GESTÃO FINANCEIRA DE RISCOS EM DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS: ESTIMATIVA DE PROVISÕES ANUAIS BASEADA EM DADOS DO DNIT

FINANCIAL RISK MANAGEMENT OF SLOPE LANDSLIDES: ESTIMATION OF ANNUAL PROVISIONS BASED ON DNIT DATA

Bernardo Cascão Pires e Albuquerque - balbuquer@gmail.com - https://orcid.org/0009-0002-3217-485X
Darym Junior Ferrari de Campos - darymjunior@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-7128-3752
Bruna Cardoso Mendes - bcmflorestal@gmail.com - https://orcid.org/0000-0001-9055-1612

RESUMO: As obras emergenciais desencadeadas por eventos naturais afetam diretamente a infraestrutura de transporte, resultando em interrupções de tráfego, ameaças à segurança e ao conforto dos usuários, além de acréscimos nos custos logísticos. Essas ocorrências demandam ação imediata das instituições responsáveis por gerir a infraestrutura afetada, levando à mobilização urgente de recursos humanos e financeiros. Embora imprevisíveis, a estimativa antecipada de investimentos em prevenção, adaptação e recuperação de tais desastres naturais é crucial para o planejamento orçamentário, seja ele público ou privado. Neste contexto, esta pesquisa introduz uma metodologia de fácil implementação e resiliente a cenários de escassez de dados, logrando avaliar riscos e estimar custos vinculados a deslizamentos de massas. Como forma de tangibilizar os resultados obtidos, aplicou-se o procedimento ora discutido à malha rodoviária federal brasileira sob jurisdição do DNIT.

PALAVRAS-CHAVE: obras emergenciais; análise de risco; previsão orçamentária; infraestrutura de transportes; infraestrutura rodoviária; malha rodoviária do DNIT.

ABSTRACT: *Emergency works triggered by natural events directly impact transportation infrastructure, leading to traffic disruptions, threats to user safety and comfort, and increases in logistical costs. These incidents require immediate action from institutions responsible for managing the affected infrastructure, leading to an urgent mobilization of human and financial resources. While unpredictable, the early estimation of investments in prevention, adaptation, and recovery from such natural disasters is crucial for budget planning, whether it be public or private. In this context, this research introduces a methodology that can be easily implemented and is resilient to scenarios of data scarcity, successfully assessing risks and estimating costs associated with mass landslides. To materialize the obtained results, the discussed procedure was applied to the Brazilian federal road network under the jurisdiction of DNIT.*

KEYWORDS: *emergency works; risk analysis; budget planning; transport infrastructure; highway infrastructure; DNIT highway system.*

1 INTRODUÇÃO

As obras emergenciais consistem em estruturas que demandam ações rápidas ou imediatas, pois qualquer tipo de atraso pode

Submetido em 29/05/2023 e aceito em 22/08/2023.
https://doi.org/10.70859/2764-9539.v2.n2.77

acarretar danos à infraestrutura e interdições de tráfego. Em relação à infraestrutura, a variabilidade climática, já mencionada por Palmieri & Larach (1996) e Giltirana Jr. (2005), representa um dos agentes mais relevantes quando se trata dos problemas de estabilidade do solo. Dos tipos de variação climática, temos como maior impacto os eventos pluviométricos, tratados como agente causador, que podem resultar em frentes de umedecimento responsáveis por provocar desastres naturais e ocorrências emergenciais nas rodovias do país, como é o caso de deslizamento em estradas. Ainda, vale destacar que a variabilidade climática interfere nas ações da política de infraestrutura do Sistema Federal de Viação (SFV).

Dessa forma, o foco da pesquisa terá como base de dados o monitoramento das rodovias, visando aumentar a resiliência das rodovias federais contra ameaças naturais, buscando gerar ganhos para a sociedade em geral. A análise da resiliência compreende tanto os princípios de vulnerabilidade e suscetibilidade quanto os de risco.

Os dados de deslizamentos de massa foram inicialmente acessados pela base aberta do Repositório Cooperativo Aberto *Online* de Deslizamentos de Massa da NASA, utilizada para validação do modelo de Avaliação de Perigo de Deslizamento para Conscientização Situacional. Tais dados identificam locais com alto potencial para deslizamentos de massa, combinando estimativas de precipitação baseadas em satélite com variáveis de suscetibilidade a deslizamentos de massa (Stanley *et al., 2021*).

O uso da análise probabilística e de risco tem sido uma ferramenta muito relevante para a engenharia de transportes, uma vez que requer estudos mais aprofundados em relação à análise apenas determinística. Nesse contexto, será montado um banco de dados com a compilação de informações referentes ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) e da NASA, com o objetivo de desenvolver uma metodologia de avaliação de risco e previsão de custos de obras emergenciais. Devido à variabilidade das ocorrências de emergência, foi motivado um estudo estatístico baseado na Avaliação Quantitativa de Riscos (QRA), já realizado anteriormente por Albuquerque *et al*. (2019), e no método computacional de Monte Carlo.

