



ANÁLISE DE RISCO CLIMÁTICO DAS ESTAÇÕES DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO FRENTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO: UMA PROPOSTA DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Cristiene Nascimento Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Andréa Souza Santos

Rio de Janeiro  
Novembro de 2023

ANÁLISE DE RISCO CLIMÁTICO DAS ESTAÇÕES DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO FRENTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO: UMA PROPOSTA DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Cristiene Nascimento Ribeiro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadora: Profa. Andréa Souza Santos

Aprovada por: Profa. Andréa Souza Santos  
Prof. Licínio da Silva Portugal  
Prof. Saulo Rodrigues Filho

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
NOVEMBRO DE 2023

Ribeiro, Cristiene Nascimento

Análise de risco climático das estações de transporte ferroviário de passageiros do município do Rio de Janeiro frente a eventos extremos de precipitação: uma proposta de medidas de adaptação / Cristiene Nascimento Ribeiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2023.

XV, 109 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Andréa Souza Santos

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2023.

Referências Bibliográficas: p. 81 - 92.

2. Desenvolvimento metodológico e bases conceituais 4. Análise de risco de inundação do sistema de transporte ferroviário no município do Rio de Janeiro 5. Proposta de medidas de adaptação para o transporte Ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro

Santos, Andréa Souza III Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes.  
III. Título.

“Exu matou um pássaro ontem, com a pedra que arremessou hoje.”  
(Ditado Iorubá)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria da Penha Nascimento e Paulo Cesar Ribeiro, que se conheceram nessa infraestrutura ferroviária; sem esse encontro no ramal Santa Cruz, esta dissertação não seria possível.

Agradeço à minha orientadora, Prof. Andréa Santos, ao Prof. Licínio Portugal e ao Prof. Marcelino Aurélio, pelos ensinamentos e trocas durante o curso.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa que possibilitou esta pesquisa.

Aos meus colegas do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE PET/UFRJ, pelos momentos compartilhados ao longo do mestrado, em especial ao Felipe Ribeiro e ao Pedro Henrique da Silva.

Às minhas amigas, mas em especial a Aiume Dias, Ana Carolina, Ana Carolina Machado, Carla Hirt, Gianna Campolina, Naomi Orton e Rasiele Rasia por me apoiarem de diversas formas antes e durante este desafio que foi o mestrado.

À minha irmã Cristilene, que é um presente para mim; ao meu companheiro Sidnei Gomes por todo amor e apoio na construção deste trabalho.

Aos meus sobrinhos Ana Paula e Cristian Nicolas.

Aos meus ancestrais que sonharam e lutaram por este momento.

Mojúbà akódá!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE RISCO CLIMÁTICO DAS ESTAÇÕES DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO FRENTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO: UMA PROPOSTA DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Cristiene Nascimento Ribeiro

Novembro/2023

Orientadora: Profa. Andréa Souza Santos

Programa: Engenharia de Transportes

A infraestrutura ferroviária do município do Rio de Janeiro está localizada em uma área de alta vulnerabilidade, sujeita a eventos climáticos extremos, como precipitações intensas. Esses eventos têm impactos imediatos na operação do sistema ferroviário de passageiros, causando inundações na via, quedas de energia e redução da vida útil dos ativos a longo prazo. Esse cenário compromete significativamente a mobilidade urbana e o desenvolvimento econômico. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um procedimento de análise de risco de inundação nas estações do sistema ferroviário e propor medidas de adaptação para o transporte ferroviário de passageiros no município do Rio de Janeiro, diante de eventos climáticos de inundação decorrentes de precipitação extrema. Os resultados obtidos por meio do método ELECTRE e quatro indicadores do espaço geográfico onde o sistema ferroviário está inserido ranqueia as estações com o maior potencial de risco. As medidas de adaptação propõem mitigar os danos causados pelo risco de inundações às estações ferroviárias do Rio de Janeiro durante eventos climáticos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

CLIMATE RISK ANALYSIS OF PASSENGER RAILWAY TRANSPORT STATIONS IN THE MUNICIPALITY OF RIO DE JANEIRO IN THE FACE OF EXTREME PRECIPITATION EVENTS: A PROPOSAL OF ADAPTATION MEASURES

Cristiene Nascimento Ribeiro

Novembro/2023

Advisor: Profa. Andréa Souza Santos

Department: Transportation Engineering

The railway infrastructure in the municipality of Rio de Janeiro is situated in an area highly susceptible to extreme climatic events, such as heavy precipitation. These events have immediate impacts on the operation of the passenger railway system, leading to track inundation, power outages, and a reduction in the long-term lifespan of assets. This scenario significantly jeopardizes urban mobility and economic development. The objective of this research is to develop a flood risk analysis procedure for railway stations and propose adaptation measures for passenger rail transport in the municipality of Rio de Janeiro in the face of flood events resulting from extreme precipitation. Results obtained through the ELECTRE method and four geographical space indicators, where the railway system is located, rank the stations with the highest potential risk. The adaptation measures aim to mitigate the damages caused by the risk of floods to the railway stations of Rio de Janeiro during climatic events.

## SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1 Objetivo	4
1.2 Justificativa	4
1.3 Estrutura da dissertação	8
2. Desenvolvimento metodológico e bases conceituais	10
2.1 Risco	10
2.2 Inundações	13
2.3 Exposição da infraestrutura	15
2.4 Metodologia	17
2.5 Malha Ferroviária	19
2.6 Dados pluviométricos	21
2.7 Risco de inundação	23
2.8 Medidas de Adaptação	26
2.9 Seção Transversal - Conceitos da infraestrutura ferroviária	27
2.10 Método ELECTRE	29
3. Resultados e discussões	35
3.2 Área Geográfica	38
3.3 Impactos observados	43
3.4 Caracterização da Infraestrutura ferroviária do Rio de Janeiro	45
4. Análise de risco de inundação do sistema de transporte ferroviário no município do Rio de Janeiro	53
4.1 Indicadores de Risco Climático	53
4.1.1 Pluviosidade	53
4.1.2 Topografia	57
4.1.3 Estações ferroviárias subterrâneas	57

5. Proposta de medidas de adaptação para o transporte Ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro	69
5.2 Propostas de Medidas Adaptativas para as estações do Rio de Janeiro	75
6. Conclusões	78
6.1 Limitações e recomendações para trabalhos futuros	79
Anexos	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação do total de passageiros da Supervia e do MetrôRio	5
Figura 2: Total de paralisações decorrentes de inundações	6
Figura 3: Artigos encontrados por país de origem	7
Figura 4: Esquema conceitual do risco	10
Figura 5: População e áreas de planejamento do município do Rio De Janeiro	12
Figura 6: Esquema do comportamento fluvial no ambiente urbano	13
Figura 7: Esquema do comportamento fluvial no ambiente natural	13
Figura 8: Esquema do risco de impacto da inundação	14
Figura 9: Esquema da infiltração e escoamento em 3 cenários	15
Figura 10: Modelo de classificação de danos na infraestrutura ferroviária	16
Figura 11: Árvore de eventos simples para avaliação de riscos de redes de infraestrutura	19
Figura 12: Localização das estações e zonas pluviométricas no município do Rio de Janeiro	21
Figura 13: Seção transversal da plataforma ferroviária	27
Figura 14: Procedimentos do método ELECTRE	30
Figura 15: Fórmula de normalização	30
Figura 16: Fórmula de Discordância	31
Figura 17: Fórmula do umbral de preferência	32
Figura 18: Procedimentos metodológicos	33
Figura 19: Localização atual da infraestrutura ferroviária de passageiros	36
Figura 20: Localização antiga da infraestrutura ferroviária de passageiros	
Figura 21: Distribuição de área de risco à inundação no planeta	36
Figura 22: Mapa hipsométrico e a infraestrutura ferroviária da RMRJ	39
Figura 23: Vulnerabilidade na região metropolitana do Rio de Janeiro	41

Figura 24: Ferrovias frente a eventos extremos de inundação	44
Figura 25: Infraestrutura Ferroviária entre a estação Lages e Paracambi	46
Figura 26: Alagameneto na via	47
Figura 27: Valeta obstruída	47
Figura 28: Passarela danificada no centro de Nova Iguaçu	48
Figura 29: Ferragens expostas no centro de Nova Iguaçu	48
Figura 30: Plataforma da Estação Benjamin do Monte	49
Figura 31: Dormentes rachados na Estação de Santa Cruz	
Figura 32: Grampos oxidados na Estação de Santa Cruz	50
Figura 33: Soma dos totais de precipitação por mês	49
Figura 34: Soma dos eventos extremos por ano	1
Figura 35: Estação Olaria e Penha Circular	54
Figura 36: Estação São Francisco Xavier	54
Figura 37: Comparação do tempo e vazão do escoamento na superfície urbanizada e rural	56
Figura 38: Esquema longitudinal de um rio e suas cotas	57
Figura 39: Estação de trem de Manguinhos e o corpo hídrico	58
Figura 40: Estação ferroviária de Olaria	59
Figura 41: Passagem subterrânea da estação de Olaria alagada	60
Figura 42: Procedimentos metodológicos	62
Figura 43: Procedimentos do método ELECTRE	64
Figura 44: Fórmula de normalização	65
Figura 45: Fórmula de discordância	66
Figura 46: Fórmula do umbral de preferência	66
Figura 47: Fórmula do umbral de indiferença	67
Figura 48: Estação de trem de Manguinhos em 1959	71
Figura 49: Estação de trem de Manguinhos suspensa	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Linhas da infraestrutura ferroviária de passageiros	45
Tabela 2: Indicadores e pesos	65
Tabela 3: Ranking e comparação das estações ferroviárias após o método ELECTRE e as paralisações por inundação	66
Tabela 4: Impactos e as adaptações para o sistema ferroviário	74

## LISTA DE SIGLAS

AGETRANSP - Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes Aquaviários, Ferroviários, Metroviários e de Rodovias do Estado do Rio de Janeiro

ANA - Agência Nacional de Águas

AP - Área de Planejamento

APP - Área de Preservação Permanente

AR6 - Sixth Assessment Report

ARC - Análise de Risco Climático

ARCGIS 9 - Software - Sistema de Informação Geográfica

CEPED UFSC - Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres" da Universidade Federal de Santa Catarina

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CSV - Comma-separated values

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DTM - Digital Terrain Model

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária é uma empresa pública de pesquisa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil

ELECTRE - Elimination Et Choix Traduisant la Réalité

GEORio - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro

GEOTIFF - Geographic Tagged Image File Format

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDRISI - integrated geographic information system and remote sensing software

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IOC - Intergovernmental Oceanographic Commission

