.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	EU	EV	EW
2	Variáveis presumivelmente incertas			Variáveis profundamente incertas									
3	Tempo de interrupção (h)	Usuários que seguem (%)	Usuários que esperam (%)	Número médio anual de ocorrências	Número médio anual de desastres reduzido	Custo Médio de reparação(R\$)	Investimento inicial (R\$)	Redução média do risco (%)	Aumento do custo de manutenção anual (%)	Aumento anual de probabilidade de de acontecerem novas ocorrências (%)	VPL (milhões de reais)	Custo	Benefício/custo
4	72	59	41	10,5	8,5	921.306,00	10.028.335,00	19	16	1,5	140,81	R\$ 12.809.931,26	11,78
5	97	51	49	15,2	12,3	836.731,00	12.514.483,00	19	18	2,8	343,05	R\$ 15.643.778,79	22,73
6	119	80	20	7,2	5,5	987.612,00	14.808.820,00	24	26	1,5	99,32	R\$ 19.328.913,92	5,90
7	94	41	59	15,9	10,5	797.637,00	8.723.953,00	34	16	2,0	703,04	R\$ 11.505.549,26	61,86
8	164	80	20	12,4	8,5	670.682,00	14.540.968,00	32	23	1,4	305,20	R\$ 18.539.512,62	17,25
9	141	97	3	14,2	10,5	751.047,00	9.188.083,00	26	11	1,4	76,15	R\$ 11.100.430,43	7,69
10	41	36	64	12,0	8,9	607.640,00	23.276.276,00	26	40	1,2	171,77	R\$ 30.230.266,64	6,45
11	94	42	58	1,7	1,0	905.250,00	18.248.213,00	41	25	1,5	70,21	R\$ 22.594.457,15	3,92
12	91	42	58	9,4	5,3	745.698,00	23.208.392,00	43	38	2,2	491,10	R\$ 29.814.683,11	17,25
13	122	73	27	16,0	13,4	728.495,00	11.158.379,00	16	14	2,9	219,72	R\$ 13.592.275,72	16,99
14	19	19	81	2,6	2,0	770.516,00	20.204.128,00	21	36	2,2	3,65	R\$ 26.462.719,58	0,90
15	23	19	81	14,3	11,9	850.742,00	9.644.719,00	17	14	1,9	114,75	R\$ 12.078.615,72	10,30
16	96	51	49	13,2	9,8	1.005.431,00	17.698.700,00	26	27	2,5	399,93	R\$ 22.992.643,68	18,65
17	40	35	65	7,1	4,5	1.326.048,00	19.590.282,00	37	32	2,0	175,38	R\$ 25.153.474,51	7,75
4990	15	12	88	6,3	3,4	1.321.816,00	22.738.063,00	46	31	2,8	115,65	R\$ 28.127.405,75	4,92
4991	168	83	17	15,3	8,3	514.369,00	23.040.064,00	46	34	2,6	516,62	R\$ 28.950.956,04	18,64
4992	45	32	68	12,6	8,6	1.256.428,00	20.237.680,00	32	31	1,0	290,89	R\$ 25.627.022,75	12,14
4993	73	43	57	7,7	6,8	994.868,00	11.778.744,00	11	20	2,5	79,54	R\$ 15.255.739,32	5,99
4994	98	51	49	2,8	1,8	1.252.931,00	9.596.174,00	35	19	3,0	119,70	R\$ 12.899.319,55	10,02
4995	7	6	94	2,1	1,4	518.698,00	16.307.134,00	30	30	2,8	-2,66	R\$ 21.522.626,98	0,63
4996	64	25	75	6,7	3,8	819.920,00	10.156.885,00	44	15	2,7	348,36	R\$ 12.764.631,49	28,09
4997	129	63	37	15,4	14,5	864.411,00	10.394.402,00	6	10	2,1	98,83	R\$ 12.132.899,66	9,00
4998	95	40	60	5,6	4,0	546.894,00	15.049.579,00	29	27	1,5	192,03	R\$ 19.743.522,68	10,49
4999	121	80	20	6,7	4,5	695.338,00	23.407.547,00	34	31	2,5	132,82	R\$ 28.796.889,75	5,43
5000	52	34	66	6,9	6,4	952.896,00	13.204.589,00	6	16	1,5	21,57	R\$ 15.986.185,26	2,18
5001	34	18	82	2,2	1,6	1.193.812,00	15.861.558,00	28	27	2,1	31,56	R\$ 20.555.501,68	2,31
5002	144	92	8	3,6	3,3	1.283.699,00	9.289.513,00	10	18	1,4	6,65	R\$ 12.418.808,79	1,28
5003	153	85	15	9,7	8,5	792.820,00	13.345.819,00	13	24	2,9	73,82	R\$ 17.518.213,38	4,98

