

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO
SECRETARIA DE ESTADO DE GESTÃO E RECURSOS
HUMANOS - SEGER
ESCOLA DE SERVIÇO PÚBLICO DO ESPÍRITO SANTO - ESESP
PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO LATO SENSU EM
GESTÃO PÚBLICA E INOVAÇÃO

ALCIONE ROSA LEITE

**GESTÃO DE RISCO EM ENCOSTAS NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, VISANDO
PREVENÇÃO BASEADO EM FRAGILIDADE E VULNERABILIDADE AOS
EFEITOS CLIMÁTICOS E RESILIÊNCIA**

Vitória
2025



PLANO DE AÇÃO (TCC)

PRODUTO TÉCNICO

O Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão Pública e Inovação, promovido pela Escola de Serviço Público do Espírito Santo (ESESP), é uma iniciativa aprovada pela Resolução n.º 7.730/2024 e Parecer n.º 8.227/2024 do Conselho Estadual de Educação do Espírito Santo (CEE). Seu principal objetivo é aprimorar e expandir o conhecimento teórico e prático em Gestão Pública e Inovação, capacitando servidores públicos estaduais e municipais que já possuem formação superior. Com uma carga horária total de 430 horas, sendo 396 horas dedicadas a atividades teórico-práticas e 34 horas reservadas para estudos individuais e elaboração do trabalho monográfico final, o curso busca alinhar conceitos e práticas pedagógicas essenciais para enfrentar os desafios e solucionar problemas complexos encontrados no dia a dia das instituições públicas.

A formação visa atender às demandas sociais e do mundo do trabalho, em sintonia com as necessidades da sociedade capixaba contemporânea. Por meio do ensino, da pesquisa e da extensão, busca-se desenvolver ações e políticas públicas eficazes que promovam o progresso e o bem-estar da comunidade, capacitando os participantes para um desempenho excepcional no ambiente administrativo do setor público. Com o intuito de contribuir para a Gestão Pública e a Inovação do Estado do Espírito Santo, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) dos alunos se dá na forma de um Plano de Ação que tem por objetivo abordar um problema específico do setor de trabalho do aluno e propor soluções práticas.

Proponente: Alcione Rosa Leite

Cargo: Técnico Operacional

Lotação: Departamento de Edificações e de Rodovias (DER-ES)

Atuação: Gerência de orçamento de Infraestrutura Logística (GEORC)

ALCIONE ROSA LEITE

**GESTÃO DE RISCO EM ENCOSTAS NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, VISANDO PREVENÇÃO BASEADO EM
FRAGILIDADE E VULNERABILIDADE AO RISCO CLIMÁTICO E RESILIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso, na forma de aplicação do modelo de fragilidade e vulnerabilidade ao risco climático e resiliência á partir do Manual do banco mundial apresentado ao Programa de Pós Graduação em Gestão Pública da Escola de Serviço Público do Espírito Santo – ESESP, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Pública, apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização Lato Sensu em Gestão Pública e Inovação, da Escola de Serviço Público do Espírito Santo (ESESP)

Orientador (es):

Orientador: Prof. Coronel Alexandre
dos Santos Cerqueira,
Bombeiro Militar, Comandante
Geral.

Co-Orientador: Engº Fernando de
Almeida Felix,
MSC em Geografia, Técnico
Superior Operacional do DER-ES.

VITÓRIA

2025

Ficha Catalográfica

Leite, Alcione Rosa, 1972

Gestão de Risco em Encostas nas Rodovias Estaduais do Estado do Espírito Santo, visando prevenção baseado em fragilidade e vulnerabilidade ao risco climático e resiliência

Orientador: Prof. Coronel Alexandre dos Santos Cerqueira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), na forma de Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Serviço Público do Espírito Santo (ESESP), Coordenadoria do Curso de Pós-Graduação Especialização Lato Sensu em Gestão Pública e Inovação, Curso de Pós-Graduação Especialização Lato Sensu em Gestão Pública e Inovação, 2025.

Alcione Rosa Leite

**GESTÃO DE RISCO EM ENCOSTAS NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, VISANDO PREVENÇÃO BASEADO EM
FRAGILIDADE E VULNERABILIDADE AO RISCO CLIMÁTICO E RESILIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso, na forma de um Programa de Gestão, apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização Lato Sensu em Gestão Pública e Inovação, da Escola de Serviço Público do Espírito Santo (ESESP), como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Pública e Inovação.

Conceito Final:

Aprovado em 18 de novembro de
2025

COMISSÃO EXAMINADO

Orientador: Prof. Comandante Geral, Coronel Alexandre dos
Santos Cerqueira ESESP

Coorientador: Fernando de Almeida Félix
Engº Civil e Mestre em Geografia

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos Isabele e Pedro Henrique, minha família que sempre me apoia e incentiva em todos os meus projetos de vida. Dedico este trabalho a todos os servidores públicos que estiveram comigo nesta trajetória no curso de pós-graduação em Gestão Pública que, com compromisso e perseverança, enfrentam diariamente os desafios de construir um Estado mais resiliente, sustentável e justo.

AGRADECIMENTOS

A Deus que é o autor da minha vida e o meu maior ajudador, pela força e sabedoria concedidas. A meus familiares, pelo amor e apoio incondicional. Aos professores e colegas da ESESP, pela troca de experiências e pelo incentivo constante. Aos técnicos do DER-ES e da Defesa Civil, pela disponibilidade e colaboração na construção deste estudo, ao meu orientador Alexandre Cerqueira, ao meu colega de trabalho e co-orientador Fernando Félix. E a todos os servidores públicos que acreditam na importância da gestão preventiva e da resiliência climática para a proteção das comunidades e da infraestrutura do nosso Estado.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta o desenvolvimento de um Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR), a partir do modelo de fragilidade, exposição e perigo (FEP), proposto pelo Banco Mundial (2025), ele será aplicado às Rodovias Estaduais do Estado do Espírito Santo. A pesquisa apresentada possui natureza aplicada e qualitativa, com objetivo de propor uma metodologia de avaliação e priorização de riscos de encostas, devido a constantes incidências de tragédias ocorridas no Estado. O trabalho resulta na elaboração de um Produto Técnico, conforme as diretrizes da ESESP (2024), estruturado em etapas de diagnóstico, classificação de riscos, definição de ações preventivas e implantação de indicadores de desempenho. Espera-se que o PGRCR (Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência) sirva como referência para o fortalecimento das políticas públicas de prevenção e adaptação climática, contribuindo para a segurança da população e a sustentabilidade da infraestrutura rodoviária.

Palavras-chave: gestão de risco; resiliência climática; infraestrutura viária; fragilidade; prevenção.

ABSTRACT

This paper presents the development of a Climate Risk and Resilience Management Plan (PGRCR) based on the fragility, exposure and hazard (FEP) model proposed by the World Bank (2025), applied to state highways in Espírito Santo, Brazil. The research is applied and qualitative, aiming to establish a practical methodology for assessing and prioritizing slope risk. The study results in a Technical Product, according to ESESP (2024) guidelines, structured in stages of diagnosis, risk classification, preventive actions, and performance indicators. The PGRCR is expected to strengthen public policies for prevention and climate adaptation, contributing to safer and more resilient infrastructure management.

Keywords: risk management; climate resilience; highways; fragility; prevention.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR6 – Sexto Relatório de Avaliação do IPCC

BDL – Perturbações e perdas mais amplas do Banco de Dados de Lições

CBA – Análise de Custo-Benefício

CAPEX – Despesas de Capital

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CIAS – Sistema de Avaliação de Impacto Climático

CMIP6 – Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos (Coupled Model Intercomparison Project – Phase 6)

CREMA – Contrato de Reabilitação e Manutenção de Redes Rodoviárias

CRRMP – Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência

DER-ES – Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo

EAD – Danos Anuais Esperados

EAEL – Perdas Econômicas Anuais Esperadas

ESESP – Escola de Serviço Público do Espírito Santo

F – Índice de Fragilidade

GEE – Gases de Efeito Estufa

GIS – Sistema de Informações Geográficas (Geographic Information System)

ICM – Índice de Condição de Manutenção

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IRC – Índice de Risco Climático

KPI – Indicador-Chave de Desempenho (Key Performance Indicator)

MCA – Análise Multicritério (Multi-Criteria Analysis)

MPA – Abordagem Programática Multifásica (Multiphase Programmatic Approach)

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OPEX – Despesas Operacionais

PBC – Contrato Baseado em Desempenho (Performance-Based Contract)

PGRCR – Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência

PPP – Parceria Público-Privada

RCP – Caminho de Concentração Representativa (Representative Concentration Pathway)

RCB – Relação Custo-Benefício

SSP – Caminho Socioeconômico Compartilhado (Shared Socioeconomic Pathway)

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TR – Termos de Referência

TSFI – Índice de Fragilidade do Sistema de Transporte

TTD – Interrupções no Tempo de Viagem (Travel Time Disruptions)

UOP – Unidade de Operação e Desempenho (Unit of Operation and Performance)

VPL – Valor Presente Líquido

W/m² – Watts por Metro Quadrado

WBG – Banco Mundial

SUMÁRIO

1 . INTRODUÇÃO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	19
4. OBJETIVOS.....	20
4.1 Objetivo Geral	20
4.2 Objetivos Específicos.....	21
5. METODOLOGIA	22
5.1 Tipo e Natureza da Pesquisa.....	22
5.2 Procedimentos Metodológicos	22
5.3: Fonte de Dados	23
5.4 Etapas Metodológicas Detalhadas	23
5.5 Limitações da Pesquisa.....	24
6. RESULTADOS ESPERADOS E PLANO DE AÇÃO (PRODUTO TÉCNICO).....	24
6.1 Situação Diagnóstica Inicial	24
6.2 Objetivo Geral do Plano de Ação	38
6.2.1 Objetivos Específicos do Plano de Ação.....	38
6.3 Eixos Estratégicos de Intervenção.....	39
6.4 Ações Prioritárias.....	39
6.5 Cronogramas de Execução	40
6.6 Indicadores de Desempenho.....	41
6.7 Impactos Esperados	41
6.8 Inovações e Replicabilidade	42
6.9 Sustentabilidade Institucional	42

7. CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS DO PLANO DE AÇÃO.....	42
7.1 Contribuições para a Gestão Pública.....	42
7.3 Impactos Institucionais e Operacionais.....	44
7.4 Impactos Sociais, Ambientais e Econômicos.....	44
8. Índice de Risco Climático	45
Índice de Risco Climático (IRC)	45
8.1 Fundamentos da Avaliação de Riscos	47
9.1 Recomendações para implantação do PGRCR	51
9.3 Perspectivas Futuras	52
9.4 Conclusões:.....	54
10. REFERÊNCIAS	55

1 . INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo apresenta um relevo acidentado, caracterizado por extensas áreas de encostas, vales e serras, que conferem à malha rodoviária estadual elevado grau de vulnerabilidade geotécnica e ambiental. Nos últimos anos, eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e prolongadas, têm provocado deslizamentos de terra, erosões e interdições de rodovias, ocasionando impactos econômicos e sociais significativos (DEFESA CIVIL, 2023).

