

19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

### RESILIÊNCIA CLIMÁTICA: MÉTODO PARA ANÁLISE DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÕES EM RODOVIAS APLICADO À GERÊNCIA EM NÍVEL DE REDE

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Igor Castro Sá de Oliveira<sup>1</sup>; Andrea Juliana Alarcón Posse<sup>1</sup>; Carla Bozzi Piazzarollo<sup>1</sup>;  
Cintia Adriana Azevedo de Liz Anhaia<sup>1</sup> & Rogério Calazans Verly<sup>2</sup>*

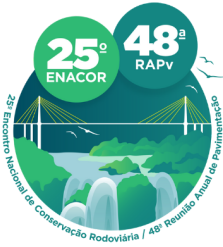
#### RESUMO

Muitos especialistas em clima concordam que o comportamento climático é inconstante e, com base em modelos climáticos, mudanças na distribuição de calor têm ocorrido desde o século XX, conforme exposto por Casagrande e de Alvarez (2013). A minimização dos impactos das mudanças climáticas é uma preocupação central de políticas públicas em muitos países, e pesquisas estão sendo conduzidas em diversas áreas do conhecimento para se adaptar a novos cenários. Atualmente, o termo “resiliência climática” tem sido amplamente utilizado, principalmente em relação à infraestrutura de transportes. Vários autores abordaram o tema em nível de projeto, entretanto, poucas metodologias encontradas na literatura abordam o tema em nível de rede. Este artigo propõe uma adaptação metodológica que se utiliza de métodos já existentes e consolidados, os quais analisam a propensão à movimentação de massa e às inundações em rodovias. No entanto, há uma complementação, em que um índice de risco é calculado para cada trecho em análise, o que permite compará-los em nível de rede e, dessa forma, constitui uma ferramenta útil para a tomada de decisão quanto à priorização de investimentos e melhoria da resiliência da infraestrutura rodoviária em relação à ação climática. Foi proposta uma sequência metodológica fundamentada em três níveis de planejamento: estratégico, tático e operacional. No primeiro, é realizada a identificação dos segmentos mais críticos à adaptação. Na sequência, o nível tático analisa cada um desses trechos priorizados, separadamente, sendo a análise de risco – objeto de estudo deste artigo – uma etapa desse planejamento. Por último, no nível operacional, os trechos analisados são ranqueados e são implementadas as medidas para melhoria da resiliência climática. Neste sentido, com o planejamento adequado, estaremos diante de um avanço significativo rumo a uma infraestrutura viária que esteja mais adaptada às transformações climáticas, fomentando a segurança, a sustentabilidade e o progresso do país de maneira abrangente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resiliência Climática; Infraestrutura rodoviária; Movimentos de massa; Inundações.

#### ABSTRACT

Various climate experts agree that climate behavior is unpredictable, and based on climate models, changes in heat distribution have occurred since the 20th century, as exposed by Casagrande and de Alvarez (2013). Minimizing the impacts of climate change is a central concern of public policies in many countries, and research are being conducted in numerous fields of knowledge to adapt to new scenarios. Currently, the term "climate resilience" has been widely used, mainly in relation to transportation infrastructure. Many authors have addressed the topic at the project level; however, few methodologies found in the literature approach the subject at the network level. This article proposes a methodological adaptation that utilizes existing and established methods, which analyze the propensity for landslides and flooding on highways. However, there is a complementation, where a risk index is calculated for each segment under analysis, allowing for their comparison at the network level and, thus, providing a useful tool for decision-making regarding investment prioritization and improving the resilience of road infrastructure concerning climate action. The authors of this work proposed a methodological sequence, based on three levels of planning: strategic, tactical, and operational. In the first level, the identification of the most critical segments for adaptation is carried out. Next, the tactical level analyzes each of these prioritized sections separately, and risk analysis is a stage of this planning. Finally, at the operational level, the analyzed segments are ranked, and measures are implemented to improve climate resilience. In this sense, with proper planning, it will be making significant progress towards a road infrastructure that is better adapted to climate change, promoting safety, sustainability, and progress.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



**KEY WORDS:** Climate Resilience; Road infrastructure; Landslides; Flooding.

<sup>1</sup> Consórcio Engefoto-Pavesys, e-mail: [igorcastro@consorcioep.com.br](mailto:igorcastro@consorcioep.com.br); [julianaalarcon@consorcioep.com.br](mailto:julianaalarcon@consorcioep.com.br); [cintializ@engefoto.com.br](mailto:cintializ@engefoto.com.br); [carlabozzi@consorcioep.com.br](mailto:carlabozzi@consorcioep.com.br)

<sup>2</sup> Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e-mail: [rogerio.calazans@dnit.gov.br](mailto:rogerio.calazans@dnit.gov.br)

## CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTADO DA ARTE

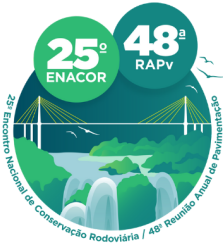
A sociedade atual é organizada como uma complexa rede interativa, composta por diversos subsistemas. Dentre todos esses subsistemas, alguns são considerados fundamentais, como é o caso dos sistemas de transporte, os quais trabalham em conjunto para fornecer produtos e serviços essenciais para o nosso cotidiano. No entanto, desastres imprevistos que impactam as redes de transporte acarretam enormes custos humanos e financeiros. De acordo com o Banco Mundial (2016), o transporte é um dos sistemas de infraestrutura mais vulneráveis a prejuízos.

Dentre esses desastres, destacam-se aqueles relacionados às condições climáticas. Devido à globalização das informações, ficou evidenciado o crescente número de desastres naturais, por consequência de eventos climáticos cada vez mais extremos, como elevadas intensidades de chuva, por exemplo. Esses desastres geram onerosas perdas e danos, afetando diretamente as infraestruturas existentes, levando a sociedade e os órgãos competentes a despenderem maior atenção para a necessidade de desenvolver processos de gestão de riscos, mecanismos de proteção e respostas rápidas a esses eventos.