Figura AP 40 – Cenários Econômicos DMDU

• Código MATLAB

```

VMDa = 8040;
valor_tempo = 22.74;
km_extra = 27;
custo_operac = 2.44;
d = 0.085;
ano_i = 1;
ano_f = 20;
custo_manutencao = 869248.93;
cont_VPL_pos = 0;
cont_BC_viaav = 0;
cont_BC_inviaav = 0;

simulacao_MC = 10^6;

```

```
for j = 1:simulacao_MC
    min_desastres = 1;
    max_desastres = 15;
    num_med_anual_desastres = randi([min_desastres,max_desastres]);

    min_custo_reparacao = 469519.08;
    max_custo_reparacao = 1408557.23;
    custo_med_reparacao = randi([min_custo_reparacao*100
max_custo_reparacao*100])/100;

    min_investimento = 7963370.96;
    max_investimento = 23890112.88;
    investimento_inicial = randi([min_investimento*100
max_investimento*100])/100;

    min_reducao_risco = 0.05;
    max_reducao_risco = 0.5;
    reducao_med_risco = randi([min_reducao_risco*100
max_reducao_risco*100])/100;

    if investimento_inicial <= 28000000
        aumento_custo_manutencao_anual = randi([10 20])/100;
    elseif investimento_inicial > 28000000 && investimento_inicial <=
3600000
        aumento_custo_manutencao_anual = randi([20 30])/100;
    else
        aumento_custo_manutencao_anual = randi([30 40])/100;
    end

    min_probab_ocorrencia_desastre = 0.01;
    max_probab_ocorrencia_desastre = 0.025;
    aumento_probab_ocorrencia_desastre =
randi([min_probab_ocorrencia_desastre*1000
max_probab_ocorrencia_desastre*1000])/1000;
```

```

min_temp = 3;
max_temp = 168;
temp_interrup = randi([min_temp*100 max_temp*100])/100;
if temp_interrup <= 30
    comp_usuario_segue = randi([10 20])/100;
elseif temp_interrup > 30 && temp_interrup <= 60;
    comp_usuario_segue = randi([20 40])/100;
elseif temp_interrup > 60 && temp_interrup <= 90;
    comp_usuario_segue = randi([40 60])/100;
elseif temp_interrup > 90 && temp_interrup <= 120;
    comp_usuario_segue = randi([60 80])/100;
else
    comp_usuario_segue = randi([80 100])/100;
end

comp_usuario_espera = 1 - comp_usuario_segue;

for ano = ano_i:ano_f
    EAD_sp(ano) = custo_med_reparacao * num_med_anual_desastres *
    (1+aumento_probab_ocorrencia_desastre)^(ano-1);
    EAUL_sp(ano) = num_med_anual_desastres * ((comp_usuario_segue *
    custo_operac * km_extra * VMDa) + ...
    (comp_usuario_espera * temp_interrup * valor_tempo *
    VMDa)) * (1+aumento_probab_ocorrencia_desastre)^(ano-1);
    EAD_cp(ano) = EAD_sp(ano) * (1-reducao_med_risco);
    EAUL_cp(ano) = EAUL_sp(ano) * (1-reducao_med_risco);
    EAL_sp(ano) = (EAD_sp(ano) + EAUL_sp(ano)) / ((1+d)^(ano - 1));
    EAL_cp(ano) = (EAD_cp(ano) + EAUL_cp(ano)) / ((1+d)^(ano - 1));
    diferenca(ano) = EAL_sp(ano) - EAL_cp(ano);
end

VPL(j) = sum(diferenca) - investimento_inicial;

BC(j) = sum(diferenca) / (investimento_inicial + ((custo_manutencao *
(1 + aumento_custo_manutencao_anual) * 20) - (custo_manutencao * 20)));

if VPL(j) > 0
    cont_VPL_pos = cont_VPL_pos + 1;

```

```
EAL_cp_media(cont_VPL_pos) = mean(EAL_cp);
EAL_sp_media(cont_VPL_pos) = mean(EAL_sp);
diferenca_media(cont_VPL_pos) = mean(diferenca);
if BC(j) > 1
    cont_BC_viaav = cont_BC_viaav + 1;
else
    cont_BC_inviaav = cont_BC_inviaav + 1;
end
end
end

media_VPL = mean(VPL);
variancia_VPL = var(VPL);
cont_VPL_neg = simulacao_MC - cont_VPL_pos;
viabilidade_geral = cont_BC_viaav / simulacao_MC;
inviabilidade_geral = 1 - viabilidade_geral;
viabilidade_BC = cont_BC_viaav / cont_VPL_pos;
inviabilidade_BC = 1 - viabilidade_BC;
cont_VPL_neg = simulacao_MC - cont_VPL_pos;
figure (1)
boxplot(EAL_cp_media);
figure (2)
boxplot(EAL_sp_media);
figure (3)
boxplot(diferenca_media);
figure (4)
histogram (VPL);
```

- **Resultados DMDU**

A seguir, estão apresentados os resultados provenientes das três simulações realizadas para o trecho da BR-259/ES, tanto daquelas realizadas para 10 mil e 5 mil

cenários futuros (*simulações 1 e 2*, respectivamente), quanto para a simulação com 1 milhão de cenários, realizada no MATLAB (*simulação 3*).