Essa característica geomorfológica resulta da predominância de terrenos cristalinos e rochas metamórficas do embasamento pré-cambriano, recobertos por solos residuais de espessura variável e elevada suscetibilidade a processos de instabilização de taludes (SILVA et al., 2023). Além disso, as condições climáticas, marcadas por regimes pluviométricos intensos e irregulares ao longo do ano, potencializam a ocorrência de deslizamentos e erosões, especialmente no período chuvoso. A combinação entre relevo íngreme, drenagem superficial concentrada e intervenções antrópicas como cortes de taludes sem estabilização adequada intensifica a vulnerabilidade da infraestrutura rodoviária, exigindo políticas eficazes de gestão de risco e manutenção preventiva (MENDES; OLIVEIRA, 2022).

Estudos recentes apontam que cerca de 40% da malha viária estadual apresenta algum nível de suscetibilidade a movimentos de massa, principalmente nas regiões Serrana e Sul, onde as declividades acentuadas e as características geológicas ampliam a probabilidade de instabilidade geotécnica (CARVALHO et al., 2024). Diante desse cenário, a gestão de risco em encostas tornou-se prioridade do poder público, demandando estratégias preventivas que fortaleçam a capacidade institucional do Estado diante das mudanças climáticas (BRASIL, 2012; BANCO MUNDIAL, 2025).

A relevância deste estudo se justifica pela necessidade de integrar ciência, técnica e gestão pública para enfrentar os desafios impostos tanto pelas mudanças climáticas quanto pela ocupação urbana desordenada. Ao tratar a fragilidade das encostas como componente mensurável e gerenciável, estabelece-se um novo paradigma de atuação estatal, baseado na prevenção, eficiência e sustentabilidade.

A vulnerabilidade é agravada pela ausência de um sistema integrado de monitoramento geotécnico e meteorológico em tempo real, bem como pela inexistência de metodologias padronizadas para identificação e priorização de

trechos críticos (SANTOS; PEREIRA, 2021). Segundo o Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo(2022), a maior parte das intervenções realizadas entre 2020 e 2023 teve caráter corretivo e emergencial, sem planejamento preventivo estruturado, o que compromete a eficiência do gasto público

No campo conceitual, a gestão de riscos é amplamente discutida por autores como Lavell (1996, 2000, 2003), Cardona (2001), Velásquez e Rosales (1999) e Velásquez e Jiménez (2004). Para esses autores, a gestão de risco é um processo contínuo que envolve identificação de ameaças, análise de vulnerabilidades e implementação de medidas preventivas e de resposta, articuladas por políticas públicas eficazes. Velásquez e Rosales (1999) ressaltam que a gestão adequada depende da disponibilidade de informações sobre riscos e desastres, permitindo que as comunidades tomem decisões fundamentadas.

Lavell (2000) enfatiza a importância da participação local e da construção coletiva de soluções.

O Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo (DER-ES) desempenha papel central nesse processo, por ser responsável pela manutenção e operação da infraestrutura rodoviária estadual. Entretanto, a ausência de sistemas integrados de monitoramento e prevenção limita a eficácia das ações, resultando em elevados custos e recorrência de danos (DER-ES, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho explana a respeito de um Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR), fundamentado na metodologia FEP (Fragilidade, Exposição e Perigo), desenvolvida pelo Banco Mundial (2025), visando identificar e classificar trechos críticos com maior suscetibilidade a deslizamentos. O estudo também busca contribuir para o fortalecimento da cultura de gestão preventiva baseada em evidências, conforme orienta o Template de Produto Técnico da ESESP (CORNÉLIO; JUNQUILHO; MACHADO JÚNIOR, 2024).

Espera-se que o PGRCR se consolide como instrumento estratégico de planejamento, apto a subsidiar políticas públicas, qualificar processos decisórios e fortalecer o DER-ES e a Defesa Civil Estadual, estimulando ações integradas de monitoramento, capacitação e resposta rápida, alinhadas às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 9 e 13 sendo que, O ODS 9 visa construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

O ODS 13 apela à tomada de medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos, integrando a ação climática nas políticas e planejamentos nacionais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão de riscos de encostas constitui um campo estratégico da administração pública e da engenharia geotécnica, voltado para a prevenção, mitigação e adaptação frente a processos naturais e induzidos que afetam áreas suscetíveis a movimentos de massa. De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2024), as políticas modernas de gestão de risco devem priorizar abordagens integradas, preventivas e baseadas em evidências, reduzindo a dependência de ações emergenciais e corretivas.

Conforme o Banco Mundial (World Bank, 2023), a infraestrutura viária e urbana está entre os setores mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas, especialmente em regiões com relevo acidentado e alto índice pluviométrico, como ocorre em grande parte do território brasileiro. A implementação de estratégias de adaptação e manutenção preventiva é considerada essencial para assegurar a continuidade dos serviços e a segurança das populações expostas.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) ressalta que os eventos extremos, como chuvas intensas e períodos prolongados de instabilidade, tendem a aumentar em frequência e intensidade, ampliando o risco de deslizamentos de encostas e erosões em margens de rodovias. Nesse contexto, a gestão de risco deve integrar informações geotécnicas, hidrológicas e climáticas, articuladas a instrumentos de planejamento territorial e políticas públicas de infraestrutura.

A Organização das Nações Unidas, por meio do Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres (UN, 2015), propõe diretrizes para fortalecer a resiliência de comunidades e infraestruturas críticas, destacando a importância de sistemas de monitoramento e de ações preventivas contínuas. No Brasil, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/2012) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2022) consolidam o princípio da prevenção como eixo central da gestão de risco, promovendo a integração entre órgãos ambientais, geotécnicos e de

infraestrutura.

A literatura técnica aponta ainda que o uso de tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem de suscetibilidade tem aprimorado significativamente o diagnóstico e o monitoramento de áreas de risco (Silva et al., 2021; Santos & Figueiredo, 2023). Essas ferramentas permitem a identificação de zonas críticas e a priorização de intervenções, fortalecendo a capacidade de resposta e adaptação frente às ameaças naturais e climáticas.

Portanto, a gestão de risco de encostas deve ser compreendida como um processo contínuo e multidisciplinar, que envolve desde o mapeamento de vulnerabilidades até o planejamento integrado de ações estruturais e não estruturais, em consonância com os princípios de sustentabilidade, resiliência e governança climática.

Segundo Silva e Oliveira (2021), a prevenção de desastres requer não apenas investimentos estruturais, mas também mudança cultural na forma de gerir o território. A gestão preventiva exige planejamento, capacitação institucional e o uso de indicadores técnicos capazes de direcionar os recursos públicos de forma eficiente. O conceito de resiliência climática, abordado pelo IPCC (2022), refere-se à capacidade de sistemas sociais, econômicos e ambientais de absorver impactos, adaptar-se e transformar-se diante das mudanças do clima. No contexto da administração pública, resiliência implica fortalecer instituições e processos decisórios para que as políticas públicas sejam sustentáveis e adaptativas.

Assim, o presente estudo que será apresentado nesse trabalho baseia-se em três referenciais fundamentais:

- a) O modelo FEP do Banco Mundial (2025);
- b) As diretrizes normativas brasileiras (Leis nº 12.608/2012 e nº 12.187/2009)
- c) O paradigma da gestão pública por resultados, preconizado pela ESESP (2024).

3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Espírito Santo está entre os estados brasileiros com maior suscetibilidade geotécnica e climática, em virtude de seu relevo montanhoso e das elevadas taxas de precipitação concentradas nos meses de verão (INMET, 2024; CPRM, 2023). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, o acumulado médio anual de chuvas na região serrana ultrapassa 1.600 mm, o que contribui para a intensificação de

processos erosivos e de movimentos de massa (INMET, 2024).

Entre 2018 e 2024, foram registrados mais de 140 eventos de deslizamentos e erosões em rodovias estaduais, resultando em prejuízos superiores a R\$ 80 milhões e interrupções significativas no tráfego regional (DER-ES, 2022; Defesa Civil, 2023; Silva et al., 2023). Estudos apontam que esses eventos são agravados pela combinação de fatores naturais e antrópicos, como cortes de taludes sem drenagem adequada, impermeabilização do solo e ausência de planejamento de uso e ocupação do território (Carvalho et al., 2024; Mendes & Oliveira, 2022).