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ND - Sem informação

NDT - Non-Destructive Testing

OAE - Obra de Arte Especiais

QGIS - Software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica

RJ - Rio de Janeiro

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

SIG - Sistema de Coordenadas Geográficas

VMA - Velocidade Média Autorizada

WGS-84 - World Geodetic System 1984

WGII - Working Group II

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - Ocorrências de paralisação do sistema ferroviário	90
ANEXO II - Precipitações diárias por estações telemétricas	90
ANEXO III - Análise dos indicadores de risco a partir do método ELECTRE	91
ANEXO IV - Solicitações de acesso à informação	92

## 1. Introdução

O sistema de transporte ferroviário de passageiros na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) tem uma história que remonta ao ano de 1858, quando foi inaugurada a primeira estrada de ferro do Brasil (ABREU, 2006). A partir daí, sua expansão se dirigiu para Belém, distrito da antiga região chamada Nova Iguaçu, atualmente conhecido como município de Japeri, localizado no interior da antiga província do Rio de Janeiro. Esse crescimento influenciou a direção de desenvolvimento da região, ainda durante o período imperial brasileiro. Propriedade da Companhia Estrada de Ferro Dom Pedro II, o sistema era conhecido pelo mesmo nome até ser rebatizado como Estrada de Ferro Central do Brasil, em 1889, nome que permanece até hoje.

Ao longo da história do sistema ferroviário da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), foram escassas as mudanças, marcadas por investimentos insólitos que resultaram no fechamento de estações e na redução da malha ferroviária. A Companhia Estrada de Ferro Dom Pedro II ficou em responsabilidade do estado do Rio de Janeiro e não mais do governo federal, a ferrovia foi concedida à Supervia em 1998. Esta concessionária se tornou responsável pelo transporte diário de mais de 300 mil pessoas e atende a um público anual que ultrapassa os 100 milhões de passageiros nos trens metropolitanos, conforme dados da Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes Aquaviários, Ferroviários, Metroviários e de Rodovias do Estado do Rio de Janeiro (AGETRANSP, 2022). A atual concessionária atende doze dos dezenove municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro, a segunda maior do país, operando em um extenso percurso de 207 km de linhas férreas, que inclui um total de 104 estações.

De acordo com dados da Concessionária Supervia S/A (2022), em 2019, o total de passageiros transportados mensalmente foi de 13 milhões em média e 7 milhões em 2021, lembrando do contexto de pandemia da Covid-19 no ano de 2021. Trata-se de uma média tímida quando comparada à estimativa da concessionária, que era de transportar um milhão de passageiros diariamente, equivalente a aproximadamente 30 milhões por mês, de acordo com o CEO da empresa em 2019.

O Sistema ferroviário de passageiros da RMRJ está localizado em amplas planícies fluviomarinhas, em significativas áreas de mangue e desembocaduras de rios (CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2000) sinuosos nos quais as cheias são corriqueiras, próximas a sua foz, desaguando na baía de Guanabara. Parte do sistema de trens está situado na quarta maior cidade da América Latina, de acordo com o relatório Cadernos rio+social de 2017 (NAÇÕES UNIDAS E PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017). Trata-se de uma grande aglomeração urbana, caracterizando-se como uma região suscetível a enchentes e degradação ambiental (CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2000) pela geografia local e pela impermeabilização do solo.

A RMRJ está localizada entre os trópicos, o que propicia temperaturas médias elevadas durante todo o ano, e o verão é marcado pela formação de nuvens convectivas, que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico, conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (DERECZYNSKI *et al.*, 2009). A combinação do clima tropical com a proximidade do mar e a presença da cadeia de montanhas, torna a região especialmente exposta às chuvas intensas e inundações. A temperatura elevada e a umidade relativa do ar podem criar um ambiente favorável para a formação de tempestades e chuvas mais intensas, que em conjunto com a topografia da região, aumentam o risco de inundações, deslizamentos de terra e outros desastres naturais.

A precipitação registrada no Estado do Rio de Janeiro, especificamente na região serrana, em 21 de março de 2022, é um exemplo vívido dos eventos extremos que historicamente têm impactado essa área. Esse episódio representou a maior quantidade de chuva já registrada em um período de 24 horas na história da região, embora seja importante notar que índices pluviométricos elevados sejam frequentes durante o verão local.

Foram impressionantes 534,4 milímetros de chuva acumulados, conforme dados da Defesa Civil (BLAUDT *et al.*, 2023), resultando em danos significativos, como a destruição de estradas, deslizamentos de terra, inundações e a interrupção dos serviços de transporte, além das perdas humanas que são incalculáveis, neste evento foram registrados 233 óbitos, conforme relatado no BOLETIM DE PETRÓPOLIS (2022). Eventos dessa natureza se tornam ainda mais devastadores em áreas densamente povoadas, devido a maior quantidade de perdas humanas e materiais.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012 Volume Rio de Janeiro (CEPED - UFSC, 2013), os eventos mais recorrentes na região são enxurradas, inundações e movimentos de massa. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC, em inglês), no seu sexto relatório alerta que os eventos climáticos extremos serão ainda mais intensos nos próximos anos (IPCC, 2022). Entre os anos de 1995 e 2014, gastou-se 1.817 milhões em reais em recursos privados e 1.788 milhões de reais em recursos públicos no estado do Rio de Janeiro, de acordo com Relatório de Danos Materiais e Prejuízos decorrentes de Desastres Naturais no Brasil de 1995 a 2014 (CEPED - UFSC, 2016).