Primeiramente, foram gerados os histogramas dos resultados obtidos para o Valor Presente Líquido (VPL). As Figuras AP 41, AP 42 e AP 43 apresentam os histogramas das simulações 1, 2 e 3, respectivamente.

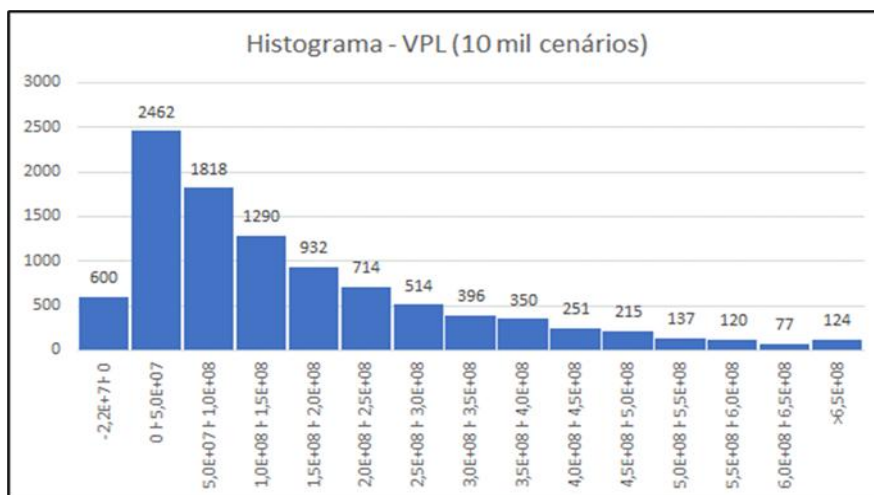


Figura AP 41 – Histograma dos valores de VPL da simulação 1

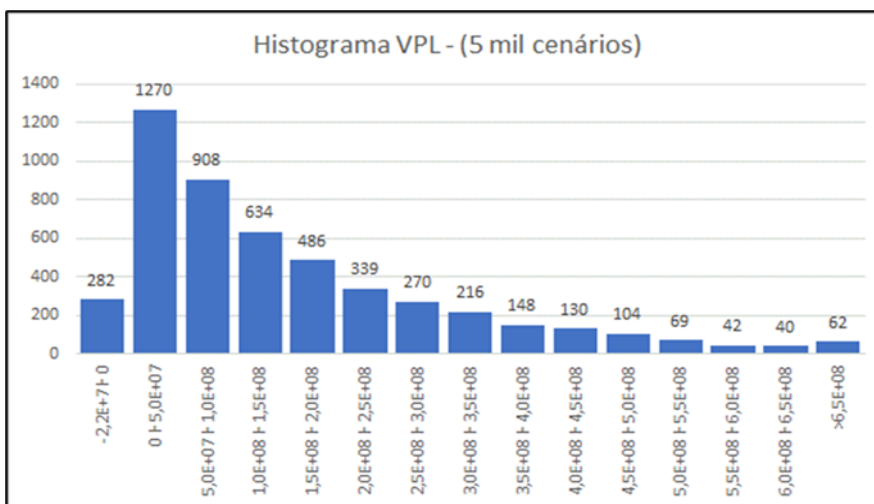


Figura AP 42 – Histograma dos valores de VPL da simulação 2

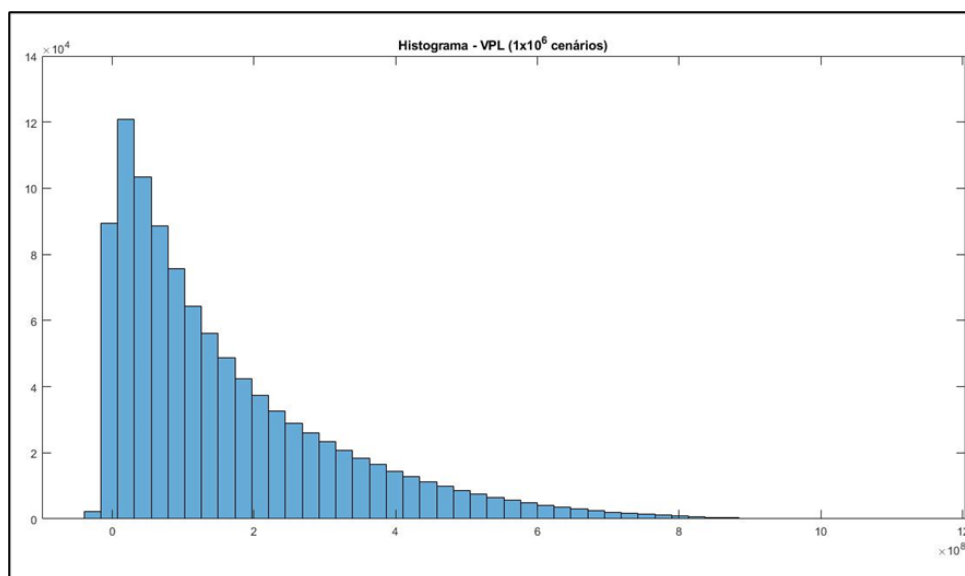


Figura AP 43 – Histograma dos valores de VPL da simulação 3

A partir dos dados mostrados na Tabela AP 9, a seguir, pode-se perceber que a simulação com 5 mil cenários apresentou valores relativos bastante próximos daqueles resultantes das simulações com 10 mil e 1 milhão de cenários. A diferença máxima percentual entre os cenários que apresentaram a relação benefício/custo maior que 1 foi de 0,81 %, representando uma correspondência alta entre os resultados. Dessa forma, conclui-se que mesmo a simulação com 5 mil cenários pode ser viável para a realização da análise DMDU para o trecho estudado. Assim, a avaliação dos resultados levou em consideração aqueles provenientes da simulação 2.

Tabela AP 9 – Comparativo das simulações

	Simulação 1		Simulação 2		Simulação 3	
	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%