2 OBRAS EMERGENCIAIS

Toda extensão de Malha Rodoviária Federal (MRF), sob administração do DNIT, possui diferentes níveis de serviço e de condições de conservação, suscetíveis à exposição de vários tipos de desastres naturais ao longo de sua extensão. Sendo assim, o evento acaba por inferir na segurança dos usuários e em fatores socioeconômicos ao danificar um elemento rodoviário ou prejudicar o tráfego nas rodovias.

Segundo o Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias (IPR, 2010), as situações emergenciais se caracterizam pela condição de imprevisibilidade e, quando ocorrem, são tomadas decisões e ações rápidas, especificamente em nível operacional. Já na lei nº 8.666/93, Art. 24 (Brasil, 1993), são considerados casos de emergência, para fins de dispensa de licitação, somente aqueles em que seja caracterizado urgência no atendimento da situação que possa ocasionar prejuízo ou comprometer a segurança das pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens públicos ou particulares, e somente para bens necessários ao atendimento da situação emergencial ou calamitosa e para as parcelas de obras e serviços que possam ser concluídos no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias consecutivos e

ininterruptos, contados da ocorrência da emergência ou calamidade, vedada a prorrogação dos serviços contratados.

2.1 DADOS E TRATAMENTO

A base de dados foi extraída a partir do Sistema de Informações e Monitoramento do DNIT (SIMDNIT), do SIAC e do Modelo de Avaliação de Perigo de Deslizamento para Conscientização Situacional da NASA.

2.1.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES E MONITORAMENTO DO DNIT

O SIMDNIT sistema permite o acesso ao banco de dados do ambiente de gestão de conteúdos corporativos do DNIT, contemplando desde a execução orçamentária e financeira, quanto a situação dos contratos de obras e estatísticas de tráfego de rodovias. Destaca-se que o período de análise das obras emergenciais utilizado na presente pesquisa engloba os registros classificados na modalidade que dispensa licitação, descrita no art. 24, inciso IV da lei 8.666/93 (Brasil, 1993), entre os anos de 2009 e 2018. Para esse período e a partir da base do Sistema de Acompanhamento de Contratos (SIAC), integrada ao SIMDNIT, coletou-se informações com as características de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Filtros de pesquisa ao SIAC

Filtro	Valores adotados
Tipo de Contrato	Obra de Engenharia
Modal	Rodoviário
Modalidade de Licitação	ART. 24-IV- Emergência ou de calamidade pública
Tipo de Intervenção	Obra de Engenharia
Objeto de Contratação	Foram considerados todos os objetos de contratação que envolviam execução de obras relacionadas ao pavimento e a manutenção de suas boas condições de uso, tal como situações de obras para desobstrução das rodovias

Fonte: Elaboração própria

O procedimento acima descrito resultou em 232 contratos. Contudo, é prática comum a contratação de uma única empresa para sanar problemas ocorridos por um grupo de sinistros em localidades próximas, portanto faz-se necessário identificar a quantidade de obras presentes em cada contrato. Por falta de informação, esse procedimento não foi possível para 72 contratos, entretanto, os 160 contratos restantes foram exitosamente segregados em 267 ocorrências ao longo do período de 10 anos estudados.

O desembolso para cada contrato foi determinado por meio das medições com reajuste (PI+R) obtidas pela base de dados do SIAC. Conforme já mencionado, alguns contratos englobam mais de um sinistro rodoviário, dificultando o manuseio preciso dos dados espaciais, uma vez que a informação de desembolso se vincula a mais de uma intervenção. Como forma de mitigação desse tipo de problema, nos contratos que abrangeram segmentos rodoviários descontínuos, considerou-se que o montante total pago fosse repartido igualmente para cada uma das obras.

Ainda, sabe-se que o valor do capital é diferente com o passar do tempo, havendo a necessidade de reajustar os valores para contemplar, principalmente, os efeitos da inflação. Todos os valores foram reajustados para o mês base de dezembro de 2022 por meio do Índice

Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), disponibilizado mensalmente pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

2.1.2 MODELO DE AVALIAÇÃO DE PERIGO DE DESLIZAMENTO PARA CONSCIENTIZAÇÃO SITUACIONAL

Esse modelo é descrito internacionalmente como *Landslide Hazard Assessment for Situational Awareness* (LHASA), fornecendo uma estimativa do risco ao deslizamento de massa, baseando-se em um mapa de suscetibilidade global e entradas de estimativas de precipitação da NASA (Stanley *et al*. 2017). Sua atualização é feita a cada 3h, com uma latência de aproximadamente 4h, o que proporciona uma saída quase em tempo real. Para essa pesquisa será utilizada apenas a categorização quanto ao risco presente no mapa de susceptibilidade ao deslizamento de encostas, desprezando-se os dados de estimativas de precipitação.