Nos últimos 10 anos, de acordo com o relatório técnico da Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes Aquaviários, Ferroviários, Metroviários e de Rodovias do Estado do Rio de Janeiro (2022) bem como alguns jornais de ampla circulação (Anexo I), o serviço ferroviário de passageiros foi interrompido diversas vezes e, a cada ano, aumenta o número de paralisações do serviço decorrentes de eventos de precipitação. Por exemplo, em 2011, houve apenas uma paralisação registrada e em 2022, foram 32 paralisações em decorrência de eventos de precipitações.

A operação do transporte ferroviário pode estar em potencial risco relacionado a eventos climáticos extremos, os quais têm um alto potencial de causar danos à infraestrutura ferroviária, (RIBEIRO E SANTOS, 2015) e, conseqüentemente, prejudicar a oferta do serviço de transporte. Os eventos extremos relacionados a precipitações são um dos riscos mais eminentes, podendo causar pelo menos um terço das perdas totais no mundo decorrentes de desastres naturais (BERG, 2017).

Para avaliar o potencial risco de inundação no sistema ferroviário situado no município do Rio de Janeiro, esse trabalho recorre à análise do espaço geográfico em conjunto com a aplicação do método ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) complementados pela compreensão de outros conceitos relevantes.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática destaca que as mudanças do clima estão provocando um aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como tempestades, inundações, secas e incêndios florestais (IPCC, 2021). NICOLODI E PETERMANN (2010) observam que a Região Metropolitana do Rio de Janeiro

demonstra vulnerabilidade, variando de alta a muito alta, em relação às mudanças do clima, que incluem o aumento da temperatura e o aumento do nível do mar. Isso é corroborado por DILLEY *et al.* (2005), que destacam o risco de inundações na região.

## 1.1 Objetivo

Com o propósito de propor medidas de adaptação da infraestrutura ferroviária diante de eventos de inundação resultantes de precipitação extrema (definida neste trabalho como eventos acima de 50 milímetros), foi desenvolvido nesse trabalho um procedimento de análise de risco climático. Os objetivos específicos delineados são os seguintes: primeiramente, buscar a caracterização da infraestrutura de transporte ferroviário de passageiros na cidade do Rio de Janeiro. Em seguida, analisar o potencial risco de inundação associado a precipitações extremas na região e suas possíveis consequências, como paralisações das estações ferroviárias. Além disso, realizamos o mapeamento do ambiente construído no qual o sistema de transporte está inserido, levando em consideração fatores como a bacia hidrográfica, hipsometria, precipitação e urbanização.

Essa pesquisa analisou o risco por meio da aplicação de uma metodologia multicritério, que envolve a criação de um ranking das estações que estão em maior risco. Por fim, com base nas análises realizadas, são propostas medidas de adaptação destinadas a fortalecer o sistema ferroviário diante de eventos de inundação decorrentes de precipitação extrema.

Através da elaboração de tais medidas, o trabalho contribuiu para a abrangência das análises de risco da infraestrutura ferroviária diante das condições climáticas adversas, além de propor ações efetivas de adaptação para aumentar a resiliência desse sistema de transporte em relação aos eventos de inundação resultantes de precipitação extrema.

## 1.2 Justificativa

As redes de transporte são essenciais para o desenvolvimento de uma sociedade e de sua economia (BEŠINOVIĆ, 2020). A infraestrutura ferroviária da região metropolitana do Rio de Janeiro é de suma importância, pois foi o traçado da mesma que guiou o crescimento da região metropolitana, conforme destacado por ABREU (2013).

Atualmente, é o modo de transporte com a maior capacidade de transportar pessoas na região metropolitana, devido à sua capilaridade, alcançando diversos municípios da RMRJ.

De acordo com dados disponibilizados em 2022 pela plataforma da AGETRANSP, a média de passageiros transportados pela concessionária, entre os anos de 2013 e 2022, é de 12 milhões de pessoas, por mês. No entanto, o período de maior afluência de passageiros ocorreu entre 2016 e 2017, quando se registrou um total de 15 milhões de passageiros por mês. Este foi também o ano em que algumas melhorias na infraestrutura foram concluídas e os Jogos Olímpicos aconteceram no Rio de Janeiro (SUPERVIA, 2016).

A análise do Gráfico na figura 1 permite uma avaliação quantitativa do número de passageiros em comparação com o sistema de transporte MetrôRio, que é um sistema de grande capacidade, mas restrito ao município do Rio de Janeiro que recebeu nos últimos anos mais investimentos públicos que o sistema ferroviário metropolitano. O gráfico destaca a relevância desse serviço, especialmente considerando seu alcance a diversos municípios na região metropolitana. Vale destacar que a acentuada queda no número de passageiros a partir do início de 2020 está diretamente associada ao "lockdown", uma medida de contenção da propagação do vírus COVID-19, implementada durante a pandemia.



Figura 1: Comparação do total de passageiros da SuperVia e do MetrôRio

Fonte: elaboração própria, 2023

No entanto, essa relevância da infraestrutura ferroviária é posta à prova pelos relatórios que descrevem um significativo aumento nas paralisações decorrentes de eventos de inundação ao longo do período de 2010 a 2022, conforme demonstrado pela AGETRANSP em seus relatórios, bem como em jornais de grande circulação, como pode ser visto no gráfico na figura 2. Esse aumento, sem qualquer ocorrência de paralisação, em 2010, para um alarmante total de 32 casos em 2022, suscita questões cruciais relacionadas a paralisações decorrentes de eventos extremos de precipitação, que devem ser aprofundadas.