VPL > 0	9.400	94,00	4.718	94,36	946.046	94,60
VPL < 0	600	6,00	282	5,64	53.954	5,40
B/C > 1 (VPL > 0)	9.156	97,40	4.602	97,54	923.729	97,64
B/C <= 1 (VPL > 0)	244	2,60	116	2,46	22.317	2,36
Cenários B/C > 1	91,56%		92,04%		92,37%	

Os valores da relação benefício/custo dos 5 mil cenários simulados para o trecho da BR-259/ES variaram entre aproximadamente 0 e 81. Entretanto, existem valores discrepantes (*outliers*) que não foram desconsiderados na Tabela AP 9, por se tratar de uma tabela comparativa entre as simulações, considerando assim todos os cenários. A Figura AP 44, a seguir, apresenta o diagrama de caixa (*boxplot*) que representa a amplitude dos valores de benefício/custo, permitindo a visualização dos pontos a serem desconsiderados na análise.

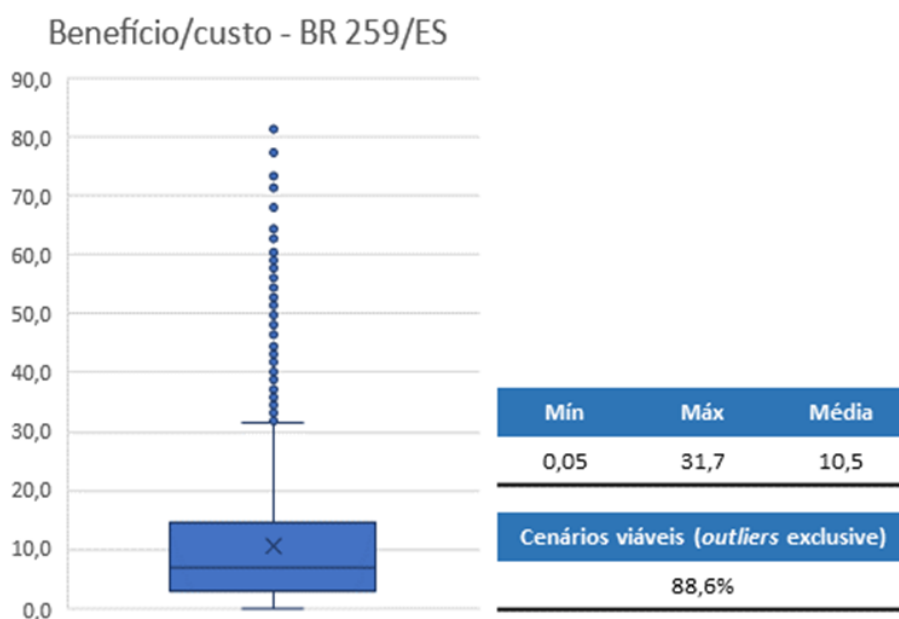


Figura AP 44 – *Boxplot* benefício/custo

A análise do *boxplot* apresentado na figura anterior permite inferir que a razão benefício/custo acima de 31,7 seria discrepante em relação ao conjunto de resultados provenientes da simulação. Sendo assim, optou-se por denominar **cenários viáveis** todos aqueles que possuem a razão benefício/custo maior do que 1 (um) e que não sejam maiores que o valor do quarto quartil – *outliers*. Dessa forma, a simulação 2 apresentou viabilidade econômica em 88,6% dos cenários gerados.