Entre os principais conceitos relacionados aos eventos disruptivos que ocorrem na infraestrutura desencadeados por gatilhos climáticos, o termo “resiliência climática” tem sido o mais empregado (SERULLE *et al*, 2011; BEILER *et al* 2013; BOCCHINI *et al*, 2013; CHAN; SCHOFER, 2016; BANCO MUNDIAL, 2019). Quando se trata de rodovias e estradas, pode-se entender a resiliência climática como a capacidade de absorver impactos de eventos inesperados e manter suas funções, ou, após a interrupção de suas funções, apresentar uma capacidade de resposta rápida e retomar o estado inicial.

Segundo Weinem e de Souza (2016), os movimentos de massa – como deslizamentos (planares e rotacionais), tombamentos, quedas de bloco, entre outros – estão entre as principais ocorrências que geram danos à malha rodoviária federal brasileira e, conseqüentemente, à população. Neste sentido, surge a necessidade de desenvolver planos que guiem a tomada de decisão em investimentos de infraestrutura e que levem em consideração a capacidade resiliente da via, de forma que seja construída uma gestão cada vez mais preparada para as rodovias – ou trechos rodoviários – mais vulneráveis.

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm estudado a resiliência das vias urbanas em relação aos eventos disruptivos ocasionados por gatilhos climáticos, tais como Serulle *et al.* (2011), Tuler e Moench (2012), Bahadur e Tanner (2014) e Mantovani (2016). Outros autores têm pesquisado acerca da resiliência da infraestrutura rodoviária, tanto em relação à suscetibilidade local e vulnerabilidade da infraestrutura, quanto em relação ao risco de deslizamentos, porém com uma aplicação a nível de projeto ou em escala regional (MOREIRA *et al.*, 2018; MESQUITA, 2019; BATISTA, PASSINI e KORMANN, 2019). No entanto, ainda há uma carência de estudos que possibilitem análise em nível de rede, de forma que possam ser selecionados os segmentos com maior necessidade de intervenções e que eles possam ser estudados e comparados em relação à viabilidade técnica e econômica para priorização de investimentos.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

Com o intuito de contribuir para que o Brasil possa ter uma infraestrutura rodoviária mais resiliente à ação climática, é proposta uma metodologia para a priorização de investimentos baseada em três níveis de planejamento: estratégico, tático e operacional. Para a aplicação dessa metodologia, sugere-se que a malha rodoviária seja segmentada em trechos de até dez quilômetros de extensão, de maneira que possam ser individualmente avaliados e posteriormente comparados.

O principal objetivo do planejamento estratégico é identificar e classificar os trechos mais críticos da malha rodoviária para adaptação em relação à resiliência climática. Para isso, é necessário selecionar os principais indicadores relacionados à priorização de intervenções e coletar os dados desses indicadores. Em seguida, deve-se definir e aplicar um método de hierarquização para categorizar esses trechos.

Com os trechos categorizados, torna-se possível avaliar individualmente cada um deles em relação à melhoria da resiliência climática. O planejamento tático, que é o foco deste artigo, consiste em identificar a viabilidade da implementação de medidas estruturais e não estruturais. Para isso, cada trecho será submetido a uma análise fundamentada em dois pilares: avaliação do risco e viabilidade econômica.

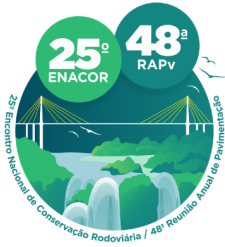
No nível operacional, deve-se realizar a ordenação dos trechos analisados na etapa anterior, além de elaborar um planejamento de curto e médio prazo que inclua a implementação de medidas de intervenção, como projetos básicos, projetos executivos, contratação de obras, licenciamento ambiental, entre outros.

Esse planejamento em níveis pode ser aplicado em qualquer esfera de administração e em qualquer extensão de malha rodoviária, fornecendo informações para que os gestores possam tomar decisões mais assertivas em relação à priorização de investimentos em medidas de resiliência climática. Dessa forma, a tendência é que sejam destinados menos recursos para obras emergenciais e que os danos provocados por deslizamentos e alagamentos em rodovias sejam mitigados.

O propósito deste artigo é introduzir um método de avaliação de risco especialmente concebido para o âmbito tático. Esse método pode ser aplicado após a identificação dos segmentos mais críticos, permitindo sua comparação através de um índice de risco (IR). É importante enfatizar que, dada a escala do mapeamento, a análise de risco deve ser empregada como um suporte à tomada de decisão, configurando-se como uma ferramenta comparativa entre os diversos trechos analisados.

## METODOLOGIA

Após identificar e classificar os trechos que requerem intervenções para melhorar a resiliência climática, é necessário realizar uma avaliação individual de cada um deles. Essa avaliação permitirá priorizar os investimentos e utilizar os recursos de maneira eficiente. Para isso, propõe-se uma metodologia adaptada com base em dois documentos principais: o *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure*, desenvolvido pela *World Road Association - PIARC* em 2015, e o documento *Melhoria da Resiliência Climática da Malha Rodoviária Federal Brasileira*, elaborado pelo Banco Mundial em 2019. O método de análise de risco, adaptado pelos autores deste artigo, consiste nas seguintes etapas: levantamento de dados; obtenção dos mapas de suscetibilidade; mapeamento dos elementos expostos; setorização climatológica/geológico-geomorfológica; cálculo do valor-limite de precipitação e taxa de recorrência do valor-limite, e cálculo do índice de risco.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## Levantamento de dados

O primeiro passo a ser dado para a análise de risco é realizar a coleta dos dados que serão utilizados como *inputs* da análise. Nesta etapa, deverão ser coletados os registros de todas as ocorrências de movimentos de massa e inundações no trecho estudado. Esse histórico de ocorrências deverá ser cruzado com as informações de pluviometria registradas nos dias dos eventos – se possível, até 96 horas antecedentes às ocorrências.