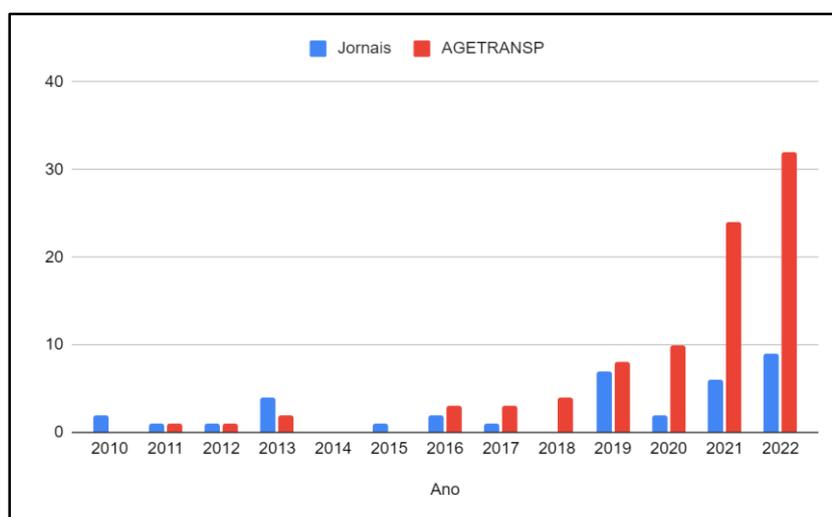


Figura 2: Total de paralisações decorrentes de inundações

Fonte: Elaboração própria, 2023

De acordo com o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Metrô e o relatório de sustentabilidade, o transporte metroviário emite aproximadamente 50 vezes menos gases de efeito estufa por passageiro por quilômetro, (AGÊNCIA BORI, 2023), que os automóveis particulares, e quase 25 vezes menos que os ônibus. Considerando a capacidade de transporte e a energia consumida para a tração das composições, o trem, assim como o metrô, é um transporte fundamental para a melhoria do ar, pois utiliza energia elétrica e pode contribuir para diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

Os impactos decorrentes de eventos climáticos extremos relacionados à precipitação afetam diretamente a mobilidade urbana das grandes cidades e o desenvolvimento econômico e, é sabido que, a partir das mudanças climáticas, esses eventos tendem a

piorar (IPCC, 2022), por isso, é importante que a infraestrutura do transporte ferroviário de grande porte, como o trem, disponha de medida adaptativa e esteja preparada para promover a continuidade do serviço essencial prestado à população do Rio de Janeiro e de outras cidades.

Para fundamentar esta dissertação, foi realizada uma pesquisa bibliográfica direcionada às temáticas de eventos extremos e infraestrutura ferroviária. Através de palavras-chave "flooding", "railway" e "extreme events" nos títulos de artigos, resumos e palavras-chave relacionadas às temáticas de inundação, ferrovias e eventos extremos na base de dados "Scopus", foi constatado uma carência de literatura acadêmica voltada de maneira específica para infraestrutura ferroviária e eventos extremos de precipitação, principalmente nas nações de clima tropical com elevados índices de precipitação, como é o caso do Brasil. A maior parte dos estudos publicados sobre esse tópico provém de nações do hemisfério norte, como evidenciado pelo Gráfico na figura 3, o que justifica ainda mais a pertinência desta dissertação. É relevante destacar que somente 31 trabalhos foram identificados, o que aponta para uma lacuna global na pesquisa relacionada à infraestrutura ferroviária e eventos extremos de precipitação

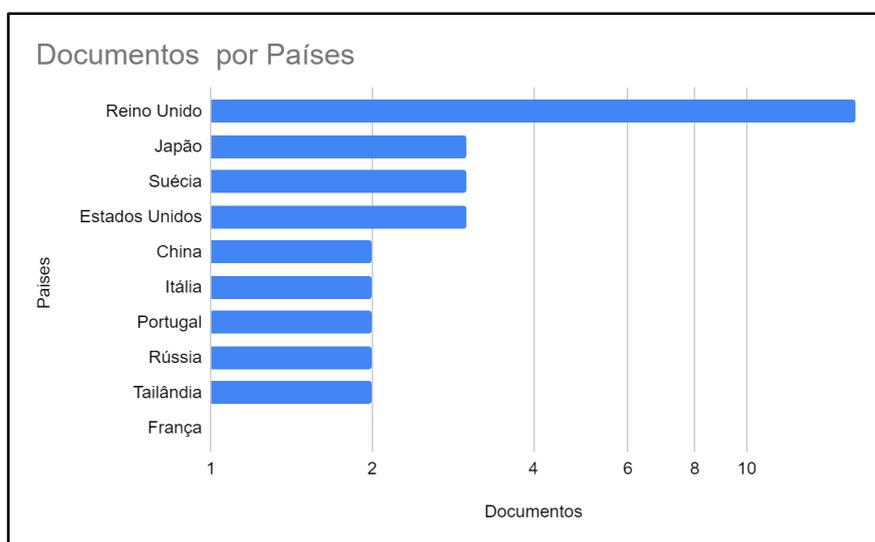


Figura 3: Artigos encontrados por país de origem

Fonte: elaboração própria, a partir de dados da plataforma Scopus, 2023.