Após a exclusão dos *outliers*, foram avaliadas as variáveis de saída EAL (perdas anuais totais) para os cenários em que nada é realizado para aumentar a resiliência da infraestrutura e, também, para os cenários nos quais há implantação de medidas de Resiliência Climática (chamados de cenários com projeto). A Figura AP 45, a

seguir, traz os diagramas de dispersão de pontos dos valores médios – horizonte de 20 anos – da EAL para cada cenário, bem como os valores médios da redução das perdas anuais totais. Os valores dos eixos das abscissas correspondem aos cenários criados e os eixos das ordenadas são as perdas anuais totais correspondentes a cada cenário, em milhões de reais.

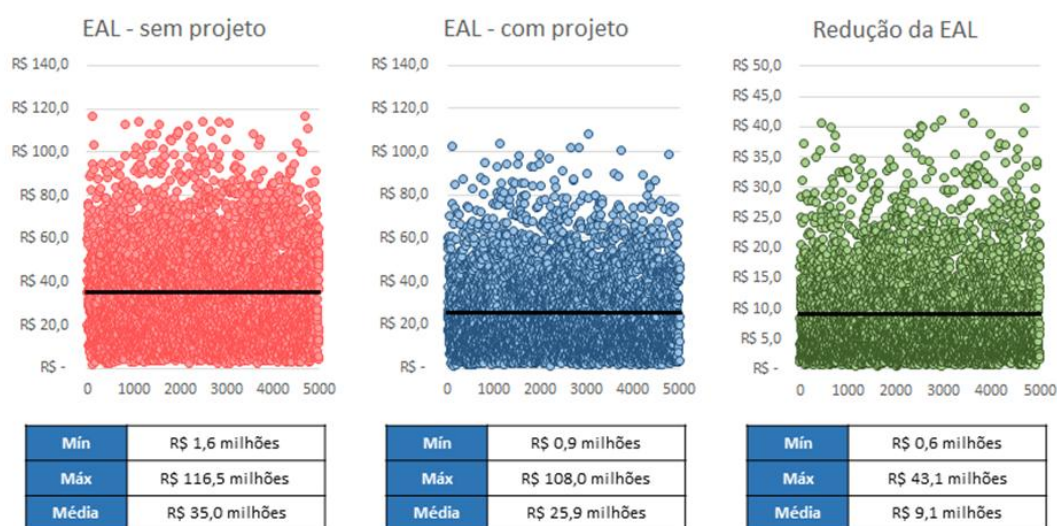


Figura AP 45 – Perdas anuais totais (EAL) médias

Pode-se observar na figura anterior que a EAL média para os cenários onde não há a implantação de medidas de Resiliência Climática é de aproximadamente 35,0 milhões de reais, podendo reduzir para 25,9 milhões nos cenários com projeto, representando uma redução média de 9,1 milhões de reais anuais. Uma análise fria destes números médios pode não ser traduzida na realidade de aplicação em campo, porém, considerando o mínimo de redução nas perdas, teríamos uma redução de 0,6 milhão na EAL, o que ainda representaria um benefício aos cofres públicos e, principalmente, à população.

Com o intuito de verificar quais das variáveis de entrada possuem maior influência no resultado do custo-benefício, foi realizada uma abordagem na qual os cenários que resultaram em relações de benefício/custo menores do que 1 (um) – cenários inviáveis – foram analisados separadamente e foi criado um *boxplot* para cada variável de entrada, dessa forma, sendo possível verificar quais apresentaram alguma restrição

dentro dos intervalos estabelecidos para cada uma delas. As únicas variáveis de entrada que apresentaram dados discrepantes em relação à amostragem e que não apresentaram variações em todo o intervalo pré-definido foram o **Número médio anual de desastres** e a **Redução média do risco**. A Figura AP 46 apresenta as amplitudes dos intervalos de variação destas duas variáveis.