A falta de um sistema integrado de monitoramento geotécnico e meteorológico em tempo real limita a capacidade do poder público em prever e mitigar desastres, o que leva à execução de ações corretivas e emergenciais em detrimento de intervenções preventivas (DER-ES, 2022; Santos & Pereira, 2021). Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento de metodologias padronizadas para o diagnóstico e priorização de trechos vulneráveis, de modo a subsidiar políticas públicas mais eficazes de gestão de riscos e manutenção rodoviária (Silva et al., 2023; Carvalho et al., 2024).

Esses eventos provocam interrupções de tráfego, isolamento de comunidades e aumento nos custos de manutenção, além de impactarem diretamente a economia regional. O problema é agravado pela falta de um sistema de monitoramento contínuo e de metodologias padronizadas para a identificação de trechos vulneráveis.

O DER-ES executa intervenções corretivas com base em demandas emergenciais, o que dificulta o planejamento estratégico e compromete a eficiência do gasto público (DER-ES, 2022). Por isso, torna-se urgente implementar um modelo técnico de diagnóstico e priorização, que permita prever e mitigar riscos antes da ocorrência dos desastres.

Justifica-se, portanto, a realização desse trabalho pela necessidade de transformar a lógica de resposta reativa em gestão preventiva, fortalecendo a capacidade do Estado em proteger vidas e garantir a continuidade da infraestrutura rodoviária este trabalho apresenta um resumo do que se trata o PGRCR, não sendo necessário apresentar resultados finais do plano, uma vez que o Plano ainda está em elaboração, sendo assim serão apresentados nesse trabalho os resultados e

produtos esperados.. Além disso, o estudo contribui para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9, 11 e 13), alinhando a política estadual de infraestrutura aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil (ONU, 2015).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar estudos e Planos de ação que possam prevenir desastres naturais e desmoronamentos de encostas nas rodovi estaduais do Espírito Santo, contribuindo para a redução de acidentes e de perdas humanas e materiais. Segundo o Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo (DER-ES, 2025), a segurança viária constitui um elemento essencial para o desenvolvimento sustentável do Estado, uma vez que os eventos de instabilidade geotécnica impactam diretamente a mobilidade, a economia local e o bem-estar das populações do entorno.

4.2 Objetivos Específicos

- Levantamentos de dados e coletas de informações dos pontos críticos suscetíveis a deslizamentos;
- Avaliar os critérios de Identificação e classificação dos trechos críticos das rodovias estaduais com base no índice de fragilidade (F), Exposição(E) E Perigo(P);
- Analisar os resultados esperados do Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR) e seu potencial em geral, suas ferramentas de fiscalização e acompanhamento de ações de medidas preventivas e corretivas, monitoramento de resiliência climática e capacitação profissional.;
- Validação de dados levantados através do PGRCR para aprovação dos Técnico do DER-ES juntamente com a gestão;
- Verificação de dados pluviométricos disponíveis e com informações precisas para monitoramento de acordo com efeitos climáticos.

5.0 METODOLOGIA

5.1 Tipo e Natureza da Pesquisa

A pesquisa é de natureza aplicada, pois busca resolver um problema real de gestão pública, baseado em deslizamento de encostas.

Abordagem qualitativa e descritiva, uma vez que interpreta fenômenos a partir de dados técnicos e institucionais (CRESWELL, 2021).

A metodologia combina pesquisa bibliográfica, documental e técnica, baseada em relatórios do Banco Mundial (2025), legislação nacional e dados do DER-ES e da Defesa Civil Estadual e trabalhos acadêmicos.

Procedimentos Metodológicos

Esse trabalho será estruturado em cinco etapas principais:

1. Revisão bibliográfica e documental, tendo como base o Relatório apresentado ao DER-ES pelo Banco Mundial e dados da Defesa Civil do Estado do Espírito Santo;
2. Pesquisa exploratória de dados de campo, contemplando fatores geotécnicos e climáticos;
3. Avaliação e validação do modelo FEP, de acordo com cálculo do índice de risco;
4. Acompanhamento e fiscalização pelos Técnico do DER-ES do Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR);
5. Validação institucional junto a especialistas e gestores públicos.

5.2: Fonte de Dados

Quadro 1: Material utilizado para elaboração do Plano

Tipo de Fonte	Descrição / Origem
Relatórios Técnicos	Banco Mundial (2025), DER-ES, Defesa Civil Estadual
Bases Climáticas	INMET, CEMADEN, CPRM
Legislação e Diretrizes	Leis nº 12.608/2012 e nº 12.187/2009
Softwares Utilizados	QGIS, Excel, RStudio
Entrevistas Técnicas	Engenheiros e gestores públicos do DER-ES

Fonte (s): Banco Mundial (2025), INMET, CEMADEN, CPRM,

5.3 Etapas Metodológicas Detalhadas

Etapa 1 – Revisão Bibliográfica

Análise de publicações sobre gestão de risco, fragilidade e resiliência climática (BANCO MUNDIAL, 2025; SILVA; OLIVEIRA, 2021), bem como revisão bibliográfica de artigos com assuntos similares para enriquecimento do Plano de ação.

Etapa 2 – Levantamento de Dados

Coleta de informações sobre deslizamentos e erosões nas rodovias ES-060 e ES-080, com registros entre 2018 e 2024 (DER-ES, 2022).

Etapa 3 – Adaptação do Modelo F–E–P

Aplicação da estrutura de fragilidade (F), exposição (E) e perigo (H) Cálculo do Índice de Risco Climático (IRC) conforme fórmula do Banco Mundial (2025):

Aplicação da Fórmula do Índice de Risco Climático da Infraestrutura Rodoviária

$$IRC = \frac{E(H + E + 2F)^{1,15}}{4}$$

com H, E, F e IRC em um [0,4] Escala

A fórmula do IRC reflete a percepção operacional de que mesmo pressões climáticas amenizadas podem levar a consequências graves quando a infraestrutura já está degradada. Por exemplo, altos valores de fragilidade em cenários de perigo/exposição moderados geram pontuações de IRC que correspondem a altos níveis de risco, o que é congruente com a compreensão em campo de onde a intervenção é mais urgente.

Etapa 4 – Sugestão de Elaboração do Plano

Acompanhamento e monitoramento do PGRCR pelo DER-ES, com ações, prazos, custos e indicadores (ESESP, 2024).

Etapa 5 – Validação

Apresentação e revisão do modelo junto a técnicos do DER-ES e Defesa Civil. Para o ano de 2025 será executado diagnósticos e Coleta de dados, para o 1º semestre de 2026 Elaboração do PGRCR que será acompanhada pelos técnico do DER-ES.

5.4 Limitações da Pesquisa

As principais limitações estão relacionadas à disponibilidade e atualização dos dados pluviométricos, bem como à ausência de monitoramento contínuo em tempo real. Ainda assim, o modelo proposto mostra-se replicável e adaptável à realidade estadual.

6.0 RESULTADOS ESPERADOS E PLANO DE AÇÃO (PRODUTO TÉCNICO)

6.1 Situação Diagnóstica Inicial

O diagnóstico situacional evidenciou que as rodovias estaduais do Espírito Santo, em especial as ES-060 (Rodovia Darly Santos) e ES-080, apresentam elevado grau de fragilidade geotécnica, decorrente de cortes em encostas íngremes, sistemas de drenagem insuficientes e processos erosivos intensificados por episódios de precipitação extrema. De acordo com relatórios técnicos do Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo (DER-ES, 2024) e da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (2023), verificou-se aumento expressivo no número de ocorrências e interdições por deslizamentos e erosões na última década, com destaque para o período de 2018 a 2024, quando foram registradas ocorrências recorrentes nas regiões Sul e Serrana.

Essas condições têm gerado impactos significativos à mobilidade e à segurança viária, ocasionando interdições parciais e totais das rodovias e elevação dos custos com manutenção emergencial. Além disso, o Estado carece de um modelo padronizado de priorização e prevenção de riscos, o que compromete a eficiência do gasto público e a previsibilidade orçamentária (DER-ES, 2024).

Casos representativos documentados recentemente incluem interdições e operações emergenciais na ES-060 durante o lançamento de vigas em obras de recuperação e bloqueios programados em 2024; bem como deslizamentos na ES-080, que causaram bloqueios parciais em Santa Leopoldina (2022) e interdição total próxima a Colatina em 26 de dezembro de 2024 (DER-ES, 2025). Tais episódios evidenciam a recorrência de movimentos de massa e os riscos à continuidade e à segurança do tráfego em pontos críticos da malha rodoviária estadual. Conforme observado nos eventos registrados nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Pontos de deslizamentos na Rodovia ES-080



Fonte: O Globo (2022)

Figura 02 – Santa Leopoldina Pedras e terra tomaram pistas da rodovia ES-080



Fonte: O Globo (2020)

A variabilidade climática e os episódios de chuvas extremas monitorados pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) têm contribuído para elevar o risco geotécnico em encostas rodoviárias, uma vez que aumentam a saturação dos solos e a instabilidade hídrico-mecânica (INMET, 2024; INCAPER, 2024). O mapeamento pluviométrico estadual demonstra concentrações sazonais de precipitação coincidentes com picos de ocorrência de eventos geotécnicos, reforçando a necessidade de integração entre os sistemas meteorológicos e a gestão de risco viário.

Além dos impactos diretos sobre a mobilidade e a segurança, a ausência de um protocolo unificado de priorização de riscos compromete a eficiência na alocação de recursos públicos, favorecendo a recorrência de ações corretivas de alto custo em detrimento de medidas preventivas estruturadas (DER-ES, 2025). Recomenda-se, portanto, a adoção de um modelo de priorização de riscos baseado em indicadores objetivos como fragilidade geotécnica, exposição de tráfego, histórico de eventos, custo de reparo e criticidade socioeconômica integrado a um sistema de monitoramento pluviométrico e inventário de áreas críticas, conforme boas práticas do Banco Mundial (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025).