O mapa aberto é desenvolvido para uma resolução de 1km, ou seja, o globo foi segmentado em territórios de 90x90 m², sendo atribuído a cada um desses territórios a seguinte classificação de risco (Tabela 2), a partir do relevo, formação geológica e precipitação média histórica das regiões:

Tabela 2 – Categorias de risco do LHASA

Categoria	Risco
5	Muito Alto
4	Alto
3	Médio
2	Baixo
1	Muito baixo

Fonte: Stanley *et al*. (2021)

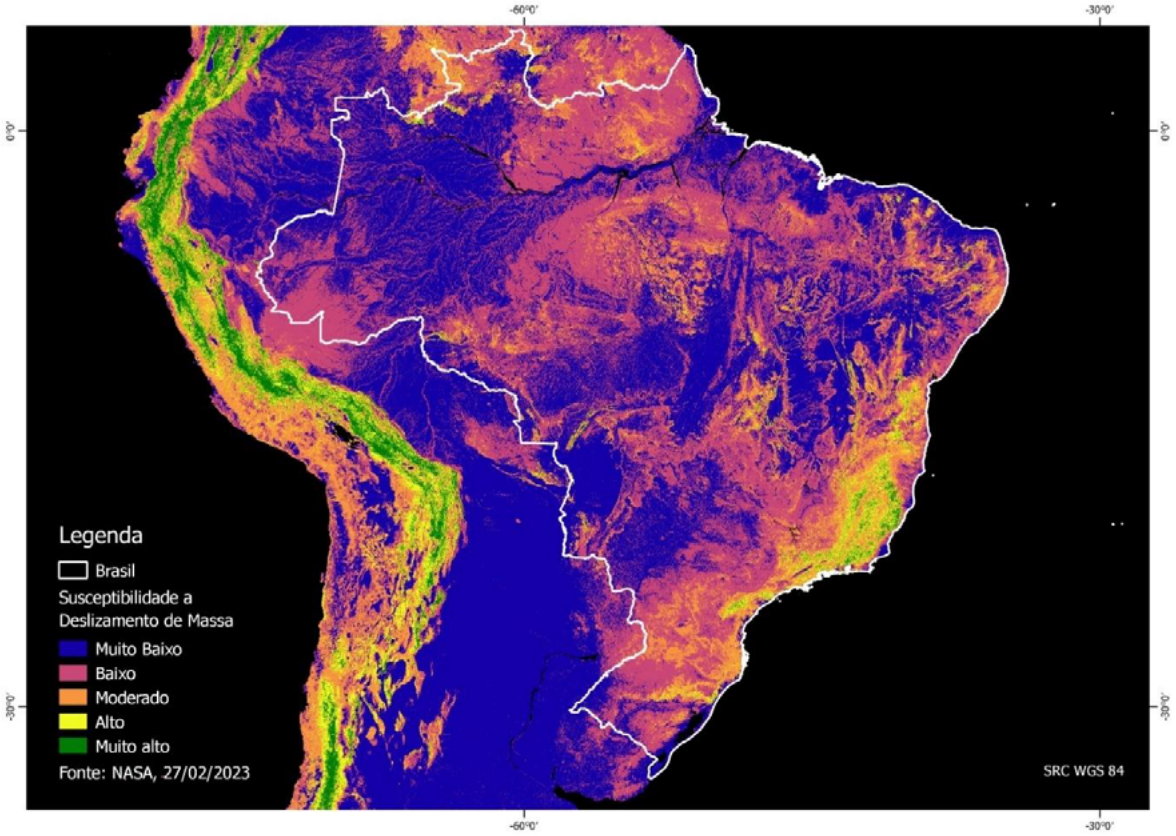
2.2 ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

Tanto os dados de sinistros do DNIT quanto o mapa de susceptibilidade da NASA foram cruzados com a versão mais recente do SNV do DNIT (versão 202304), de forma a ser possível determinar tanto o risco percebido pela infraestrutura implantada quanto averiguar em qual classe de susceptibilidade se enquadram os deslizamentos ocorridos.

O mapa de susceptibilidade ao deslizamento de massa foi espacializado com auxílio da ferramenta do tipo Sistema de Informações Geográficas (SIG) em uma base georreferenciada da versão mais recente do SNV do DNIT (versão 202304), possibilitando a identificação do risco em cada segmento da malha rodoviária do DNIT. Ilustra-se o mapa na Figura 1 e a extensão da malha rodoviária do DNIT por categoria de risco do LHASA, é apresentado na Tabela 3.

Já os dados do SIMDNIT foram especializados nas versões do SNV existentes à época dos deslizamentos, sendo posteriormente trazidos para a versão 202304 do SNV. Tal procedimento faz-se necessário uma vez que obras como a construção de variantes e contornos, ou mesmo as correções de traçado, alteram a referência da quilometragem de uma localidade, não sendo recomendável o uso desse indicador para o comparativo da malha federal em diferentes períodos. O cruzamento desses dados com as categorias de risco do LHASA resultaram os valores da Tabela 4.