Outro ponto muito importante é realizar um diagnóstico do trecho, levantando todas as informações pertinentes à resiliência climática, tais como: obras de contenção já realizadas, obras emergenciais, condições dos dispositivos de drenagem; localização dos bueiros (greide e transposição de talvegues), entre outras.

Além dos dados mencionados acima, é fundamental a utilização de um modelo digital de elevação (MDE) e de ortoimagens. Por meio destes, serão delimitadas as bacias hidrográficas, a declividade, os padrões de relevo, os lineamentos estruturais e outras informações pertinentes ao mapeamento das suscetibilidades. Sugere-se fortemente que sejam obtidos modelos digitais de terreno (MDT) com até cinco metros de resolução espacial, entretanto, em locais onde não há vegetação densa, o método permite a utilização de modelos digitais de superfície (MDS).

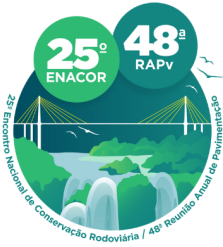
## Mapeamento das suscetibilidades

Nesta etapa, é essencial realizar os mapeamentos das suscetibilidades a movimentos de massa e inundações. Com o objetivo de padronizar e permitir a comparação entre as áreas estudadas, utiliza-se as cartas de suscetibilidade fornecidas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Nos locais em que as suscetibilidades ainda não foram mapeadas, utiliza-se os mesmos métodos indicados pela Nota Técnica Explicativa - Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (SGB, 2014) e pela Nota Técnica para a Elaboração de Modelagens de Inundação (SGB, 2021).

Para a análise do cruzamento dos dados de suscetibilidade com o trecho rodoviário em questão, é recomendado o uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Recomenda-se, portanto, obter os dados vetoriais do Sistema Nacional de Viação (SNV), os quais estão disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Esses dados vetoriais representam as rodovias através de linhas. Dessa forma, é necessário gerar um polígono utilizando um *buffer* que englobe a faixa de domínio do trecho em análise e, em seguida, verificar as interseções com as classes de suscetibilidade baixa, média e alta. Recomenda-se utilizar uma área de influência de 1 km em cada lado a partir do eixo, a fim de realizar uma análise abrangente e apresentar as suscetibilidades correspondentes.

## Mapeamento dos elementos expostos (vulnerabilidade)

Após a definição das suscetibilidades, será realizado o mapeamento dos elementos expostos, para a posterior definição da vulnerabilidade. A vulnerabilidade diz respeito ao grau de perdas e danos associados aos elementos expostos; quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade (SGB, 2014; PIARC, 2015; RIFFEL; GUASSELLI; BRESSANI, 2016; MANTOVANI, 2016; LOUZEIRO, 2018). Geralmente, a vulnerabilidade está associada às condições das estruturas e ao uso e ocupação do solo. No caso específico de desastres ocorridos em rodovias, as consequências, na maioria das vezes, independem das condições dos ativos (exceto nos casos de estruturas de contenção). Nesta



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Metodologia, a vulnerabilidade é associada à suscetibilidade. As classes de suscetibilidade baixa, média e alta são representadas pelos valores 1, 2 e 3, respectivamente. Caso sejam identificadas estruturas que favoreçam a resiliência de um trecho específico, o valor da vulnerabilidade poderá ser reduzido em uma unidade. Além disso, o mapa de suscetibilidade sempre deve ser sobreposto às manchas urbanas, e, sempre que a rodovia cruzar áreas urbanizadas, o valor da vulnerabilidade deverá ser aumentado em uma unidade.

### Setorização climatológica/geológico-geomorfológica

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

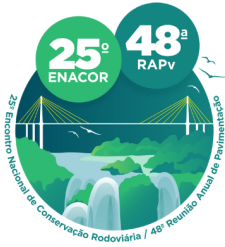
Desta forma, as regiões que apresentarem o mesmo regime de chuvas, os mesmos tipos de rochas, e as mesmas formações de relevos serão setorizadas como sub-regiões. Os dados a serem utilizados para determinação das características de chuvas do trecho podem ser obtidos por meio do portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA). Essa setorização será utilizada para a classificação de risco, visto que o cálculo do valor-limite de precipitação deve ser realizado separadamente para cada setor do trecho.

### Cálculo do valor-limite de precipitação e taxa de recorrência do valor-limite

Conhecer o valor-limite de precipitação é fundamental, pois representa o gatilho climático para a deflagração de movimentos de massa e inundações. Nesta etapa, deve-se seguir o procedimento preconizado pelo Banco Mundial (2016). Para determinação do valor-limite, será usado um banco de dados com o histórico de ocorrência de inundações e deslizamentos bem como dados sobre a localização, data e hora de ocorrência dos eventos, em conjunto com um banco de dados meteorológicos relativos ao mesmo período. Caso não existam dados horários para o histórico de ocorrências analisado o cálculo do valor-limite deverá ser adaptado aos dados disponíveis e a investigação deverá ser realizada analisando toda a série histórica, verificando-se a correspondência entre esses dados com o dia em que ocorreu o desastre natural para, assim, fazer a estimativa do valor-limite.

As informações dos desastres devem ser compiladas com as informações das precipitações acumuladas que antecedem aos eventos em 0, 24, 48, 72 e 96 horas. Essas informações serão plotadas em um gráfico de horas de precipitação acumulada vs precipitação acumulada. Assim, é traçada uma linha de tendência linear que será correspondente ao valor-limite de precipitação acumulada, que pode ocorrer no período antecedente a um desastre.