Os eventos extremos vem causando vários danos as rodovias estaduais do Espírito Santo que precisam serem remediados com obras emergenciais , um exemplo disso são as recenes obras em Mimoso do Sul.

Figura 03 - Locais afetados pela chuva nas Rodovias do Espírito Santo



Fonte: Site do DER-ES - Frentes de trabalho em locais afetados pela chuva (2022)

Figura 04 –Trecho que vai da BR-101 a Mimoso do Sul - Rodovia ES-391



Fonte: Site DER-ES - interdição parcial - Rodovia ES-391 (2024)

Figura 04 – Rodovia ES-391 – Trecho que vai da BR-101 a Mimoso do Sul



Fonte: www.der.es.gov.br – (2024)

Figura 05 – Maquinários na retirada do pilar central da ponte março/2020 – Ponte Sagrada Família



Fonte: www.der.es.gov.br (2024)

Figura 06 – Maquinários na retirada de materiais provenientes de deslizamentos de encostas



Fonte: www.der.es.gov.br – Boletim DER-ES Rodovias (27/01/2024)

Figura 07 – Trecho que vai da BR-101 a Mimoso do Sul, há interdição parcial com funcionamento em meia pista.



Fonte: www.der.es.gov.br – (2024)

Figura 08 – Trecho que vai da BR-101 a Mimoso do Sul, obras de restauração da rodovia interditada



Fonte: www.der.es.gov.br (2024)

Figura 09 – Trecho que vai da BR-101 a Mimoso do Sul, obras de restauração da rodovia interditada



Fonte: <https://www.es.gov.br/Noticia/der-es-mantem-forca-tarefa-com-varias-frentes-de-trabalho-em-locais-afetados-pela-chuva#prettyPhoto> (2024)

O processo de determinação do índice de fragilidade (física) dos elementos da infraestrutura rodoviária começa com a coleta de dados qualitativos sobre o estado de manutenção dos elementos. Os inspetores de campo realizam inspeções visuais contínuas e atribuem classificações como Muito Ruim (MR), Ruim (R), Bom (B) ou Muito Bom (MB).

MUITO BOM: As encostas não apresentam defeitos visíveis e mostram excelente aspecto estrutural, mesmo com vegetação, que contribui para a estabilidade da encosta. Não há sinais de erosão e o sistema de drenagem funciona conforme o planejado. No geral, as condições da encosta são estáveis, sem quaisquer sinais de ruptura. (Figura 10 a esquerda).

BOM: Observam-se pequenos defeitos superficiais e ligeira erosão. O sistema de drenagem gere o fluxo de água eficazmente e existe alguma vegetação no local, indicando um ambiente estável. A inspeção visual sugere condições de talude estáveis e boa estabilidade geral. (Figura 10 a direita).

Figura 10 – Entradas visuais e técnicas para avaliação de fragilidade
exemplos visuais, critérios de avaliação e comentários



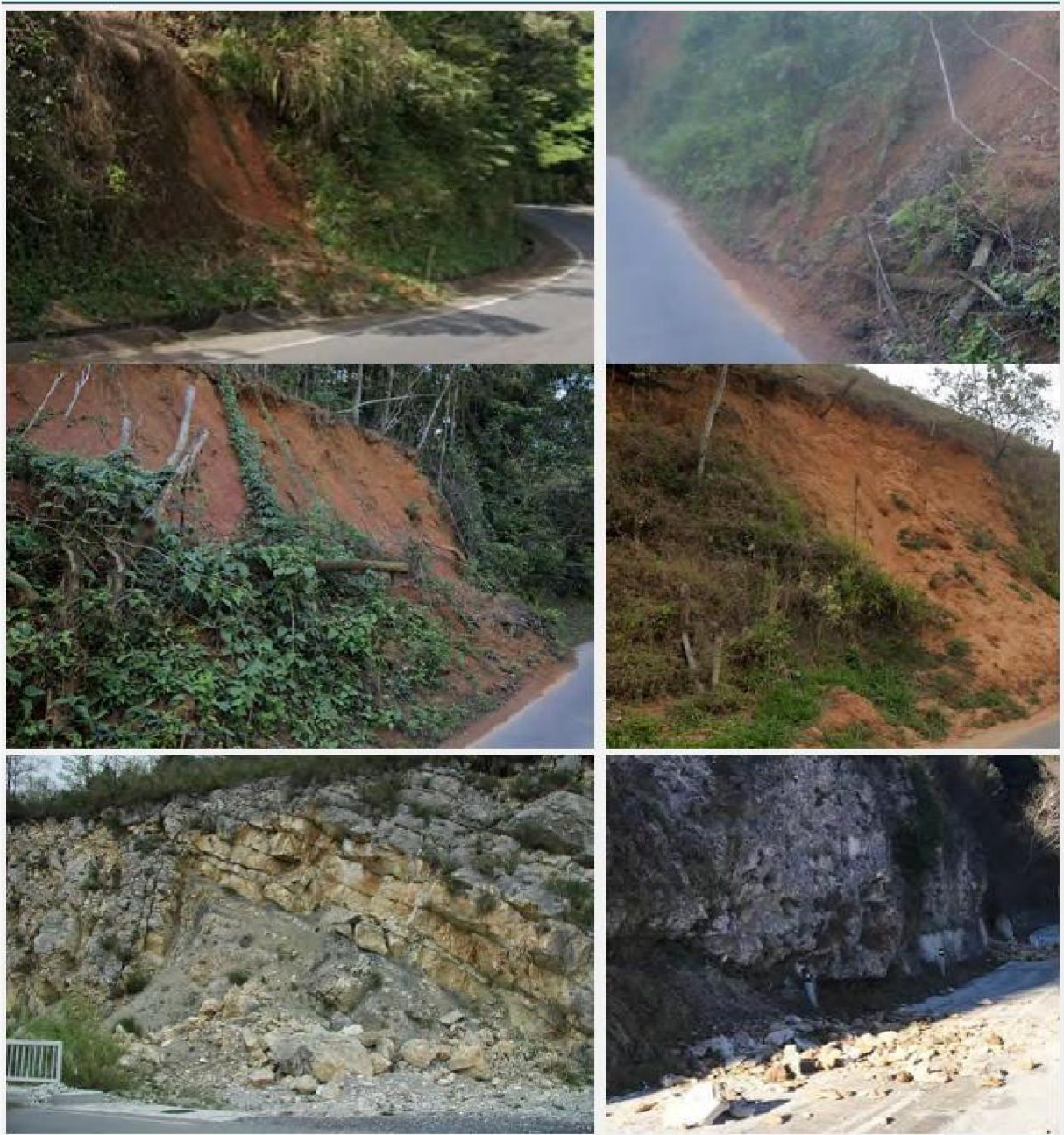
Fonte (s): Banco Mundial (2025), INMET, CEMADEN, CPRM

RUIM – A encosta apresenta vegetação limitada, indicando um risco potencial de erosão do solo. Existem defeitos evidentes que afetam a integridade estrutural da encosta, mas apenas sinais moderados.. (Figura 11 a esquerda)

MUITO RUIM – Ausência de vegetação na encosta, sinais graves de erosão e degradação (rachaduras, deformações, corrosão), agravados pela drenagem ineficaz. Devido ao estado precário da encosta, neste caso necessita de inspeção e medidas corretivas urgentes. (Figura 11 a direita).

Figura 11 – Entradas visuais e técnicas para avaliação de fragilidade

exemplos visuais, critérios de avaliação e comentários



Fonte (s): Banco Mundial (2025), INMET, CEMADEN, CPRM

O DER-ES (Departamento de Estradas de Rodagem do Espírito Santo) registra frequentemente impactos de chuvas fortes, especialmente na região Sul do ES, com eventos notáveis como as enchentes severas em março de 2024 (Mimoso do Sul, Cachoeiro de Itapemirim, dentre outros) com destruição massiva, desabamentos, e inundações que afetaram rodovias e infraestrutura, e outros alertas em anos anteriores (2022), com ocorrências de deslizamentos, pontes danificadas e alagamentos, exigindo monitoramento constante e ações emergenciais no período de 2018-2024, com o evento de 2024 (Mimoso do Sul), sendo um dos mais críticos.