Figura 1 – Mapa de susceptibilidade a deslizamento de massa



Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Extensão (km) da Malha rodoviária do DNIT por categoria de risco do LHASA

	1	2	3	4	5	Total
AC	284.9	900.2	3.2	0.0	0.0	1188.3
AL	270.7	312.9	189.5	33.6	2.1	808.8
AM	583.4	1678.2	48.2	7.9	0.8	2318.4
AP	268.1	702.2	42.2	0.0	0.0	1012.5
BA	3238.7	2416.9	898.8	279.1	81.2	6914.7
CE	1244.0	841.0	137.6	57.4	40.8	2320.7
DF	63.2	77.8	14.5	4.2	0.1	159.8
ES	2.2	69.7	119.9	208.1	218.3	618.2
GO	1070.9	958.5	106.6	17.8	13.9	2167.7
MA	1648.2	1476.2	210.7	0.0	0.0	3335.1
MG	488.9	2379.9	1571.8	787.0	390.6	5618.1
MS	2528.6	758.8	49.4	2.5	2.1	3341.4
MT	2398.0	1318.6	146.2	43.0	33.8	3939.7
PA	1304.9	2379.8	351.5	3.6	0.0	4039.8
PB	508.1	670.4	91.1	13.9	7.3	1290.7
PE	925.3	871.1	279.7	46.9	9.0	2132.0
PI	1319.8	1142.2	115.5	14.3	2.1	2593.9
PR	263.6	2796.8	576.1	72.4	48.4	3757.4
RJ	54.9	35.5	105.8	58.3	59.9	314.4
RN	1014.9	439.9	52.7	25.4	9.8	1542.7

(continua)

	1	2	3	4	5	Total
RO	669.0	1297.4	92.0	24.7	4.5	2087.6
RR	744.3	742.3	53.9	11.7	0.0	1552.2
RS	1468.0	3301.1	365.3	99.0	20.5	5253.8
SC	59.8	879.3	675.8	99.8	7.0	1721.7
SE	49.0	249.4	21.9	0.7	0.0	321.0
SP	16.0	11.6	7.4	10.4	10.3	55.7
TO	1090.3	809.5	45.7	8.1	1.7	1955.4
Total	23577.8	29517.1	6373.0	1929.7	964.2	62361.8

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – Sinistros por categoria de risco do LHASA

	1	2	3	4	5	Total
2009	2	2	0	1	1	6
2010	5	3	4	3	21	36
2011	8	4	9	6	4	31
2012	9	13	6	18	27	73
2013	12	7	0	4	8	31
2014	2	8	7	2	5	24
2015	0	3	3	0	4	10
2016	0	6	1	2	18	27
2017	1	1	3	3	14	22
2018	1	2	0	1	3	7
Total	40	49	33	40	105	267

Fonte: Elaboração própria

3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO

A avaliação de um risco representa um procedimento deliberado de estudo e de revisão de sistemas, na expectativa de antecipar todos os possíveis perigos e consequentes evoluções adversas. Não existe um procedimento específico de avaliação e identificação de risco aplicável a todos os casos. Segundo Caldeira (2005) e Montoya (2013), por exemplo, as análises de risco contemplam um vasto campo de aplicação.

O tipo de problema, os dados disponíveis, o grau em que há dependência de julgamento subjetivo e os critérios que serão utilizados para julgar se o risco é aceitável, dependerá da abordagem mais adequada, e esta determinará a escolha do método. Para a presente pesquisa, optou-se pela Avaliação Quantitativa do Risco (QRA), que é um método bastante difundido para quantificar a exposição ao risco em um determinado processo. Segundo a QRA, define-se o risco como a probabilidade de ocorrência de um evento multiplicado pelo impacto desse evento, como mostrado pela Equação 1. Dessa forma, interpretou-se que o risco não depende apenas da probabilidade de um evento ocorrer, mas também dos impactos ou consequências atreladas a ele.

$$R = P \times I \quad (1)$$

Segundo Walpole e Myers (1978), o conceito clássico de probabilidade para resolução de problemas pode ser resolvido pela abordagem empírica bayesiana, podendo ser aplicada tanto a eventos que podem ser repetidos, quanto a eventos que representam acontecimentos únicos.