A probabilidade de um evento é um cálculo complexo, especialmente quando se trata de eventos como movimento de massa, condições do solo e regime de precipitação. Para determinar essa probabilidade, é necessário levar em consideração as seguintes premissas básicas: os fatores que causaram movimentos de massa no passado são os mesmos que os causam hoje; a probabilidade de um movimento de massa ocorrer no futuro é a mesma que a taxa de recorrência observada no passado; cada setor é uma microrregião que compartilha características climatológicas e geológicas-geomorfológicas uniformemente distribuídas.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Portanto, o cálculo da taxa de recorrência do valor-limite é feito em três etapas: (i) seleção dos eventos com precipitação diária acima do valor-limite; (ii) seleção dos eventos em que a precipitação acumulada durante 96 horas excedeu o valor-limite dos setores em questão; e (iii) contagem do número de eventos selecionados.

A taxa de recorrência que excede os valores-limite de precipitação, capazes de desencadear desastres em seus respectivos setores, é calculada com base no número de eventos que ultrapassaram os valores-limite calculados e na extensão temporal da série histórica. A probabilidade de atingir o valor-limite em um determinado setor será equivalente à taxa de recorrência anual do evento.

### Cálculo do índice de risco

O risco está diretamente relacionado ao potencial de danos causados por um evento, bem como à probabilidade de ocorrência deste evento (SGB, 2014; PIARC, 2015). Neste método, a vulnerabilidade está associada ao grau de danos e a taxa de recorrência do valor-limite de precipitação está associada à probabilidade de ocorrência do gatilho climático. Sendo assim, é elaborada uma matriz de risco específica para cada trecho analisado, na qual os valores de vulnerabilidade são multiplicados pela taxa de recorrência do valor-limite. A Tabela 1, a seguir, apresenta um exemplo da matriz de risco com valores de referência.

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

Tabela 1 – Cálculo do valor associado ao risco (AUTOR, 2023)

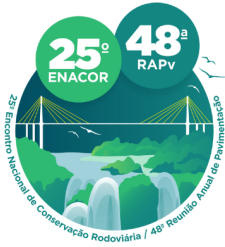
| Vulnerabilidade | Taxa de recorrência do valor-limite de precipitação (nº de vezes por ano) |   |   |    |    |
|-----------------|---|---|---|----|----|
|                 | 1   | 2 | 3 | 4  | 5  |
| Baixa (1)       | 1   | 2 | 3 | 4  | 5  |
| Média (2)       | 2   | 4 | 6 | 8  | 10 |
| Alta (3)  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

Tabela 2 – Classificação do risco (AUTOR, 2023)

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

É recomendado elaborar uma matriz de risco específica para cada tipo de desastre analisado. Por exemplo, se um determinado local é suscetível tanto a alagamentos quanto a movimentos de massa, será necessário criar duas matrizes de risco distintas. Após a conclusão das matrizes, é possível desenvolver mapas de risco para a área em questão, destacando os elementos espacializados (como ativos pontuais ou lineares) e categorizando-os de acordo com o nível de risco estabelecido.

Para facilitar a interpretação dos resultados e auxiliar na tomada de decisões relacionadas a investimentos, é essencial criar mapas temáticos para cada tipo de risco analisado. Esses mapas



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



destacam de forma visual as informações relevantes. Na Figura 1, apresentamos um fluxograma resumindo o processo sugerido para a elaboração dos mapas.

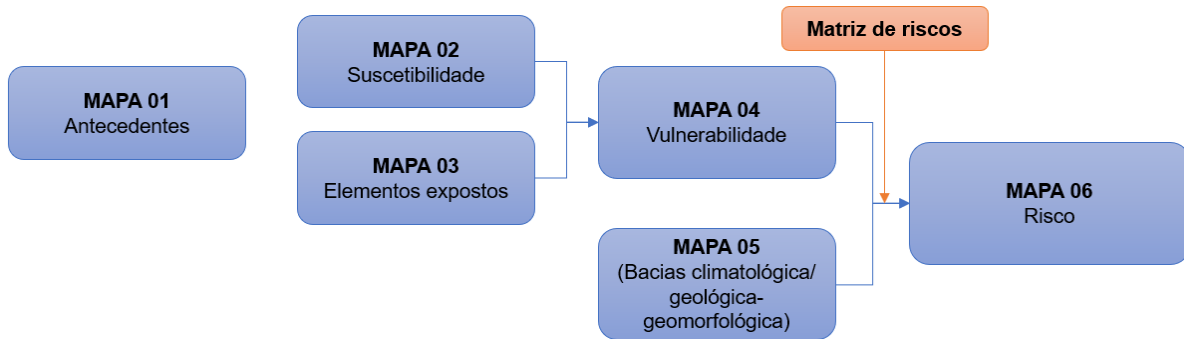


Figura 1 – Fluxograma: elaboração do mapa de riscos do trecho analisado (AUTOR, 2023)

Após a criação do mapa de risco, é necessário calcular um Índice de Risco (IR) com base nas classes de risco atribuídas aos ativos lineares. Esse cálculo é feito usando a Equação 1, que relaciona as extensões correspondentes a cada classe de risco com a extensão total do trecho analisado. É importante observar que os valores utilizados nesse cálculo devem ser expressos com precisão de duas casas decimais.

$$IR = \frac{\sum_i^n \text{Extensão do Trecho } i * \text{Valor Respetivo na Matriz de Risco}}{\text{Extensão Total do Trecho}} \quad (1)$$

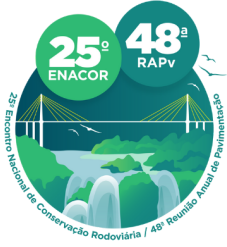
## APLICAÇÃO DO MÉTODO

O método mencionado foi aplicado em um trecho mapeado como prioritário em relação a adaptações para melhoria da resiliência climática. Esse trecho corresponde ao BR-259, do quilômetro 74,9 ao quilômetro 83,1, no estado do Espírito Santo.