Quadro 2 - Exemplos selecionados de eventos (2018–2024)

Ano / Data	Rodovia	Município / Trecho	Tipo de evento	Impacto / ação tomada	Fonte
01-dez-2022	ES-080	Santa Leopoldina	Deslizamento de terra	Interdição temporária; liberação em seguida	A Gazeta
26-dez-2024	ES-080	Próx. Colatina	Deslizamento de pedras	Bloqueio de pista; limpeza e intervenções	ES Fala
16–18-set-2024	ES-060 (Darly Santos)	Vila Velha	Interdição programada / obras e bloqueios	Interdição para implantação de viaduto; rotas alternativas	DER-ES+1
Jan-25 a Jan-28-2023 (série)	Várias (estado)	Diversos municípios	Boletins de deslizamentos e inundações (episódios de chuva intensa)	Registros de múltiplos pontos com erosões e vias parcialmente obstruídas	Alerta!+2Alerta!+2

Fonte: DER-ES (2022–2024); Defesa Civil do Espírito Santo (2023)

Figura 12 – Rodovia - ES 080 - Santa Leopoldina é interditada após deslizamento



Fonte: A gazeta Publicado em 1 de dezembro de 2022

Figura 13 – Rodovia - ES 080 - Santa Leopoldina é interditada após deslizamento



Fonte: A gazeta Publicado em 1 de dezembro de 2022 às 08:57

Figura 14 – Pontos críticos das rodovias que necessitam de reparos devido chuvas intensas



Fonte: <https://der.es.gov.br/Not%C3%ADcia/der-es-mantem-forca-tarefa-com-varias-frentes-de-trabalho-em-locais-afetados-pela-chuva#prettyPhoto> (2020)

Figura 15 – Pontos críticos das rodovias que necessitam de reparos devido chuvas intensas



Fonte: <https://der.es.gov.br/Not%C3%ADcia/der-es-mantem-forca-tarefa-com-varias-frentes-de-trabalho-em-locais-afetados-pela-chuva#prettyPhoto> (2020)

Figura 16 – Deslizamentos de terra devido a fortes chuvas em Santa Leopoldina



Fonte: <https://www.ovigilanteonline.com.br/site/2022/01/08/novos-deslizamentos-de-terra-sao-registrados-em-leopoldina/> (2022)

Figura 17 – Chuvas causam deslizamentos



Fonte: Folha UOL – (2022)

A matriz de priorização apresentada tem como objetivo apoiar o processo de tomada de decisão na gestão e intervenção em rodovias estaduais, a partir de critérios técnicos, operacionais, econômicos e socioambientais, conforme diretrizes adotadas por órgãos gestores de infraestrutura e defesa civil (DER-ES, 2022; DEFESA CIVIL, 2023). Esse instrumento possibilita a classificação de trechos rodoviários de acordo com o grau de prioridade, considerando simultaneamente a relevância funcional da via e os riscos associados à sua operação e conservação (OECD, 2024).

Os critérios selecionados contemplam aspectos relacionados ao volume de tráfego, à importância econômica, à condição do pavimento, ao histórico de ocorrências e à exposição a riscos geotécnicos e ambientais, além do impacto social decorrente de eventuais interrupções, alinhando-se às práticas recomendadas para a gestão de riscos em infraestrutura de transportes (DER-ES, 2022; DEFESA CIVIL, 2023).

A atribuição de pesos diferenciados reflete a importância relativa de cada critério no contexto da malha rodoviária estadual, permitindo uma avaliação mais equilibrada e orientada à resiliência da infraestrutura e à eficiência na alocação de recursos públicos, conforme preconizado por organismos internacionais (OECD, 2024). A aplicação da matriz ocorre por meio da atribuição de pontuações padronizadas, associadas a métricas objetivas, resultando em uma pontuação final ponderada, o que contribui para a transparência, comparabilidade e racionalização dos investimentos públicos (DER-ES, 2022).

Quadro 3 – Matriz de priorização sugerida para rodovias estaduais

Critério	Descrição	Peso sugerido (0–100)	Métrica
Fragilidade geotécnica	Presença de cortes, declividade, tipo de solo	25	1–5
Frequência histórica	Nº de eventos (últimos 5–7 anos)	20	Contagem de eventos
Exposição de tráfego	Fluxo médio diário / importância logística	20	km-dia / categoria rodovia
Impacto socioeconômico	População afetada / custo de desvios	15	1–5
Probabilidade de precipitação extrema	Índice pluviométrico e previsão climática	10	Percentil de chuva (>95º)
Custo de intervenção preventiva	Orçamento estimado / custo-benefício	10	Estimativa monetária normalizada

Fonte: Adaptado de DER-ES (2022), Defesa Civil (2023) e OECD (2024).

6.2 Objetivo Geral do Plano de Ação

Neste trabalho será apresentado o Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR) que tem como objetivo geral aumentar a capacidade adaptativa e reduzir a fragilidade estrutural das rodovias estaduais, com base na metodologia de avaliação de fragilidade e risco climático (Fragility Index – F e Climate Risk Index – CRI) desenvolvida pelo Banco Mundial (World Bank, 2025). O plano busca alinhar-se aos quatro eixos estratégicos globais de resiliência rodoviária: segurança viária, resiliência climática, sustentabilidade financeira e eficiência operacional (Peñalver Rojo et al., 2025, p. 7–9).

Inspirado em experiências internacionais como o Climate Risk and Resilience Management Plan (CRRMP) aplicado em redes CREMA no Brasil e nos Transport Climate Adaptation Strategies da Transport for NSW (2021) e da European TEN-T Resilience Initiative (Schade et al., 2024), o PGRCR do Espírito Santo adota uma abordagem integrada entre diagnóstico técnico, gestão contratual e capacitação institucional.

6.2.1 Objetivos Específicos do Plano de Ação

- 6.2.1.1 Implantar um sistema de avaliação e monitoramento contínuo de risco em encostas;
- 6.2.1.2 Reduzir os custos emergenciais com deslizamentos em até 30% no médio prazo;
- 6.2.1.3 Integrar os sistemas de informação do DER-ES e da Defesa Civil;
- 6.2.1.4 Promover capacitação técnica e institucional voltada à prevenção de riscos;
- 6.2.1.5 Criar indicadores de desempenho para acompanhamento das ações de resiliência.

6.3 Eixos Estratégicos de Intervenção

Quadro 4 — Plano estruturado em cinco eixos estratégicos:

Eixo	Descrição
1. Diagnóstico Técnico	Levantamento e classificação dos trechos críticos com base em critérios geotécnicos e pluviométricos.
2. Planejamento e Priorização	Aplicação do modelo F–E–P e elaboração de mapas de risco por prioridade de intervenção.
3. Intervenções Preventivas	Obras de drenagem, contenção, revegetação e correção de erosões.
4. Gestão e Monitoramento	Implantação de sistema de acompanhamento e indicadores de desempenho.
5. Capacitação e Governança	Formação de servidores públicos e fortalecimento institucional do DER-ES.

Fonte: Adaptado de DER-ES (2022), Defesa Civil (2023) e OECD (2024).

6.4 Ações Prioritárias

As ações propostas estão distribuídas em etapas progressivas de curto, médio e longo prazo.

Quadro 5 – Ações e Etapas do PGRCR

Etapa	Ação Proposta	Responsável	Prazo (mês)	Custo Estimado (R\$)
1	Diagnóstico geotécnico e pluviométrico das rodovias ES-060 e ES-080	DER-ES / Defesa Civil	6	R\$ 80.000,00
2	Cálculo do índice F–E–P e priorização dos trechos críticos	DER-ES / Consultoria Técnica	4	R\$ 60.000,00
3	Elaboração do PGRCR Estadual	DER-ES	8	R\$ 120.000,00
4	Intervenções estruturais em pontos de alto risco	DER-ES / Concessionárias	12	R\$ 500.000,00
5	Implantação de sistema de monitoramento e alerta	Defesa Civil / IJSN	6	R\$ 150.000,00
6	Capacitação técnica em gestão de risco	DER-ES	3	R\$ 30.000,00
TOTAL ESTIMADO				R\$ 940.000,00

Fonte (s): Banco Mundial (2025), Defesa Civil (2023)

6.5 Cronogramas de Execução

Quadro 6 – Cronograma Físico-Financeiro

Período	Atividade	Responsável	Investimento (%)
2025 – 1º Semestre	Diagnóstico e coleta de dados	DER-ES / Defesa Civil	15%
2025 – 2º Semestre	Aplicação do modelo F–E–P	DER-ES / Consultoria	10%
2026 – 1º Semestre	Elaboração do PGRCR	DER-ES / ESESP	20%
2026 – 2º Semestre	Intervenções estruturais	DER-ES / Concessionárias	40%
2027 – 1º Semestre	Capacitação e monitoramento	ESESP / Defesa Civil	15%

Fonte (s): Banco Mundial (2025)

6.6 Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho foram definidos com base em critérios de eficácia, eficiência e efetividade.

Quadro 7 – Indicadores de Desempenho

Indicador	Meta até 2027	Fonte de Verificação
Redução de áreas críticas	30%	Relatórios DER-ES
Redução de interdições	25%	Defesa Civil Estadual
Redução de custos emergenciais	35%	Demonstrativos financeiros
Técnicos capacitados	150 servidores	Registros ESESP
Tempo médio de resposta a emergências	< 4h	Centro de Operações DER-ES

Fonte: Adaptado de DER-ES (2022), Defesa Civil (2023) e OECD (2024)

6.7 Impactos Esperados

a) Técnicos

- Melhoria na estabilidade de encostas e drenagem;
- Aumento da durabilidade da infraestrutura rodoviária;
- Padronização dos procedimentos técnicos de prevenção.

b) Econômicos

- Economia de até **R\$ 2 milhões em três anos**, segundo estimativas do Banco Mundial (2025);
- Maior previsibilidade e eficiência orçamentária.

c) Sociais e Ambientais

- Redução de acidentes e deslizamentos;
- Proteção de comunidades e ecossistemas;
- Fortalecimento da cultura de prevenção.

6.8 Inovações e Replicabilidade

O PGRCR é inovador por aplicar indicadores quantitativos de fragilidade (F) em substituição ao conceito genérico de vulnerabilidade, permitindo a tomada de decisão com base em dados concretos (BANCO MUNDIAL, 2025). Além disso, o modelo pode ser replicado em outros estados e ajustado para diferentes tipos de infraestrutura, como pontes, túneis e ferrovias.

6.9 Sustentabilidade Institucional

O plano inclui mecanismos de capacitação contínua e governança colaborativa, garantindo a manutenção das ações mesmo após o término do projeto. Prevê-se a criação de um Comitê Permanente de Gestão de Riscos e Resiliência, formado por representantes do DER-ES e Defesa Civil.

7.0 CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS DO PLANO DE AÇÃO

7.1 Contribuições para a Gestão Pública

O Plano de Gestão de Riscos Climáticos e Resiliência (PGRCR) constitui um marco para a gestão pública estadual, pois introduz uma metodologia técnica e quantitativa capaz de orientar a priorização de intervenções em rodovias de forma transparente e baseada em evidências (BANCO MUNDIAL, 2025).