Diversos eventos ocorridos ao redor do mundo evidenciam o impacto significativo das inundações decorrentes de precipitações extremas (BERG, 2017). Tais situações incluem

eventos climáticos que afetam as ferrovias. Ademais, é notável a presença desses cenários nos veículos de comunicação, como jornais e noticiários, além de serem abordados por órgãos responsáveis. As paralisações frequentes, no sistema ferroviário do Rio de Janeiro durante dias de chuva são evidentes. Essa situação ressalta a urgência de conduzir pesquisas e implementar ações para reduzir os danos causados por esses eventos extremos relacionados à precipitação.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, começando com Introdução: onde é apresentado o contexto geral do tema de pesquisa, o transporte ferroviário no Rio de Janeiro. Também são discutidos os conceitos, objetivos, justificativa e estrutura da dissertação.

O capítulo 2 dedica-se a apresentar o desenvolvimento metodológico e as bases conceituais essenciais para a análise dos riscos enfrentados pelo sistema ferroviário diante de eventos climáticos extremos, delineando os critérios que serão empregados na avaliação do potencial de risco. Neste sentido, são considerados os desafios específicos relacionados à geografia e às condições climáticas da região, bem como à infraestrutura. O objetivo principal deste capítulo é proporcionar uma compreensão abrangente dos conceitos, métodos e dados que orientam a pesquisa, visando subsidiar uma análise detalhada dos impactos na infraestrutura. Dessa forma, são explorados os riscos e a exposição dessa infraestrutura frente à ocorrência de eventos climáticos extremos de precipitação.

O capítulo 3, aborda os resultados e discussões da região geográfica em estudo, incluindo o mapeamento topográfico e do sistema fluvial. Também é apresentado um breve histórico do sistema ferroviário na região, bem como os impactos das inundações sobre o sistema ferroviário local e globalmente. Por fim, são discutidas as características da infraestrutura ferroviária na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), destacando desafios e particularidades.

O capítulo 4, apresenta a análise de risco de inundação do sistema de transporte ferroviário no município do Rio de Janeiro. Bem como os dados dos critérios utilizados no procedimentos de análise de risco que são divididos em quatro indicadores: altimetria, eventos de precipitação acima de 50 milímetros, proximidade com corpos d'água e a porcentagem de área urbanizada, além da própria aplicação do método ELECTRE.

No capítulo 5, a proposta de medidas de adaptação para o transporte Ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro é apresentada. Inicialmente, discutiu-se o que é compreendido por adaptação baseados na literatura. Em seguida, são destacadas medidas práticas e estratégias de adaptação destinadas a mitigar impactos relacionados com chuvas extremas e garantir a resiliência do sistema ferroviário. Essas medidas englobam aspectos como o aprimoramento da drenagem, o fortalecimento da infraestrutura, a gestão de riscos. Esta proposta visa não apenas abordar os desafios imediatos, mas também promover a sustentabilidade e a segurança a longo prazo do transporte ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro.

Nas conclusões apresentadas no capítulo 6, são sintetizados os resultados da análise de risco, que inclui o mapeamento das estações em situação de risco, evidenciando a eficácia comprovada do método multicritério ELECTRE na avaliação da infraestrutura ferroviária. Adicionalmente, as conclusões abordam especificamente as medidas de adaptação relacionadas à infraestrutura ferroviária do Rio de Janeiro, levando em consideração as características singulares da região.

## 2. Desenvolvimento metodológico e bases conceituais

Este capítulo desempenha um papel fundamental ao apresentar de forma detalhada a estrutura conceitual e metodológica que sustenta toda a dissertação. Essa exposição visa proporcionar uma base sólida para compreender a análise do espaço geográfico em que o sistema ferroviário está inserido. Além disso, delinea os critérios fundamentais que serão empregados na avaliação do potencial de risco das estações ferroviárias frente às inundações.

### 2.1 Risco

O Risco climático refere-se à possibilidade de ocorrerem impactos quando algo de valor está em perigo e a consequência desse impacto é incerta, também é definido através da fórmula “Risco = Probabilidade de risco climático x Vulnerabilidade” pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014). A figura 4 ilustra o conceito de risco climático, bem como, apresenta os elementos que formam esse conceito, cunhado no quinto relatório de avaliação (AR5) pelo IPCC (2014). A probabilidade desses impactos está intrinsecamente ligada às condições climáticas e surge da interação entre os elementos do perigo, que incluem a Ameaça climática, a Exposição e a Vulnerabilidade (que engloba sensibilidade e capacidade adaptativa) de sistemas naturais e humanos.