Albuquerque *et al*. (2019) pontuam que, com o passar dos anos e com a ocorrência de novos desastres naturais, espera-se que as obras de

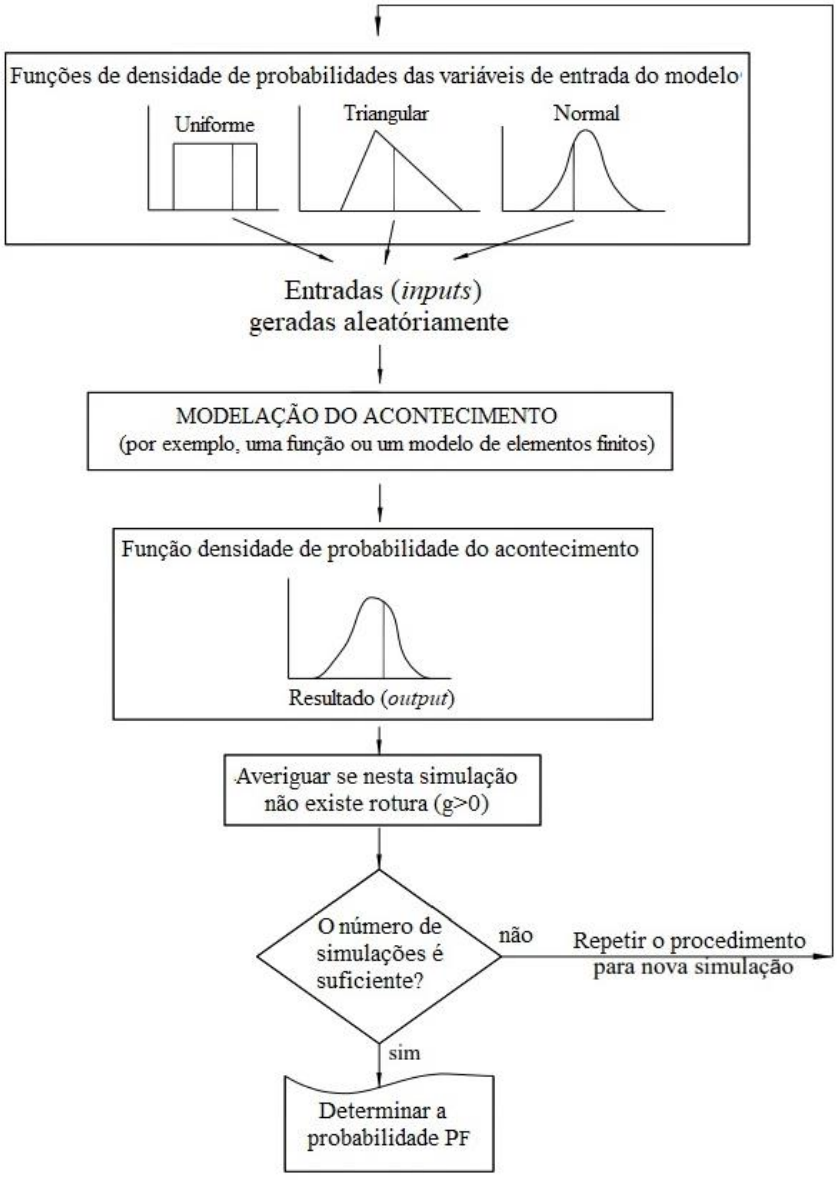
remediação aumentem a resiliência da malha rodoviária federal. Consequentemente, a incidência de obras emergenciais deve se tornar cada vez menor.

3.1 MÉTODO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo é inspirado no trabalho do matemático Stanislaw Ulam, que constantemente frequentava o famoso cassino de Monte Carlo, cujo aspecto aleatório de suas roletas está intimamente ligado ao próprio método. Posteriormente, em 1949, o método formalizou-se por meio do artigo intitulado Monte Carlo Method, publicado por John Von Neumann e Stanislav Ulam (Eckhardt, 1987).

Para um breve entendimento, ilustra-se na Figura 2 uma possível simulação de Monte Carlo para a determinação da probabilidade de falha PF em um acontecimento que possa ser representado por qualquer modelo matemático. Na figura ilustrada por Santos (2006), observam-se três variáveis independentes de entrada definidas pelas suas respectivas Funções de Densidade de Probabilidade (FDP).

Figura 2 – Simulação do método de Monte Carlo para determinar a probabilidade de falha PF de um evento modelo com três variáveis estatisticamente independentes



Fonte: Santos (2006)

Segundo Kottegoda e Rosso (1997), uma variável aleatória apresenta valores imprevisíveis que constituem seu espaço amostral. O método exige que as variáveis do sistema matemático sejam descritas em termos de funções de densidade de probabilidade. Assim, para cada variável, gera-se um resultado possível obedecendo sua distribuição de probabilidade. Realizam-se análises determinísticas para o conjunto de valores gerados e determina-se o fator de segurança. Esse processo deve ser repetido tantas vezes quanto necessário para que se possa determinar a distribuição de probabilidade.

Diversos tipos de distribuições são facilmente encontrados na literatura. Como exemplo, pode-se citar a distribuição normal, lognormal, exponencial, uniforme, triangular, gama, geométrica, hiperbólica, Poisson, Dagum, entre outras.