Entre as principais contribuições do plano, destacam-se:

- O aperfeiçoamento dos processos decisórios no DER-ES, por meio de indicadores mensuráveis;
- A integração de órgãos públicos (DER-ES, Defesa Civil, ESESP e IJSN) em torno de uma agenda comum de resiliência;
- A introdução de ferramentas de monitoramento preventivo, reduzindo a dependência de ações emergenciais;
- O fortalecimento da capacidade técnica dos servidores públicos, mediante capacitação e troca de experiências;
- A ampliação da eficiência orçamentária, com uso racional de recursos e redução de custos imprevistos.

De acordo com Silva e Oliveira (2021), a sustentabilidade das políticas públicas depende da capacidade de transformar conhecimento técnico em ações concretas sendo esse plano uma ferramenta indicativa de ações para alcançar esses objetivos.

7.2 Limitações tecnológicas

A capacidade técnica das autoridades de transporte e das empresas de engenharia varia significativamente entre regiões (CEREMA, 2019).

Em muitos países em desenvolvimento, ainda se utilizam tecnologias desatualizadas ou métodos manuais, o que limita a precisão das avaliações de resiliência (GIZ; EURAC; UNU-EH, 2018; PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025).

Além disso, restrições no acesso à internet banda larga e níveis baixos de alfabetização digital entre os técnicos e gestores podem dificultar o uso eficaz de ferramentas digitais e sistemas GIS necessários à metodologia (CDRI, 2022).

7.2.1 Capacidade de recursos humanos

A implementação adequada da metodologia baseada em fragilidade requer profissionais qualificados em avaliação de risco climático, resiliência de infraestrutura, análise de dados e geotecnologias (GIS) (IPCC, 2022; FELL et al., 2008).

Entretanto, muitas regiões especialmente em países em desenvolvimento sofrem com escassez de profissionais capacitados e carência de tecnologias atualizadas, o que pode retardar o processo de implementação ou levar à adoção de estratégias subótimas de resiliência (OECD, 2024; WBG Banco Mundial, 2021).

Em suma, a aplicação eficaz do marco metodológico de resiliência climática depende de um equilíbrio entre capacidade técnica, institucional e financeira. Para superar essas limitações, é essencial: fortalecer instituições públicas voltadas à gestão de riscos climáticos; integrar dados de alta qualidade nas análises de risco; capacitar técnicos e gestores; e promover financiamento sustentável para ações de adaptação (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025; HALLEGATE; RENTSCHLER;

ROZENBERG, 2019; OECD, 2024). Essas ações conjuntas são fundamentais para que a infraestrutura de transporte se torne mais resiliente, adaptável e sustentável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas globais.

7.3 Impactos Institucionais e Operacionais

A implementação do PGRCR gera impactos diretos na estrutura e no funcionamento das instituições envolvidas. O DER-ES passa a dispor de um sistema de avaliação padronizado, capaz de identificar trechos críticos e estabelecer critérios de priorização técnica. A Defesa Civil, por sua vez, poderá integrar alertas e monitoramento climático às ações de manutenção preventiva.

Essas medidas contribuem para o fortalecimento da governança pública, aprimorando o controle e a eficiência na gestão de obras e serviços. Além disso, reforçam os princípios de planejamento, transparência e responsabilidade, conforme preconiza a administração pública contemporânea (ESESP, 2024).

7.4 Impactos Sociais, Ambientais e Econômicos

A execução do plano produz resultados positivos em múltiplas dimensões:

Sociais

- Redução de acidentes e perdas humanas em áreas de encosta;
- Garantia de mobilidade e acesso a serviços essenciais para comunidades isoladas;
- Fortalecimento da confiança pública nas instituições estaduais.

Ambientais

- Recuperação de áreas degradadas por erosão e deslizamento;
- Proteção de mananciais e encostas vegetadas;
- Contribuição à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Econômicos

- Diminuição dos custos de manutenção corretiva;
- Redução de prejuízos logísticos e produtivos decorrentes de interdições;

- Geração de economia estimada em **R\$ 2 milhões nos primeiros três anos**, conforme projeções do Banco Mundial (2025).

8.0 Índice de Risco Climático

Índice de Risco Climático (IRC)

A expressão do Índice de Risco Climático (IRC), integra fragilidade (F), intensidade do perigo (H) e níveis de exposição (E), com base na premissa de que infraestruturas em condições deterioradas são mais propensas a interrupções de serviço ou danos físicos quando expostas a estresse climático mesmo sob ameaças externas moderadas (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025). Em outras palavras, níveis mais altos de fragilidade podem amplificar desproporcionalmente as consequências de eventos climáticos, particularmente quando a integridade estrutural já está comprometida.

Ao contrário dos modelos tradicionais de risco climático como o ADAPTAVIAS, que trata perigo, exposição e vulnerabilidade como fatores igualmente ponderados, na formulação atual a fragilidade recebe o dobro do peso em relação ao perigo e à exposição. Essa ponderação não é arbitrária, mas reflete uma orientação prática: a fragilidade é o único componente diretamente acionável por meio de manutenção e reabilitação (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025). Evidências operacionais indicam que intervenções voltadas à redução da fragilidade da infraestrutura geram as melhorias mais imediatas na resiliência climática, especialmente em contextos em que os déficits de manutenção se acumulam ao longo do tempo (FAY et al., 2017; OCDE, 2024; PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025).

Os valores do IRC aumentam com o crescimento da fragilidade, mesmo sob níveis constantes de perigo e exposição (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025). Embora a fórmula do IRC não seja derivada de calibração estatística em larga escala, sua estrutura foi projetada para refletir padrões observados em avaliações de campo e julgamentos de engenharia. Dessa forma, os resultados permanecem compatíveis com a lógica dos Contratos Baseados em Desempenho (PBCs), priorizando a detecção precoce de segmentos vulneráveis e promovendo intervenções oportunas e de baixo custo.

Cada elemento de infraestrutura é avaliado para todos os riscos relevantes (por exemplo, inundações, deslizamentos de terra e ondas de calor), e a condição mais crítica determina o **IRC** final. É importante ressaltar que o IRC de um trecho rodoviário de 1 km é definido pela maior pontuação de IRC entre seus elementos constituintes, seguindo um princípio conservador de “elo mais fraco” (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025). Isso assegura a detecção precoce de elementos de alto risco, mesmo que a maior parte do trecho mantenha boas condições estruturais.

O Índice de Risco Climático é um índice multirrisco que deve ser atualizado periodicamente para garantir cobertura abrangente e adaptabilidade à evolução das condições de campo. Esse processo de atualização contínua cria um ciclo de feedback dinâmico entre as condições observadas, o desempenho da infraestrutura e a classificação de risco. Melhorias em elementos frágeis como a desobstrução de uma drenagem bloqueada podem resultar em redução imediata da pontuação do IRC, incentivando ações preventivas e de baixo custo (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025).

Essa metodologia também viabiliza a definição de mecanismos contratuais de partilha de riscos climáticos de forma transparente, por meio da introdução de um índice quantificável e aditável (IRC) que vincula a fragilidade física aos riscos de interrupção dos serviços relacionados ao clima (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025). O IRC torna o risco climático visível e mensurável ao nível do segmento rodoviário, fornecendo uma base objetiva para estabelecer parâmetros de desempenho, gatilhos de contingência e critérios de elegibilidade para medidas de manutenção ou adaptação extraordinárias.

Além disso, ao priorizar segmentos com altos valores de fragilidade e IRC, a metodologia orienta investimentos estratégicos em resiliência, garantindo que os recursos financeiros sejam direcionados para os trechos rodoviários mais vulneráveis e com maior probabilidade de sofrer interrupções decorrentes de eventos climáticos (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025).

8.1 Fundamentos da Avaliação de Riscos

A avaliação de risco é um campo amplo e multifacetado, capaz de assumir diversas aplicações conforme o contexto social, territorial e institucional em que é empregada. A percepção do risco pode emergir de diferentes formas e existir independentemente de intuição, aparência ou situações visíveis de perigo. Há indivíduos e grupos que convivem diariamente com o risco, sem os recursos necessários para evitá-lo ou superá-lo, independentemente da definição adotada. Segundo Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005), o risco está associado às noções de incerteza, exposição ao perigo e possibilidade de perdas. Assim, pode ser compreendido como a probabilidade de ocorrência de um evento adverso, como um desastre. Os autores destacam que o risco também se configura como a condição de perigo à qual grupos humanos e suas estruturas socioeconômicas estão submetidas, decorrentes tanto de processos naturais (terremotos, tsunamis) quanto de eventos induzidos ou acidentais (grandes empreendimentos), ou ainda de ações intencionais (conflitos armados, atividades criminosas).

Valencio (2010) argumenta que os desastres atingem de forma mais severa aqueles que não estão preparados ou não possuem condições de enfrentar adversidades. Para o autor, no Brasil, as relações de poder sustentam a impressão equivocada de que os desastres são “naturais”, quando, na verdade, refletem escolhas políticas vinculadas à gestão e ao uso do território. Essa crença reduz a percepção das desigualdades estruturais e dissimula a precariedade das condições de moradia da população mais vulnerável, ao mesmo tempo em que suaviza a responsabilização dos agentes públicos e privados envolvidos. Assim, a noção de desastres “naturais” obscurece processos de segregação socioespacial e privilegia interpretações neutralizadas das causas estruturais do risco.