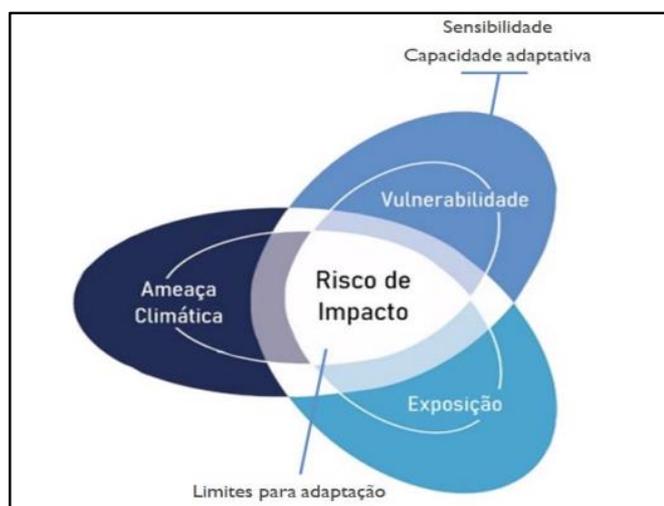


Figura 4: Esquema conceitual do risco

Fonte: Adaptado de IPCC (2014)

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) no seu quinto relatório (AR5) definiu os componentes do risco climático, sendo a ameaça caracterizada como a possibilidade iminente de um evento ou impacto físico, com potencial para ocasionar danos como perda de vidas, assim como danos e prejuízos a propriedades, infraestruturas, meios de subsistência, ecossistemas e recursos ambientais. Uma ameaça pode consistir em um indicativo climático (por exemplo, um evento de precipitação intensa), porém, não necessariamente corresponde a um evento climático extremo; também pode manifestar-se gradualmente, como uma tendência, por exemplo, o aumento da precipitação extrema ou aumento da temperatura média.

A exposição conceitualizada como uma medida da influência, duração e alcance com que o sistema é afetado quando entra em contato com a ameaça climática, e isso representa uma relação entre o ambiente estudado e a ameaça (IPCC, 2014). Bem como um fator externo, como indicado por SHARMA e RAVINDRANATH (2019) e ISHTIAQUE *et al.* (2022) está ligada à presença de elementos, pessoas e infraestruturas que podem ser contaminados e/ou danificados através da ameaça climática e que constituem a iminência de um evento que cause danos ao local e à comunidade junto a obras de engenharia e plantações entre outros.

A vulnerabilidade de uma região decorre de sua predisposição a ser adversamente afetada, como indicado pelo IPCC (2014), uma vez que ela reflete a inclinação à ocorrência de danos em face de eventos perigosos, conforme observado por ROSSINI-PENTEADO E FERREIRA (2015). Essa vulnerabilidade compreende dois aspectos essenciais: sensibilidade e capacidade de adaptação.

A sensibilidade é influenciada por diversos fatores que, direta ou indiretamente, afetam as consequências de uma ameaça. Tais fatores podem abranger aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais de um sistema. Por outro lado, a capacidade, no contexto das análises de risco climático, refere-se à habilidade das sociedades e comunidades para se prepararem e responderem às influências climáticas atuais e futuras. A capacidade adaptativa envolve a competência de sistemas, indivíduos e instituições em utilizar recursos e oportunidades disponíveis para lidar com circunstâncias adversas, gerenciar

desafios, superar obstáculos e se ajustar a possíveis danos, aproveitar oportunidades ou responder a repercussões (IPCC, 2014).

A vulnerabilidade é uma característica intrínseca aos sistemas e elementos, conforme apontado por CARDONA (2004, p. 37), WISNER (2002, p. 12/7), THYWISSEN (2006) e BIRKMANN (2007). Ela representa a suscetibilidade inerente a eventos adversos que podem causar danos. Autores também destacam que a vulnerabilidade é um conjunto complexo de condições físicas, sociais, econômicas e ambientais, bem como fatores e processos que aumentam a fragilidade de uma comunidade diante dos perigos. No entanto, é importante ressaltar que a vulnerabilidade é frequentemente discutida no contexto do risco.

O termo impacto é primordialmente empregado para aludir aos efeitos sobre os sistemas naturais e humanos de eventos climáticos extremos, além de mudanças climáticas. Esses impactos geralmente se referem a consequências para vidas, meios de subsistência, saúde, ecossistemas, economias, sociedades, culturas, serviços e infraestruturas, decorrentes de mudanças climáticas ou ameaças de eventos climáticos que ocorrem durante um período específico em uma sociedade ou sistema exposto com determinada vulnerabilidade.

O risco está diretamente relacionado à probabilidade de a infraestrutura ferroviária e, conseqüentemente, a população ser afetada por inundações. Portanto, a vulnerabilidade representa a probabilidade de ocorrência das inundações. Assim, esses três fatores em conjunto compõem o risco de inundação. Para exemplificar, a figura 5 apresenta um mapa que ilustra a densidade populacional por área de planejamento. Essa representação permite observar que, considerando o conceito de vulnerabilidade, as áreas com maior concentração de pessoas e maior presença de ferrovias, como a Área de Planejamento 3, demonstram uma vulnerabilidade mais elevada.

A figura 5 demonstra as áreas de planejamento do município do Rio de Janeiro e o contingente populacional em cada uma das Áreas de Planejamento. A região mais escura é onde podemos observar a maior quantidade de pessoas, são mais de 2 milhões e 300 mil de cidadãos concentrados nessa área, onde também podem ser encontradas parte de cinco das sete linhas da ferrovia que existem na região.