O próximo passo do método de Monte Carlo consiste em gerar uma amostra da distribuição do fator de segurança, da qual obtém-se quaisquer parâmetros estatísticos, incerteza da medição padrão associada e inclusive a probabilidade de abrangência do intervalo de confiança.

Os resultados da simulação de Monte Carlo podem estar sujeitos a erros, pois trata-se de uma técnica de amostragem e, por esta razão, quando aplicada a problemas reais (análise de projetos), requer eficiência computacional para que as aproximações sejam satisfatórias.

4 ANÁLISES E VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS

O procedimento adotado para se determinar a expectativa de investimentos baseou-se em dois critérios: o histórico e a avaliação quantitativa do risco, explicados nas seções subsequentes.

4.1 QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS

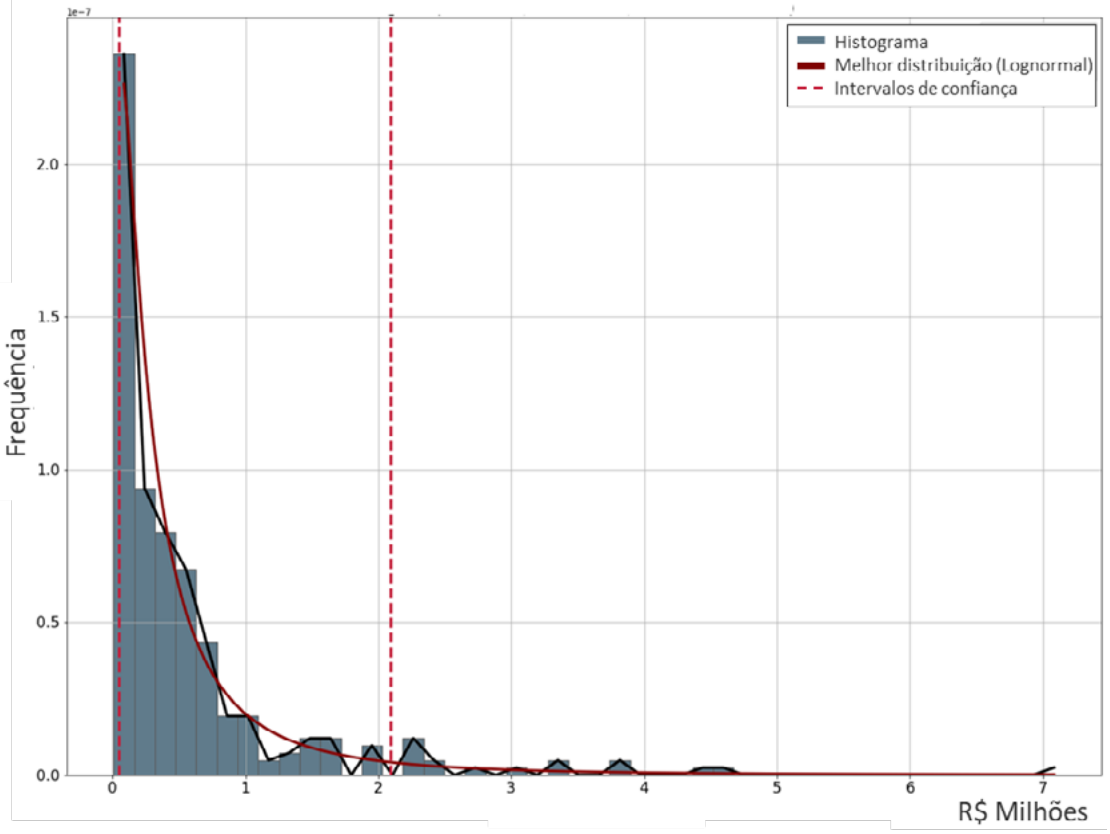
Com o auxílio da linguagem Python, biblioteca distfit, os valores dos 267 sinistros, já reajustados, foram testados contra 9 distribuições de probabilidade conhecidas, a saber Normal, Exponencial, Gamma, Pareto, Lognormal, Weibull, Beta, T de Student e Uniforme, de forma a ser possível determinar qual delas melhor representa o comportamento do custo de uma obra emergencial. Como parâmetro de decisão adotou-se o menor erro quadrático. A distribuição que melhor se adequou aos dados foi a Lognormal, com os parâmetros mostrados na Tabela 5 e curva de densidade de probabilidade apresentada na Figura 3.

Tabela 5 – Parâmetros da Função Lognormal para os custos de obras emergenciais

Parâmetro	Valor
Locação	15.018,0691
Escala	2.983.922,8162
Forma	1,1841

Fonte: Elaboração própria

Figura 3– Histograma dos Custos incorridos pelo DNIT com Intervenções Emergenciais entre 2009 e 2018



Fonte: Elaboração própria

4.2 PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE UM DESASTRE NATURAL

Como a classificação se apresentou em níveis e valores de prioridade de investimento, conforme critérios relacionados à ocorrência de desastres naturais e obras emergenciais, tornou-se possível utilizar esse resultado como partida para a determinação da probabilidade de ocorrência de um sinistro em um trecho no ano.