A vulnerabilidade, um dos componentes fundamentais do risco, refere-se ao modo como as pessoas e os sistemas sociais são afetados por determinadas ameaças. Mendonça (2011) destaca a importância dos fatores sociais, econômicos e políticos na construção e percepção do risco, além dos mecanismos de manutenção e agravamento das vulnerabilidades. Exemplos ilustram claramente essa relação: morar em área de encosta não configura, por si só, o mesmo grau de risco para uma família cuja casa foi autoconstruída sem suporte técnico e para outra que reside em moradias projetadas com infraestrutura apropriada, situadas em bairros totalmente urbanizados.

O risco, portanto, é simultaneamente produto de fatores sociais, econômicos e políticos:

- 1 - Sociais, pois refletem desigualdades no acesso a moradias seguras;
- 2 - Econômicos, pois dialogam com o preço da terra e a disponibilidade de serviços;
- 3 - Políticos, pois expressam prioridades governamentais sobre quem ocupa e como ocupa o território.

Diante disso, torna-se insustentável defender a ideia de que “o risco é democrático”. Pelo contrário, múltiplos estudos sobre justiça ambiental apontam que determinadas populações frequentemente associadas a marcadores sociais como classe, raça e gênero são submetidas desproporcionalmente a riscos ambientais socialmente produzidos (Jesus, 2017; Acseirad, 2020; Acseirad; Mello; Bezerra, 2009).

Marandola Junior e Hogan (2009) aprofundam esse debate ao apontar que o risco possui uma espacialidade própria: ele não se distribui uniformemente no território, nem se apresenta da mesma maneira para todos os grupos. Certas populações, por sua vez, vivem em áreas cuja estruturação urbana está intrinsecamente relacionada às desigualdades de renda, à falta de planejamento e às dinâmicas de segregação socioespacial.

Beck (2006), ao discutir a “sociedade do risco global”, afirma que o risco constitui uma dimensão inerente à condição humana contemporânea. O autor destaca que os riscos globais e locais são interdependentes, impossíveis de serem enfrentados isoladamente por nações, e são amplificados por processos de globalização econômica e política, que frequentemente reforçam desigualdades e transferem responsabilidades.

Além disso, Zhouri et al. (2017) apontam que os grupos atingidos por desastres sofrem não apenas deslocamentos geográficos, mas também deslocamentos sociais e culturais, caracterizados por uma sociabilidade forçada que lhes é imposta em contextos de crise. Os desastres, portanto, ultrapassam a esfera do evento extremo, produzindo efeitos duradouros de sofrimento e instabilidade social. No entanto, políticas públicas tendem a considerar prioritariamente apenas danos imediatos e mensuráveis.

Diante desse panorama, o presente trabalho adota terminologias baseadas no Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (2022), no AdaptaBrasil-MCTI (MCTI; INPE; RNP, 2022) e no Guia para Desenvolvimento Adaptativo (GIZ; EURAC; UNU-EHS, 2018).

- Perigo (hazard) refere-se à probabilidade de ocorrência de eventos climáticos potencialmente danosos, como precipitações extremas, tempestades, ondas de calor ou elevação do nível do mar, cuja intensidade ou frequência podem desencadear impactos significativos. Geralmente, é expresso com base em modelos climáticos (ex.: RCP 3.4–5.0, SSP 4–4.5) e horizontes temporais específicos (ex.: projeções para 2070).
- Exposição corresponde à presença e distribuição espacial de elementos em risco como ativos rodoviários localizados em áreas suscetíveis a eventos climáticos adversos. Inclui rodovias situadas em encostas íngremes, bacias de inundação ou zonas de temperatura extrema, conforme Schade et al. (2024).
- Vulnerabilidade diz respeito à predisposição de um sistema de transporte a sofrer impactos, influenciada pela sensibilidade intrínseca da infraestrutura e por sua capacidade de absorção, adaptação e recuperação, englobando dimensões técnicas, operacionais, financeiras e institucionais (IPCC, 2022).

O conceito de risco climático, por sua vez, representa o potencial de impactos adversos sobre algo de valor, incorporando elementos de incerteza. Ele é comumente modelado como função de três componentes Perigo, Exposição e Vulnerabilidade conforme amplamente reconhecido pela literatura internacional (Maaskant et al., 2009; IPCC, 2022; MCTI; INPE; RNP, 2022; Schade et al., 2024) e pelo Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR).

A estrutura ADAPTAVIAS, utilizada para análises determinísticas, considera pesos iguais para esses componentes, permitindo a quantificação objetiva de risco climático. Contudo, sua aplicação prática enfrenta desafios, principalmente no que se refere à dimensão da Vulnerabilidade, muitas vezes dependente do julgamento de especialistas e de indicadores qualitativos. Tal dependência pode gerar variações expressivas entre consultores, regiões e projetos, afetando a consistência, replicabilidade e transparência dos resultados.

8.2 Avaliação do Desempenho da Resiliência

A estrutura de desempenho da resiliência apresentada aqui baseia-se no Índice de Risco Climático (IRC), alinhado com estruturas de avaliação de risco climático reconhecidas internacionalmente, incluindo aquelas desenvolvidas pelo IPCC, GIZ, EURAC e UNU-EH. Essa abordagem não só permite uma avaliação padronizada e escalável da resiliência da infraestrutura, mas também fortalece a base para mecanismos de compartilhamento de risco climático em projetos de infraestrutura.

Ao ancorar a análise em evidências físicas observáveis e no desempenho inspecionado em campo, ela preenche a lacuna entre a prática da engenharia e a ciência climática, permitindo que os tomadores de decisão aloquem recursos e responsabilidades de forma mais eficaz.

Em termos práticos, um IRC baixo ou moderado implica que as práticas de manutenção padrão podem ser suficientes para preservar a funcionalidade a longo prazo e a continuidade do serviço. Por outro lado, um CRI alto ou muito alto sinaliza a necessidade de estratégias de resiliência aprimoradas, incluindo reforços estruturais, medidas de adaptação proativas e regimes de manutenção baseados em riscos, para garantir que o sistema de transporte continue operando efetivamente mesmo em condições climáticas adversas.

A Tabela Escala de classificação de resiliência com base no índice de risco climático da infraestrutura rodoviária apresenta uma escala de classificação de resiliência (A a D) baseada nos valores do IRC, semelhante aos sistemas de notas por letras (WBG Banco Mundial, 2021). Essas notas refletem o nível de confiança na capacidade de uma rodovia resistir a estressores relacionados ao clima sem comprometer sua integridade, usabilidade ou desempenho.

Quadro 8 – Classificação de resiliência com base no índice de risco climático da infraestrutura rodoviária

Índice de risco climático	Narrativa sobre o risco climático	Intervenções recomendadas para reduzir riscos	Classificação de resiliência
CRI < 1,00 BAIXO	A infraestrutura rodoviária demonstra mínima suscetibilidade a danos ou interrupções relacionados ao clima. Mesmo eventos extraordinários (não catastróficos)	Foque na manutenção da relação custo-benefício. Priorize a preservação das condições atuais, mantendo protocolos de monitoramento para detectar sinais precoces de fragilidade ao longo do tempo. Investimentos em adaptação não se justificam.	A
1,00 ≤ CRI < 2,00 Moderada	A infraestrutura rodoviária é um tanto suscetível a danos ou interrupções de serviço. Eventos extraordinários mas não extremos podem causar impactos localizados, de baixo a moderado.	Priorize intervenções de manutenção direcionada e adaptação de baixo custo. Avalie as compensações entre medidas preventivas e prováveis perdas, considerando tanto os custos diretos de reparo quanto as consequências indiretas, como atrasos na rede ou impactos sociais.	B
2,00 ≤ CRI < 3,00 ALTA	A infraestrutura rodoviária é altamente suscetível a interrupções. Mesmo eventos climáticos comuns podem causar interrupções significativas nos serviços e danos físicos.	Reforçar a resiliência estrutural por meio de medidas de adaptação direcionadas e regimes de manutenção aprimorados. Priorizar planos de intervenção que fortaleçam componentes críticos e mitiguem a exposição nos segmentos mais vulneráveis.	C
CRI ≥ 3,00 MUITO ALTO	Risco climático sistêmico: A infraestrutura é extremamente vulnerável e até mesmo eventos normais podem desencadear falhas catastróficas, com perda de serviço a longo prazo.	Necessidade urgente de investimentos estratégicos em adaptação e resiliência. Priorizar reforço estrutural, estratégias de rotas alternativas, redundância em segmentos críticos e implantação de sistemas de alerta precoce. Planos de Ação de Emergência (PAEs) são essenciais para a coordenação e recuperação pós-desastre.	D

Fonte: Fonte (s): Banco Mundial (2025)

9.1 Recomendações para implantação do PGRCR

De acordo com o Estudo descrito nesse trabalho e com base nos resultados obtidos, caso o Plano seja integrado ao programa do DER-ES será recomendado:

- Institucionalizar o PGRCR como política pública permanente no DER-ES;
- Estabelecer um Sistema Estadual de Monitoramento de Encostas (SIMEC-ES);
- Investir em tecnologia de sensoriamento remoto e banco de dados geotécnico;
- Ampliar parcerias entre DER-ES, ESESP e universidades;
- Capacitar continuamente os servidores públicos em gestão de risco e resiliência;
- Recursos financeiros e necessidades de investimento;

9.2 Quanto a sua implementação:

- O PGRCR é uma ferramenta técnica e gerencial eficiente para reduzir a vulnerabilidade das rodovias estaduais;
- Sua aplicação fortalece a governança pública e promove o uso racional dos recursos;
- O plano contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9 e 13), por incentivar inovação e adaptação climática;
- O envolvimento da ESESP reforça o papel do conhecimento técnico na construção de políticas públicas efetivas.

Muitos países em desenvolvimento enfrentam restrições financeiras que limitam sua capacidade de investir em medidas de resiliência, como o reforço de segmentos rodoviários vulneráveis, modernização de sistemas de drenagem e realocação de trechos críticos (OECD, 2024; NEUMANN et al., 2021).