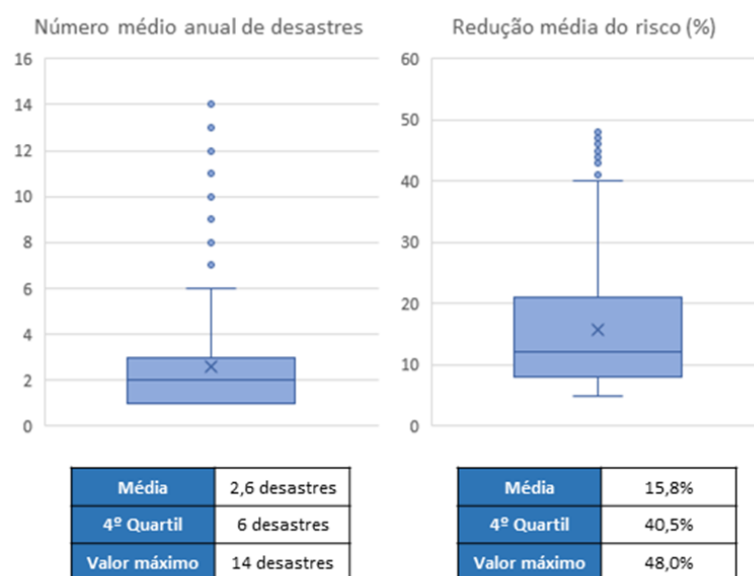


Figura AP 46 – Amplitude das variáveis

Em posse das informações apresentadas acima para os cenários inviáveis, verificou-se que, em 99,3 % dos cenários que possuem seis ou mais ocorrências anuais, a relação benefício/custo foi maior que 1 (um). Além disso, em 98,8 % dos cenários onde a redução média do risco foi maior ou igual a 40,5 %, o benefício/custo também foi maior que 1 (um), independentemente dos valores dos outros inputs. Todos os 806 cenários que contaram com a combinação destes dois valores apresentaram benefício/custo mínimo de 1,75. A Tabela AP 10, a seguir, apresenta estes resultados.

Tabela AP 10 – Variáveis mais influentes

Variável	Quantidade total de cenários	Benefício/custo > 1
Nº médio anual de ocorrências ≥ 6	2969	2948
Redução média do risco $\geq 40,5$ %	1233	1218

APÊNDICE III – CONTEÚDO MÍNIMO PARA RELATÓRIO: ESTUDO PRELIMINAR DE PROJETOS DE RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

Este apêndice apresenta a estrutura mínima do Relatório de Estudo Preliminar de Projetos de Resiliência Climática, que é recomendado para solicitações de demandas externas ao DNIT. Essa estrutura foi desenvolvida com base na Metodologia proposta para a implementação da Resiliência Climática no âmbito do DNIT.

É importante ressaltar que o DNIT pode já possuir informações pertinentes a alguns itens do relatório. Portanto, o proponente deve consultar o DNIT para verificar quais informações o órgão já possui. No entanto, alguns itens do relatório devem ser fornecidos pelo responsável da demanda, como apresentado a seguir:

1 INTRODUÇÃO

1.1 ESCOPO E JUSTIFICATIVA (PROPONENTE)

2 LEVANTAMENTO DE DADOS

2.1 ANTECEDENTES DO LOCAL (PROPONENTE/DNIT)

2.2 ELEMENTOS EXPOSTOS (PROPONENTE/DNIT)

2.3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA (PROPONENTE/DNIT)

2.4 PLUVIOMETRIA (PROPONENTE/DNIT)

2.5 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) (PROPONENTE/DNIT)

2.6 ORTOIMAGENS (PROPONENTE/DNIT)

2.7 TRÁFEGO (PROPONENTE/DNIT)

2.8 RODOVIAS PRÓXIMAS (PROPONENTE)

3 ANÁLISE DE RISCO

3.1 MAPA DE SUSCETIBILIDADE (PROPONENTE/DNIT)

3.2 MAPEAMENTO DOS ELEMENTOS EXPOSTOS (DNIT)

3.3 SETORIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA/GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA (DNIT)

3.5 CÁLCULO DO VALOR-LIMITE DE PRECIPITAÇÃO, PROBABILIDADE DE ATINGIR O VALOR-LIMITE E TAXA DE RECORRÊNCIA DO VALOR-LIMITE (DNIT)

3.6 MAPA DE RISCO DOS ELEMENTOS EXPOSTOS (DNIT)

4 PROPOSIÇÃO DE INTERVENÇÕES DE RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

4.1 MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS (DNIT)

4.2 MEDIDAS ESTRUTURAIS (DNIT)

5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

5.1 LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS ECONÔMICAS (DNIT)

5.1.1 Custo Operacional do Veículo (COV)

5.1.2 Quilômetros extras

5.1.3 Volume Médio Diário Anual (VMDa)

5.1.4 Valor do tempo

5.1.5 Tempo de interrupção

5.1.6 Comportamento dos usuários

5.1.7 Custo de manutenção

5.1.8 Número médio anual de ocorrências

5.1.9 Custo médio de reparação

5.1.10 Investimento inicial em contramedidas preventivas

5.1.11 Redução média do risco

5.1.12 Aumento do custo de manutenção anual

5.1.13 Aumento anual da probabilidade de ocorrência de desastre

5.2 CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS ECONÔMICOS (DNIT)

5.3 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO (DNIT)