Foram obtidos e geoespacializados dados de antecedentes de ocorrências no local, como alagamentos, erosões, movimentos de massa e obras emergenciais, de forma a montar um mapa de antecedentes que contribuirá com o mapeamento dos pontos de maior risco do trecho, identificando os locais mais propensos a ocorrência de desastres e apoiando a tomada de medidas de mitigação.

Os mapas de suscetibilidade à inundação e ao movimento de massa foram obtidos da base de dados do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). A vulnerabilidade do trecho será determinada com a sobreposição dos mapas de suscetibilidade com o polígono (*buffer* de 50 m da linha da rodovia) do trecho e o cruzamento desses dados com os elementos expostos, conforme mencionado anteriormente. As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas de vulnerabilidade a movimentos de massa e inundações, respectivamente, em conjunto com a suscetibilidade mapeada pelo SGB. Na sequência, nas Figuras 4 e 5, são apresentados os elementos expostos mapeados no trecho, sobrepostos à vulnerabilidade ao movimento de massa e à inundação, respectivamente, apresentadas nas figuras anteriores.

Definidos os valores da vulnerabilidade para cada segmento, é necessário definir o valor-limite de precipitação e a taxa de recorrência desse valor, e, assim, realizar a multiplicação dessas duas variáveis em cada segmento. Isso pode ser realizado na própria tabela de atributos do SIG utilizado. Feito isso, será aplicada a Equação 1 e determinado o IR do trecho para os eventos de movimento de massa e de inundação, separadamente.



19 a 22 de Setembro de 2023  
 Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

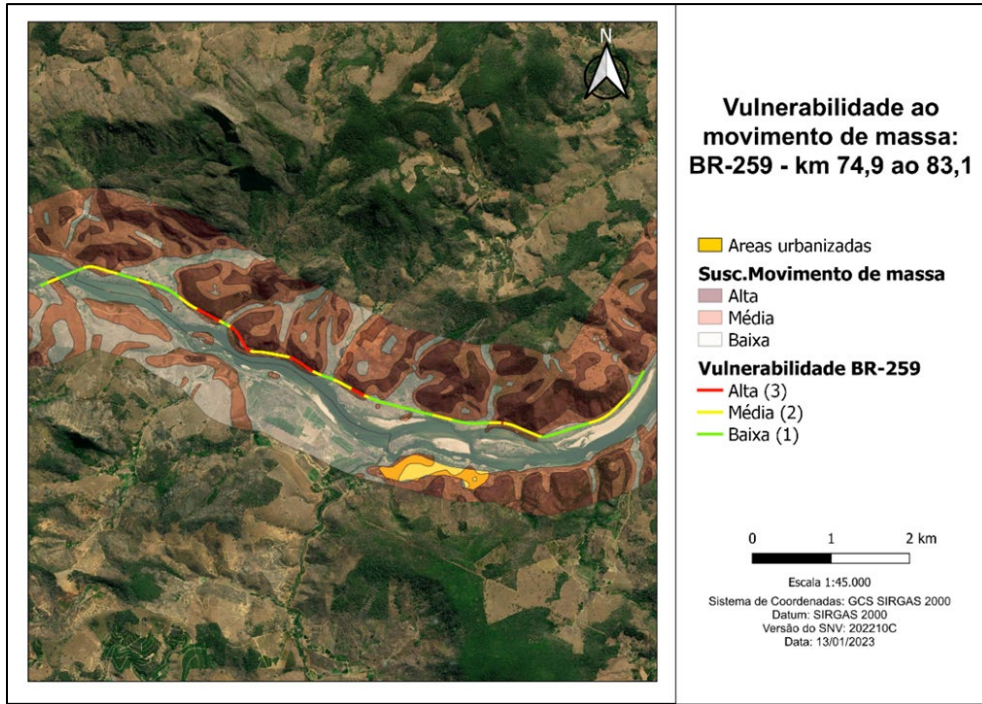


Figura 2 – Mapa de vulnerabilidade ao movimento de massa (AUTOR, 2023)

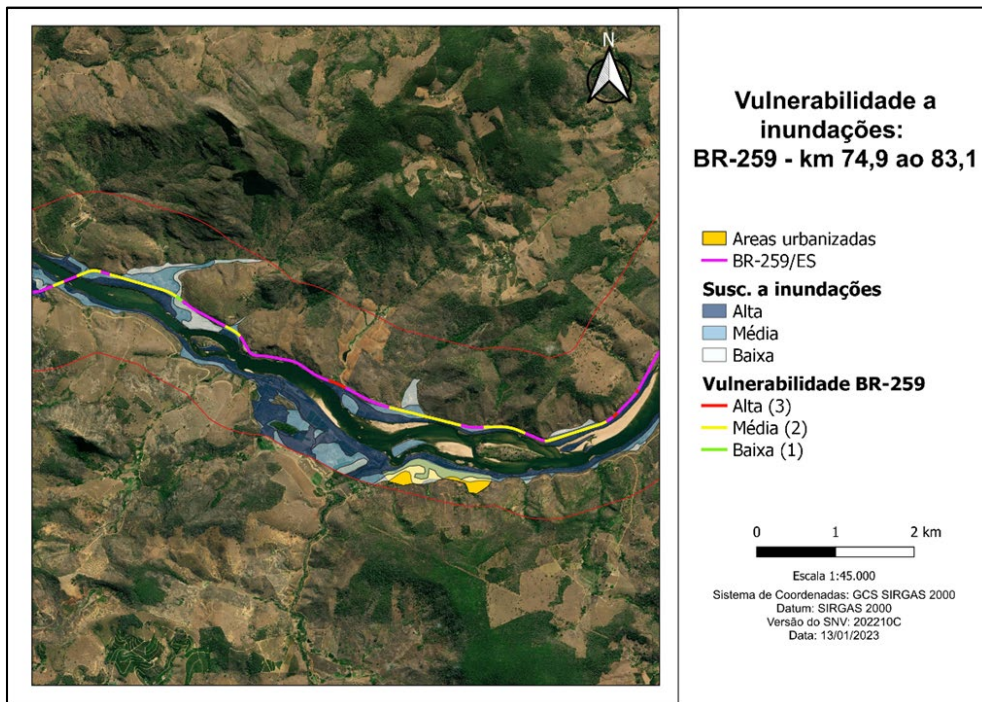
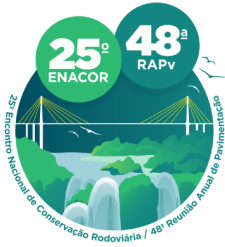