Os custos de longo prazo das ações frequentes de adaptação climática precisam ser considerados nos ciclos orçamentários nacionais e setoriais WBG – (Banco Mundial, 2021).

Nesse contexto, torna-se essencial estabelecer mecanismos de financiamento sustentáveis, como fundos climáticos e instrumentos de parceria público-privada para apoiar projetos de infraestrutura resiliente (FIDIC, 2022).

Como destaca o *World Bank Resilience Inspection Manual* (PEÑALVER-ROJO; LANG; BELLAS, 2025), a resiliência não se constrói apenas com obras físicas, mas com instituições preparadas para planejar, antecipar e reagir de forma eficiente — princípio que norteia este trabalho.

9.3 Perspectivas Futuras

O modelo desenvolvido abre novas possibilidades de pesquisa e aplicação:

- Criação de plataformas digitais interativas para monitoramento de encostas;
- Expansão do modelo para infraestruturas urbanas e portuárias;

- Incorporação de critérios de resiliência nos planos diretores municipais;
- Produção de relatórios técnicos anuais sobre a evolução da fragilidade estadual.

Dessa forma, o trabalho contribui para o fortalecimento do Estado resiliente e adaptativo, capaz de planejar e proteger suas infraestruturas e comunidades frente às incertezas climáticas.

9.4 Conclusões:

Conclui-se que o presente trabalho demonstrou que a aplicação de modelos técnicos de avaliação de fragilidade e de resiliência representa uma estratégia viável, eficaz e necessária para o aperfeiçoamento da gestão pública estadual, especialmente no contexto das rodovias do Espírito Santo. O estado possui histórico recorrente de eventos climáticos extremos, responsáveis por impactos sociais e econômicos significativos. Esses eventos ocasionaram interdições prolongadas, prejuízos logísticos e centenas de famílias desabrigadas, reforçando a urgência de políticas públicas baseadas em prevenção e mitigação.

Nesse cenário, a adoção de metodologias inovadoras como o modelo FEP Fragilidade, Exposição e Perigo, desenvolvido e recomendado pelo Banco Mundial (2025), revela-se uma solução técnica estruturada para mensurar riscos, hierarquizar segmentos vulneráveis e direcionar investimentos de maneira eficiente. Ao integrar variáveis geotécnicas, ambientais e socioeconômicas, o FEP oferece uma avaliação objetiva, permitindo que o Estado abandone progressivamente o paradigma reativo historicamente baseado em obras emergenciais e avance para uma abordagem sistemática de gestão de risco e resiliência climática.

O presente estudo evidencia que a implementação desse modelo não apenas otimiza os processos decisórios, mas também fortalece a capacidade institucional do DER-ES e amplia a transparência na priorização de obras e intervenções. Além disso, o alinhamento com diretrizes internacionais de gestão de infraestrutura resiliente, como as recomendações da OECD (2023) e da ONU-DRR (2024), posiciona o Espírito Santo em sintonia com práticas globais consolidadas.

Assim, conclui-se que o investimento na avaliação de fragilidade e na incorporação de metodologias robustas como o FEP constitui uma resposta pública necessária diante do cenário crescente de desastres naturais. Trata-se de um caminho estratégico para

reduzir perdas humanas e materiais, aprimorar a eficiência da malha rodoviária e proporcionar à sociedade capixaba políticas públicas capazes de promover segurança, confiança e desenvolvimento sustentável.

10. REFERÊNCIAS:

- ACSELRAD, H.; MELLO, C.; BEZERRA, G. Justiça ambiental e cidadania. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2009.
- BANCO MUNDIAL. Fragility-Based Methodology for Assessing Vulnerability, Climate Risk, and Resilience: Pilot Framework for Testing and Calibration in Brazilian Roadways. Washington, DC: World Bank, 2025.
- BANCO MUNDIAL. Framework for Fragility, Exposure and Hazard Assessment. Washington, 2025.
- BECK, U. Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade. São Paulo: Editora 34, 2006.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 abr. 2012.
- CARDONA, O. D. La gestión de riesgos naturales: conceptos y prácticas. Bogotá: Universidad de los Andes, 2001.
- CARVALHO, D. J.; FERREIRA, L. M.; PEREIRA, C. S. Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa em rodovias estaduais do Espírito Santo. Revista Brasileira de Engenharia Civil e Ambiental, v. 14, n. 1, p. 89–104, 2024.
- CARVALHO, R. A. et al. Avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na malha rodoviária do Espírito Santo. Vitória: DER-ES, 2024.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Boletim Técnico de Monitoramento Pluviométrico do Sudeste. Brasília: CEMADEN, 2023.
- CEREMA. Climate Resilience and Infrastructure Guidelines. Paris: CEREMA, 2019.
- CORNÉLIO, S.; JUNQUILHO, G.; MACHADO JÚNIOR, J. Template para Plano de Ação (Produto Técnico 1). Vitória: Escola de Serviço Público do Espírito Santo – ESESP, 2024.
- CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Relatório Técnico de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundações – Espírito Santo. Brasília: CPRM, 2023.

- DEFESA CIVIL DO ESPÍRITO SANTO. Relatório Anual de Ocorrências de Desastres Naturais – 2023. Vitória: SEDEC/ES, 2023.
- DER-ES – Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo. Boletim Técnico de Manutenção e Intervenções Rodoviárias 2018–2022. Vitória: DER-ES, 2022.
- DER-ES – Departamento de Edificações e de Rodovias do Espírito Santo. Plano de Manutenção Preventiva de Rodovias Estaduais 2022–2026. Vitória: DER-ES, 2022.
- DER-ES. Relatório Técnico Anual 2020–2023. Vitória, 2022.
- ESESP – Escola de Serviço Público do Estado do Espírito Santo. Guia de Elaboração de Produto Técnico e Plano de Ação. Vitória: ESESP, 2024.
- FAY, M. et al. Rethinking Infrastructure in Latin America. Washington: World Bank, 2017.
- FIDIC. Sustainable Infrastructure Guidelines. Geneva: FIDIC, 2022.
- GIZ; EURAC; UNU-EHS. Climate Risk Assessment Guide. Bonn: GIZ, 2018.
- HALLEGATE, S.; RENTSCHLER, J.; ROZENBERG, J. Lifelines: The Resilient Infrastructure Report. Washington, DC: World Bank, 2019.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Anuário Climatológico do Espírito Santo 2024. Brasília: INMET, 2024.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Relatório de Chuvas Intensas e Eventos Extremos no Espírito Santo – 2018 a 2024. Brasília: INMET, 2024.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Sixth Assessment Report (AR6): Impacts, Adaptation and Vulnerability. Geneva: IPCC, 2022.
- JESUS, J. Justiça ambiental e desigualdade social. São Paulo: Cortez, 2017.
- LAVELL, A. Desastres y Desarrollo Sostenible. San José: FLACSO, 1996.
- . Gestión del riesgo: conceptos y prácticas. Lima: LA RED, 2000.
- . Riesgo y Territorio: elementos para la gestión local. Lima: LA RED, 2003.
- MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. Vulnerabilidade e riscos ambientais. Campinas: UNICAMP, 2009.
- MCTI; INPE; RNP. AdaptaBrasil – Relatório Técnico. Brasília, 2022.
- MENDES, A. P.; OLIVEIRA, F. R. Gestão de risco geotécnico em rodovias: diagnóstico e prevenção de instabilidades. Revista Infraestrutura & Território, v. 7, n. 2, p. 25–40, 2022.
- MENDONÇA, F. A. Risco ambiental e vulnerabilidade urbana. Curitiba: UFPR, 2011.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). Brasília: MMA, 2020.
- NEUMANN, J. et al. Climate Adaptation Costs in Developing Countries. New York: Routledge, 2021.
- OECD – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Climate Resilient Infrastructure. Paris: OECD Publishing, 2024.
- ONU – United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015.
- ONU HABITAT. Guia de Cidades Resilientes. São Paulo: ONU Habitat Brasil, 2023.
- PEÑALVER-ROJO, B.; LANG, C.; BELLAS, H. World Bank Resilience Inspection Manual. Washington, DC: World Bank, 2025.
- SANTOS, R. A.; FIGUEIREDO, A. Monitoramento geotécnico em rodovias brasileiras. Brasília: DNIT, 2023.
- SANTOS, R. A.; PEREIRA, L. C. Gestão integrada de riscos geotécnicos em rodovias sob influência de eventos climáticos extremos. Revista Brasileira de Geotecnia Aplicada, v. 11, n. 3, p. 70–85, 2021.
- SCHADEN, M. et al. Climate Exposure in Roadway Systems. Berlin: Springer, 2024.
- SILVA, C. E.; OLIVEIRA, F. C. Gestão Preventiva de Encostas: Abordagens e Desafios no Contexto Brasileiro. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.
- SILVA, R. F.; NASCIMENTO, M. A.; SOARES, L. P. Avaliação da vulnerabilidade geotécnica em rodovias de regiões serranas do Espírito Santo. Revista Brasileira de Geotecnia e Infraestrutura, v. 9, n. 2, p. 45–59, 2023.
- UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Global Assessment Report. Geneva: UNDRR, 2024.
- VELÁSQUEZ, O.; JIMÉNEZ, R. Gestión territorial del riesgo. Bogotá: CEPREDENAC, 2004.
- VELÁSQUEZ, O.; ROSALES, R. Gestión de desastres y participación comunitaria. Lima: LA RED, 1999.
- WBG – World Bank Group. Climate Adaptation Framework. Washington, 2021.
- ZHOURI, A. et al. Desastres, deslocamentos e vulnerabilidades sociais. Belo Horizonte: UFMG, 2017.