Primeiramente, determinou-se a quantidade de segmentos dentro de cada grupo. Isso foi feito de forma direta, a partir da Tabela 3. Em seguida, foi levantada a quantidade de ocorrências em cada grupo entre os anos de 2009 e 2018, Tabela 4.

A partir dos valores presentes, foram calculadas as médias anuais, dividindo-se o resultado do passo anterior pelo tamanho do período de análise. Finalmente, esse valor ainda foi dividido pela quantidade de trechos dentro do grupo, obtendo-se a chance ou probabilidade anual de ocorrência de um desastre natural para a infraestrutura de cada categoria de risco. O procedimento pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 – Probabilidade de ocorrência de desastres naturais nos grupos de classificação

Prioridade	Extensão (km)	Quantidade de Ocorrências (2009-2018)	Probabilidade anual de ocorrência
Muito alta	964.2	105	1.089%
Alta	1929.7	40	0.207%
Média	6373.0	33	0.052%
Baixa	29517.1	49	0.017%
Muito baixa	23577.8	40	0.017%

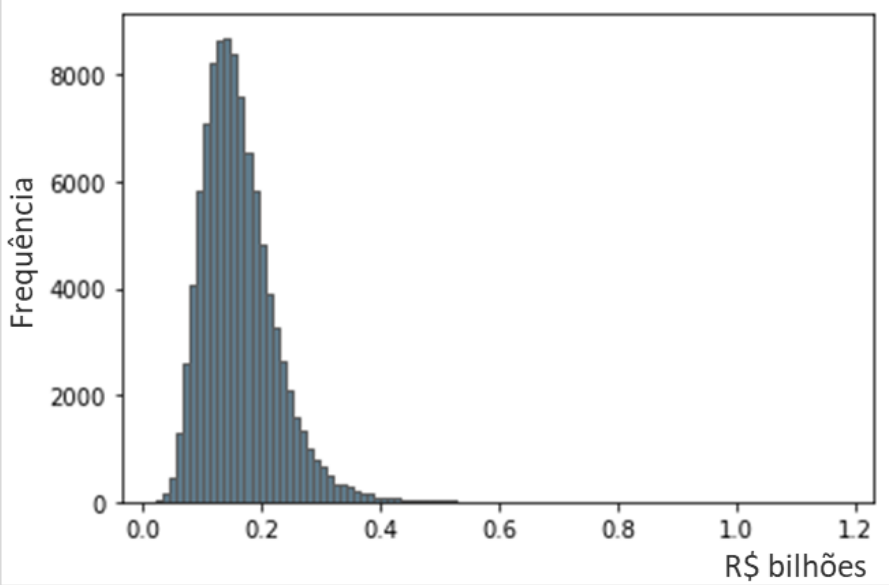
Fonte: Elaboração própria

4.3 CÁLCULO DO RISCO

Conforme mencionado anteriormente, obtém-se o risco por meio do produto entre a probabilidade de ocorrência e o impacto, como descrito na Equação 1. Tendo em vista que foi possível a determinação da distribuição de probabilidades que rege ambas as variáveis, é possível usar o método de Monte Carlo para calcular a curva de probabilidades do desembolso anual com obras emergenciais de deslizamento de encostas.

Foram feitas 100 mil simulações, para as quais subdividiu-se a malha rodoviária federal do DNIT em segmentos de 50m de extensão e calculou-se, conforme valores da Tabela 6 a probabilidade de aquele segmento ser alvo de um sinistro ambiental, dada sua classe de risco. Para aqueles segmentos em que a análise estatística indicou a ocorrência de deslizamento, calculou-se o valor de reparação do ocorrido a partir da distribuição lognormal determinada na secção 4.1. O histograma resultante dessa análise pode ser visto na Figura 4, e os percentis na Tabela 7.

Figura 4 – Histograma de risco com deslizamento de encostas na malha rodoviária do DNIT



Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 – Risco anual (Milhões de R$)

Percentil	Risco
Média	160.88
Desvio Padrão	62.76
Mínimo	20.66
10%	92.86
20%	110.33
30%	124.59
40%	137.94
50%	151.24
60%	165.40
70%	182.51
80%	204.22
90%	239.18
Máximo	1170.85

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que pelo método QRA o risco representa um valor monetário, com unidade em reais, e não apenas uma probabilidade. Dessa forma, esse dado deve ser interpretado como a expectativa anual de gastos com remediação de desastres naturais em um trecho. Da Tabela 7 pode-se inferir que, em média, o gasto anual com obras de reparação de deslizamentos de massa é da ordem de R$ 161 milhões. Isso significa dizer que, caso esse seja o valor da dotação orçamentária para esse tipo de investimento, em 1 a cada 2 anos espera-se que os recursos sejam insuficientes para fazer frente às obrigações emergenciais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento ótimo de recursos para a manutenção das rodovias necessita da estimativa, o valor que será gasto com esse tipo de intervenção. A cada ano, ocorrem em média 27 sinistros ambientais que impactam as rodovias federais, exigindo o empenho de recursos para sanar os danos causados. Para planejar adequadamente a necessidade de recursos para a manutenção das rodovias, é preciso, portanto, estimar o montante que será gasto com esse tipo de intervenção.