5.4 RESULTADOS (DNIT)

ANEXO A – PLANILHA AHP

https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/relatorios-de-pesquisa-1/ANEXO_A_Planilha_AHP.xlsx

ANEXO B – PLANILHA DMDU

https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/relatorios-de-pesquisa-1/ANEXOB_DMDU.xlsx

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V.H.S.; SANTOS, R.F.; ODA, S.; SANTOS, A.S. Análise de riscos climáticos em infraestruturas de transportes: uma exploração metodológica. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 28–44, 2024. DOI: 10.19180/2177-4560.v18n12024p28-44. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/23397>. Acesso em: 16 set. 2025.

ALASKA SATELLITE FACILITY – ASF. Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products: Product Guide. Alaska Satellite Facility, revision 1.2, 2015.

BANCO MUNDIAL (The World Bank). Melhoria da Resiliência Climática da Malha Rodoviária Federal Brasileira. Banco Mundial, 2019.

BOULOMYTIS, V.T.G.; ZUFFO, A.C.; GIRELI, T.Z. Multi-criteria decision making for the assessment of coastal flood vulnerability. In: World Environmental and Water Resources Congress, 2015. ASCE Press. p. 1248-1255.

BRANS, J.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Manual brasileiro de sinalização de trânsito: sinalização temporária. Volume VII. Brasília, DF. 2022.

_____. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Minimização de Desastres. Módulo de formação: elaboração de plano de contingência: livro base. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2017.

CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 1999.

COBRADE. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. 2012.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SIMÕES, P. M. L. Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2021.

CONSÓRCIO ENGEFOTO-PAVESYS. Relatório Final de Sugestões de Melhorias. Produto 1: Coordenação – Ação 4: Assessoria na Formulação de Projeto para a Implantação da Resiliência Climática, SEI/DNIT nº 14769056, maio de 2023a.

CONSÓRCIO ENGEFOTO-PAVESYS. Guia de Técnicas para a Tomada de Decisão. Produto 1: Coordenação – Ação 4: Assessoria na Formulação de Projeto para a Implantação da Resiliência Climática, SEI/DNIT nº 14736496, maio de 2023b.

DEFESA CIVIL DE MINAS GERAIS. Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil. Plano de Contingência. 2019. Disponível em: <<
http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/plano2019/INSTRUCOES_E_MODELO_DE_PLANO_CONTINGENCIA1.pdf.

DELAZARI, L. Cartografia Temática. Departamento de Geomática Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura – UFPR. 2019. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~luciene/files/2019_GA126_aula5.pdf. Acesso em: 30 de maio de 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Manual de Conservação Rodoviária. Publicação IPR – 710. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

_____. DNIT. Guia de Contratações Emergenciais: procedimentos e fluxos adotados mediante situação de emergência. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-de-conteudos/atos-normativos/tipo/resolucoes/resolucao-20-2021-direx-anexo-projeto-final-guia-de-contratacoes-revisado.pdf>.

_____. DNIT. Obras de elevação de trechos da BR-364/RO são concluídas. Brasília, DF: Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República, 2022. Disponível

em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2022/02/obras-de-elevacao-de-trechos-da-br-364-ro-sao-concluidas>. Acesso em: 7 out. 2025.

_____. DNIT. Chuvas provocam interdição na BR-259/ES, entre Colatina e Baixo Guandu. Brasília, DF: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-de-conteudos/noticias-alerta-de-servicos/chuvas-provocam-interdicao-na-br-259-es-no-trecho-entre-colatina-e-baixo-guandu>. Acesso em: 10 out. 2025

_____. DNIT. Índice da Condição da Superfície – ICS. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria/ndicedaCondiodaSuperfcie.pdf>. Acesso em: 10 de julho de 2025.

_____. DNIT. Mapa Estratégico 2023-2027. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/governanca-estrategia-e-riscos/eixos-da-governanca/gestao-estrategica/mapa-estrategico/MAPAESTRATGICO20232027v.3.pdf>. Acesso em: 17 set. 2025.

_____. DNIT. Emergências – Chuvas. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/emergencias-chuvas>. Acesso em: 14 jul. 2025.

EUPAVE, European Concrete Paving Association. Concrete roads show better resilience to climate change and extreme meteorological events. Fact Sheet, 2021.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z.; JTC-1 JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPES. Guidelines for landslide susceptibility, hazard, and risk zoning for land use planning. Engineering Geology, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.022.

FHWA, Federal Highway Administration Office of Safety Program. Informational Guide on Data Collection and Annual Average Daily Traffic (AADT) Estimation for Non-Federal Aid System (NFAS) Roads. Report N° FHWA-SA-20-064, 2020.