Figura 3 – Mapa de vulnerabilidade a inundações (AUTOR, 2023)





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

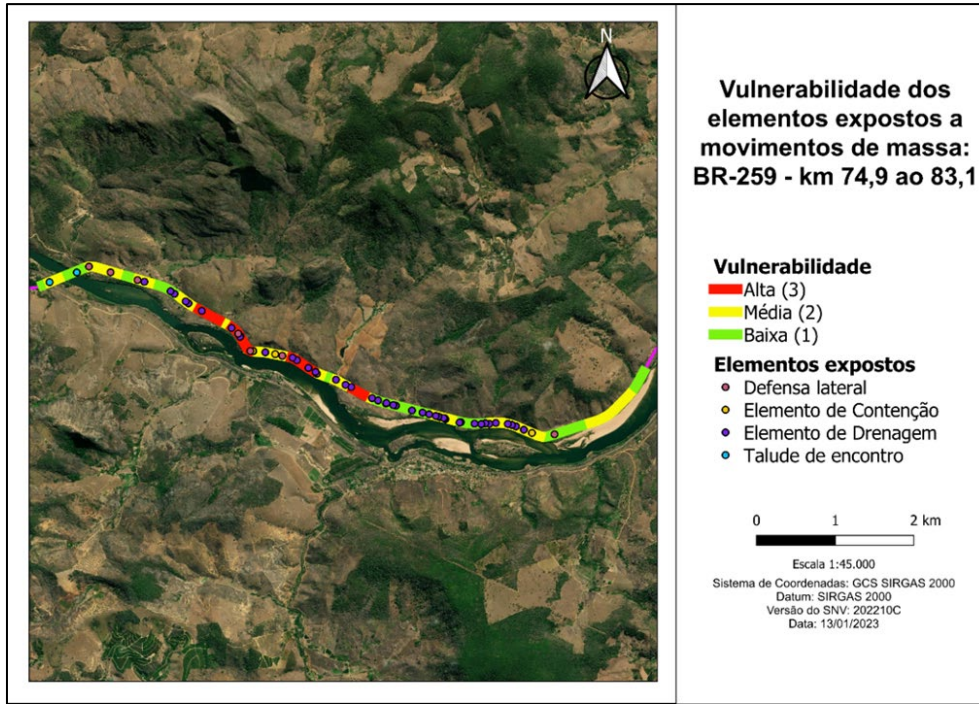


Figura 4 – Mapa de vulnerabilidade dos elementos expostos ao movimento de massa (AUTOR, 2023)

Para este trabalho, devido às características apresentadas, foi considerado que o trecho se encontra dentro de um mesmo setor climatológico/geológico-geomorfológico. Sendo assim, por não possuir os registros horários de pluviometria, foi realizada uma análise estatística em toda a série histórica da estação pluviométrica mais representativa para o trecho e determinou-se o valor-limite de precipitação de 80 mm em 24 horas e a taxa de recorrência desse valor foi de duas vezes ao ano.

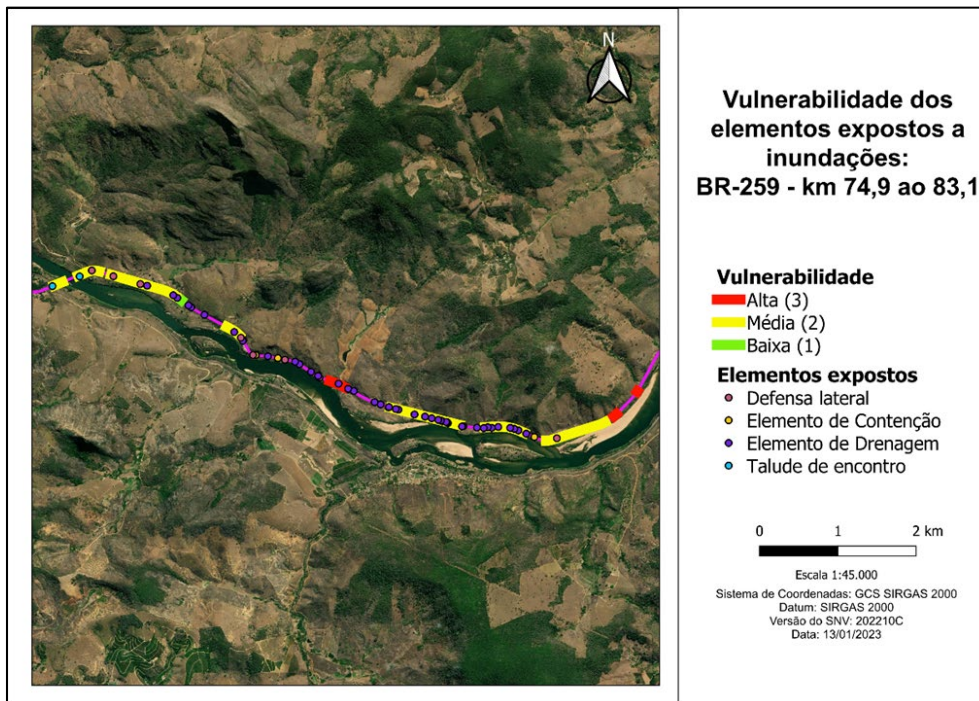
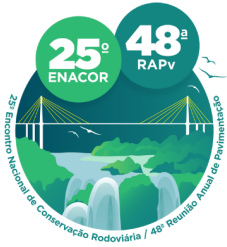


Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade dos elementos expostos à inundações (AUTOR, 2023)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br



As Figuras 6 e 7, a seguir, apresentam o resultado do mapeamento do risco à movimento de massa e do risco à inundação, respectivamente.