Para os cálculos do custo das obras de emergência foi considerado o histórico das ocorrências, convertido em uma distribuição de probabilidade representativa. Pontua-se aqui que o método apresenta a desvantagem de que os dados utilizados para a análise se basearem num curto período de 10 anos e apenas para os ativos rodoviários do DNIT, impossibilitando uma análise estatística mais apurada.

O crescimento do presente tema é fundamental, pois gera maior enriquecimento de informações e confiabilidade para análises futuras, aumentando a resiliência da malha rodoviária brasileira, visando garantir condições permanentes de trafegabilidade, segurança e conforto aos usuários.

Com base na análise realizada neste estudo, concluímos que a integração do mapa de susceptibilidade ao deslizamento de encostas fornecido pela NASA com os dados de ocorrências do DNIT tornou possível extrair informações quantitativas a partir da categorização qualitativa do mapa de susceptibilidade global ao deslizamento de massas, mostrando-se como uma abordagem promissora para a avaliação do risco anual de sinistros em ativos de infraestrutura.

A utilização da simulação Monte Carlo demonstrou ser uma ferramenta eficaz para quantificar o risco em termos financeiros. Essa metodologia permitiu a consideração de múltiplos cenários e a incorporação de incertezas associadas às variáveis-chave relacionadas à fragilidade das encostas e ao custo da obra de mitigação.

Finalmente, os autores sugerem que o modelo seja expandido de sorte a incorporar outros fatores de risco, tais como índices de precipitação acumulados diários e semanais. Sugere-se, ainda, que a abordagem aqui desenvolvida seja aplicada para a quantificação do risco geológico de concessões rodoviárias e ferroviárias, de forma a evitar desvios quando da elaboração dos respectivos modelos de negócios.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, B. C. P., FERRARI DE CAMPOS, D. J., COSTA, T. C. F., VIEIRA, S. S. (2019). **Metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco para Determinação de Gastos com as Obras Emergenciais.** 21º ENACOR - Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, (p. 11), Brasília, DF.

BRASIL. Departamento nacional de infraestrutura de transportes (DNIT). (2016). **Monitoramento do plano nacional de manutenção rodoviária:** plano de adaptação de rodovias federais a desastres naturais e desastres naturais recorrentes. Florianópolis: UFSC; Brasília: DNIT. Termo de execução descentralizada n. 935/2014-00. (Relatório parcial, v. 2, 2R05).

BRASIL. **Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 1993.

CALDEIRA, L. (2005). **Metodologias de Análise de Risco.** Aplicações em Geotecnia. II Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia: Modelação e Segurança em Geotecnia, (pp. 31-55).

ECKHARDT, R. (1987). **Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo Method**. Los Alamos Science, Special Issue, 131 - 143.

GILTIRANA JR, G. F. (2005). **Weather-Realated Geo-Hazard Assessment Model for Railway Embankment Stability.** Thesis Doctor. Department and Geological Engineering. University of Saskatchewan. Sasktoon, Saskatchewan, Canada. 411 p.

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. (2010). **Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias**. IPR publicação nº 738, 2ª Edição. Rio de Janeiro. 218p.

KOTTEGODA, N., & ROSSO, R. (1997). **Statistics, probability, and reliability for civil and environmental engineers**. Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill Publishing Company.

MONTOYA, C. A. H. (2013). **Incertezas, vulnerabilidade e avaliação de risco devido a deslizamento em estradas**. Tese de Doutorado, Publicação T.TD 081/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 250p.

PALMIERI, F., & LARACH, J. O. (1996). **Pedologia e Geomorfologia. Em Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 59-89.

SANTOS, R. N. (2006). **Enquadramento das Análises de Riscos em Geotecnia**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, PT.

STANLEY, T. A. & KIRSCHBAUM, D. B. (2017). **A heuristic approach to global landslide susceptibility mapping.** Natural Hazards, pp. 1-20: 10.1007/s11069-017-2757-y.

STANLEY, T. A., KIRSCHBAUM, D. B., BENZ, G. (2021). **Data-Driven Landslide Nowcasting at the Global Scale**. Frontiers in Earth Science, 9: 10.3389/feart.2021.640043.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H. **Probability and statistics for engineers and scientists.** Nova Iorque: Macmillan, 1978. 580 p.