FRANCISCO, C. E. D. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2643-2650.

GABARDO, B. P.; ROMEIRO JÚNIOR, C. L. S.; FERREIRA, L. G. B. de P.; SOUZA, L. M. de. Resiliência da infraestrutura rodoviária: Estudo de caso da priorização de riscos em taludes com as metodologias GUT e AHP frente às mudanças climáticas. 49ª RAPv, 2024. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://enacorrappv.com.br/anais/2024/TT096.pdf>. Acesso em: 16 set. 2025.

GODOI, W. C. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP– Método do julgamento holístico. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 10, n. 3, 2014.

GOMES, L. F. A. M. Teoria da decisão. Cengage Learning Edições, 2006. ISBN 978-85-22-10529-8.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, v. 31, p. 181-216, 1999.

HO, W.; MA, X. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v. 267, n. 2, p. 399-414, 2018.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. P. 15-20. ISBN: 978-1-119-97407-9.

JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. International Yearbook of Cartography, [S. l.], v. 7, p. 186-190, 1967.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, n. 4, p. 18-36, 2009.

LOPES, A. P. R. Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários usando SIG e seções geológico-geotécnicas de campo com aplicação na rodovia SP-310. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2007.

MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; DE BRUCKER, K.; VERBEKE, A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n. 2, p. 307-317, 2004.

MEDEIROS, V.; RIBEIRO, R. S. M. Risco climático e a infraestrutura de transportes rodoviários: uma análise para os estados brasileiros. Centro de Pesquisa em Macroeconomia das Desigualdades (Made) – Universidade de São Paulo – USP, Nota de política econômica, 2024. Disponível em: <https://madeusp.com.br/wp-content/uploads/2024/06/NPE053-Risco-climatico-e-infraestrutura-de-transportes-rodoviaros-07062024.pdf>.

MESQUITA, P. B. de. Cartografia geotécnica para análise de suscetibilidade e risco a movimentos de massa e erosão em torno de rodovias. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

MONGUILHOTT, M.; SALDANHA, D. L.; SEBEM, E.; SOUZA, S. F. de. Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Rodovia RS-486 – Rota do Sol. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, v. 30, n. 61, p. 61-68, 2010. DOI: 10.4336/2010.pfb.30.61.61.

MOREIRA, G. C. Zoneamento de rodovias a partir da susceptibilidade ao deslizamento de suas encostas. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

NUNES JUNIOR, L. F.; CHAMON, M. A. Método AHP: Pesquisa-ação na pequena empresa. In: SIMPEP, 13., 2006, Bauru. Anais [...]. Bauru: SIMPEP, 2006. p. 1-12.

PARF – Plano de Adaptação de Rodovias Federais e Desastres Naturais Recorrentes. Monitoramento do Plano de Manutenção Rodoviária: Relatório Parcial. Volume II. [S. l.: s. n.], 2017.

PIARC. The World Road Association. International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure. França, 2015.

REAL STATISTICS. Supplemental Data Analysis Tools. Disponível em: <https://real-statistics.com/real-statistics-environment/supplemental-data-analysis-tools/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

RIBEIRO, M. C. C. R.; ALVES, A. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. Sistemas & Gestão, v. 11, n. 3, p. 270-28, 2016.

ROY, B. The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping. Journal of the Operational Research Society, v. 32, n. 6, p. 427–436, 1981.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, 1991.

_____. On the Measurement of Intangibles: A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. Notices of the American Mathematical Society, v. 60, n. 2, p.192- 208, 2013.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA F. L R. O; EUGENIO, F. C. ArcGIS 9.3 Total: aplicações para dados espaciais. 2. ed. rev. e ampl. Alegre, ES: CAUFES / Mundo da Geomática, 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM. Projeto Atlas pluviométrico do Brasil. Rio de Janeiro, 2011.

_____. SGB/CPRM. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações -1: 25.000: nota técnica explicativa. Rio de Janeiro, 2014.

_____. SGB/CPRM. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 7 – versão 1 – elaboração de cartas de padrão de relevo multiescala. Brasília, 2023.

_____. SGB/CPRM. Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa. Volume 1. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – GIDES, 218 p. Rio de Janeiro, 2018a.

_____. SGB/CPRM. Manual de Planos de Contingência para Desastres de Movimento de Massa. Volume 3. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – GIDES, 218 p. Rio de Janeiro, 2018b.

VALLE, R. F. D. Avaliação da Utilização de Redes Neurais para Previsão do Risco de Inundação em Áreas Urbanas na Cidade de Curitiba/Pr. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

VARGAS, R. V.; IPMA-B, P. M. P. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: PMI Global Congress, 2010. Proceedings [...]. [S. l.]: PMI, 2010.