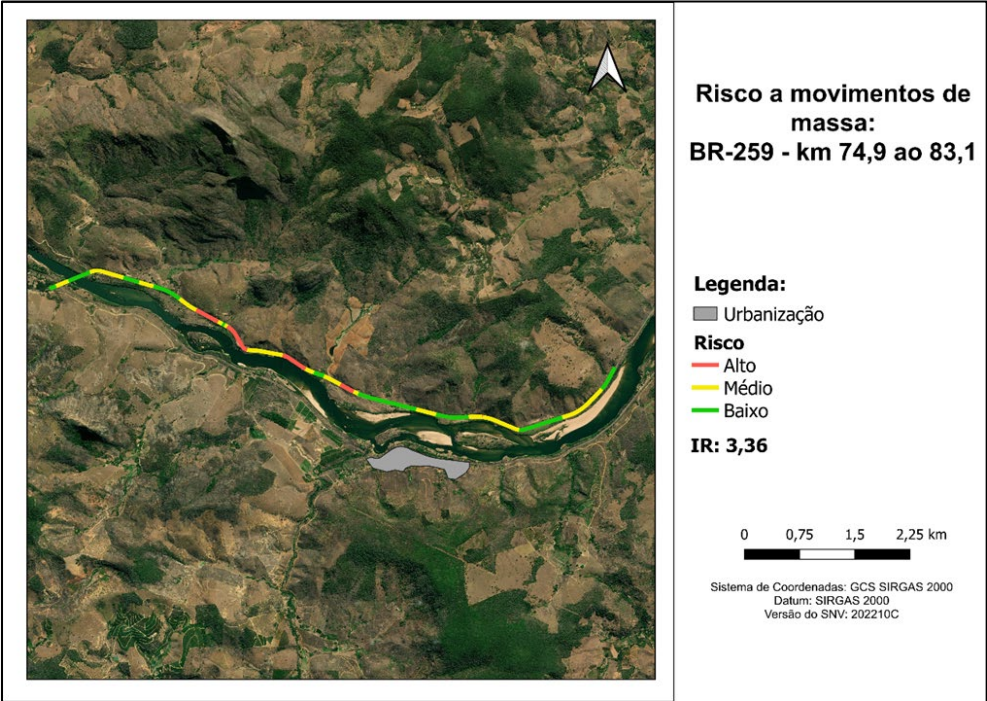


Figura 6 – Índice de risco ao movimento de massa (AUTOR, 2023)

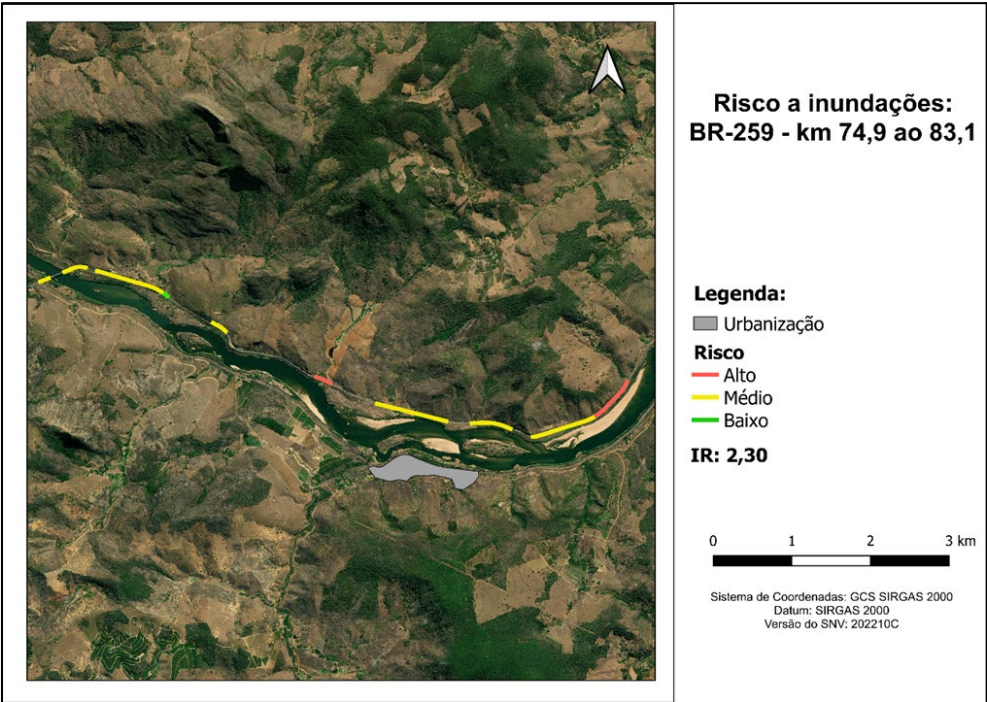
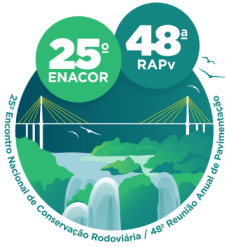


Figura 7 – Índice de risco à inundação (AUTOR, 2023)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Após calcular os índices de risco para cada evento a ser mapeado, somam-se os IRs correspondentes e é obtido um IR final para o trecho em questão. Essa abordagem permite a comparação de diferentes trechos, mesmo que possuam extensões distintas. É importante ressaltar que o método apresentado requer uma etapa de campo para validar a suscetibilidade e identificar os ativos envolvidos. Além disso, é importante mencionar que o trecho abordado neste artigo é apenas um exemplo didático para ilustrar a aplicação do método.

## DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem proposta neste método visa promover a eficiência e o uso racional dos recursos disponíveis, permitindo que os investimentos sejam direcionados para os trechos que apresentem maior viabilidade técnica e econômica. É importante ressaltar que, devido à escala de análise adotada, o método não avalia o risco individual de deslizamentos em cada talude ou o risco de inundação em pontos específicos. No entanto, baseia-se nas suscetibilidades para atribuir um índice de risco (IR) a cada trecho, o que se mostra uma ferramenta comparativa valiosa para auxiliar na tomada de decisão sobre a priorização de investimentos, juntamente com outras análises, como a viabilidade econômica.

Um aspecto importante a considerar nessa metodologia é a definição do valor-limite de precipitação e da taxa de recorrência desse valor, pois esses parâmetros são variáveis cruciais no cálculo do índice de risco. Embora o país ainda não possua uma ampla rede de estações pluviométricas automáticas, que seria ideal para o método, é possível determinar esse valor por meio de uma análise estatística da série histórica.

Com o fortalecimento da infraestrutura rodoviária, tornando-a mais resiliente, o país estará mais preparado para enfrentar eventos climáticos extremos, minimizando os impactos nas vias e permitindo maior segurança aos usuários. Além disso, essa abordagem contribui para o desenvolvimento sustentável, uma vez que leva em consideração não apenas os aspectos econômicos, mas também os ambientais e sociais.

Portanto, ao implementar essa metodologia de planejamento em três níveis, sendo a análise de risco uma etapa decisiva no processo, é dado um passo importante em direção a uma infraestrutura rodoviária mais adaptada às mudanças climáticas, promovendo a segurança, a sustentabilidade e o desenvolvimento do país como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

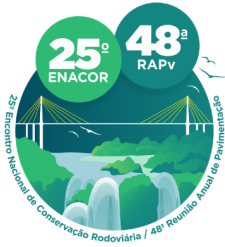
BANCO MUNDIAL. **Melhoria da Resiliência Climática da Malha Rodoviária Federal Brasileira**. Banco Mundial, 2019.

BAHADUR, A., & TANNER, T. **Transformational resilience thinking: putting people, power and politics at the heart of urban climate resilience**. *Environment and Urbanization*, 26 (1), p 200–214, 2014.

BATISTA, Ellen Felizardo; PASSINI, Larissa De Brum; KORMANN, Alessandro Christopher Morales. **Avaliação da Vulnerabilidade para Análise de Risco em Trecho da Rodovia Régis Bittencourt Pertencente a Serra Pelada**. In: XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 2019.

BEILER, M. O.; MCNEIL, S.; AMES, D. & GAYLEY, R. **Identifying resiliency performance measures for megaregional planning: Case study of the transportation corridor between Boston, Massachusetts, and Washington, DC**. *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board*, vol. 2397, p. 153–160, 2013.

BOCCHINI, P.; FRANGOPOL, D. M., UMMENHOFER, T. & ZINKE, T. **Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach**. *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 20, no. 2, p. 04014004, 2013.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



CASAGRANDE, B. G.; ALVAREZ, C. E. de. **Preparação de arquivos climáticos futuros para avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de edificações.** *Ambiente Construído*, v. 13, p. 173-187, 2013.

CHAN, R. & SCHOFER, J. L. **Measuring transportation system resilience: Response of rail transit to weather disruptions.** *Natural Hazards Rev.*, vol. 17, no. 1, p. 05015004, Feb. 2016.

LOUZEIRO, Andreza dos Santos. **Vulnerabilidade e risco de movimento de massa no município de São Luís-MA (Brasil).** 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

MANTOVANI, Bárbara. **Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Camaragibe.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

MESQUITA, Pedro Baena de. **Cartografia geotécnica para análise de suscetibilidade e risco a movimentos de massa e erosão entorno de rodovias** (Monografia: Bacharelado em Engenharia Civil), 2019.

MOREIRA, Melquisedec Medeiros et al. **Caracterização Geotécnica dos Materiais Inconsolidados do Município de Natal-RN: Suscetibilidade e Risco Potencial de Deslizamentos e Inundações.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2018.

PIARC – The World Road Association. **International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure**, 99 p. França, 2015.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio; BRESSANI, Luiz Antonio. **Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura.** *Boletim Goiano de Geografia*, v. 36, n. 2, p. 285-305, 2016.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1: 25.000: nota técnica explicativa.** Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2014.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa.** Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – GIDES, 218 p. Rio de Janeiro, 2018.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. **Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação.** Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2021.

SERULLE, N. U.; HEASLIP, K., BRADY, B., LOUISELL, W., & COLLURA, J., **Resiliency of transportation network of Santo Domingo, Dominican Republic: Case Study.** *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board*, vol. 2234, pp. 22–30, Dec. 2011.

TYLER, Stephen; MOENCH, Marcus. **A framework for urban climate resilience.** *Climate and development*, v. 4, n. 4, p. 311-326, 2012.

WEINEM, P.; DE SOUZA, G. **Desastres naturais associados à implantação de Rodovias no Brasil.** In: Encontro sobre Impactos Potenciais de Desastres em Infraestruturas de Transporte e Mobilidade Urbana - II IPTMU, 2016, São José dos Campos. Anais [...] São José dos Campos, 2016.