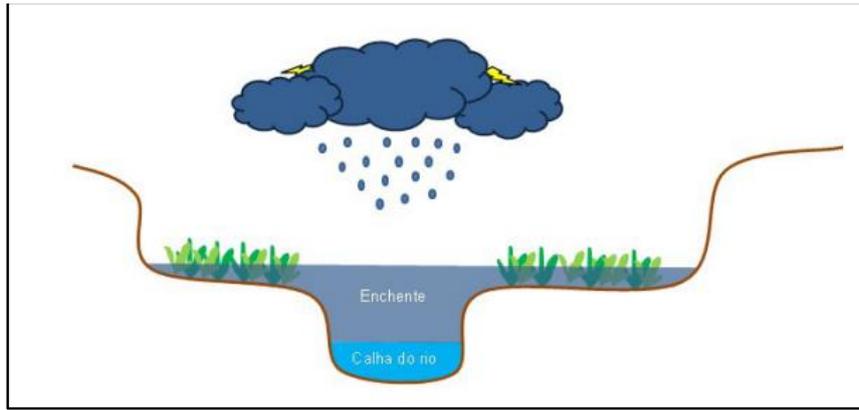


Figura 7: Esquema do comportamento fluvial no ambiente natural

Fonte: Jacob, 2014.

O alagamento, embora seja um fenômeno natural, está diretamente relacionado à topografia, à quantidade de precipitação em milímetros e à eficácia do sistema de drenagem local. O alagamento ocorre quando a drenagem não consegue escoar adequadamente, resultando no acúmulo de água.

Nessa dissertação, compreender o risco de impacto a inundações é fundamental, por isso, a figura 8 apresenta um esquema do risco de impacto a inundações. O risco de inundações pode variar consideravelmente dependendo da proximidade de rios, da elevação acima do nível do mar e da impermeabilização do solo. A impermeabilização do solo impede que a água seja absorvida de forma natural pelo solo, o que muitas vezes ocorre com a construção de estradas e edifícios, sendo um fenômeno comum nas áreas urbanizadas.

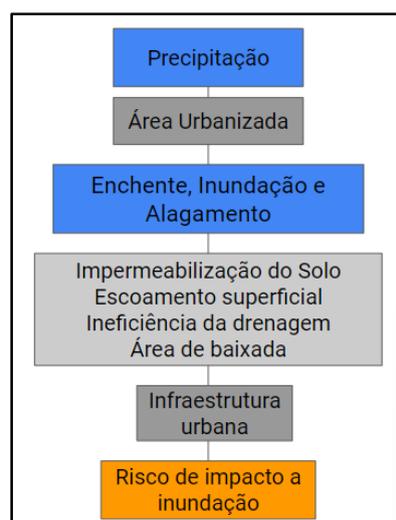


Figura 8: Esquema do risco de impacto da inundações

Fonte: Adaptado de Guerra & Zacharias, 2015.

As bacias hidrográficas são áreas geográficas delimitadas pela topografia do planeta terra, onde todas as águas da chuva e dos cursos de água dentro desse limite convergem para um único ponto de saída. As bacias urbanizadas podem ter até 100% da precipitação transformada em escoamento superficial, contra 25% no caso das bacias em áreas mais naturais, de acordo com SHANG E WILSON (2009). Um estudo realizado por SURYA E MUDGAL (2012) compara as cheias na mesma bacia ao longo de 20 anos e encontra na diferença a porcentagem de área construída que, no primeiro momento, era de 70,30 quilômetros quadrados e, após 20 anos, chegou a 107,64 quilômetros quadrados. O estudo concluiu que, além das inundações ocorridas, a extensão das manchas de inundação aumentou. A figura 9 demonstra como funciona esse sistema.

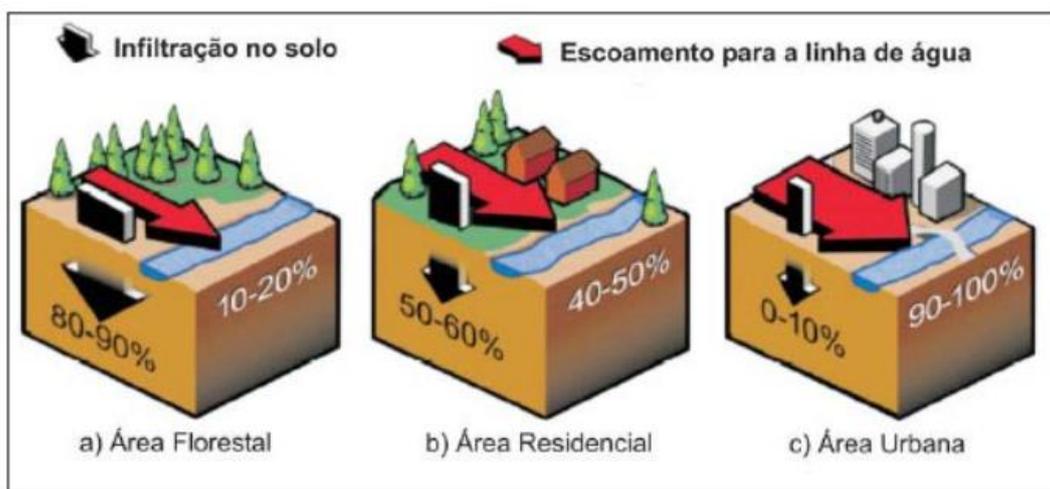


Figura 9: Esquema da infiltração e escoamento em 3 cenários

Fonte: Mata-Lima et al. 2007.

### 2.3 Exposição da infraestrutura

Como relatado nas seções anteriores, a exposição da infraestrutura está diretamente ligada ao ambiente e aos eventos que ocorrem nessa localidade. De acordo com o IPCC (2014), a exposição de determinado sistema, como a infraestrutura e seus ativos, está relacionada a sua localização, comunidades, bens econômicos, e pode ser afetada por impactos biofísicos, como inundações, secas, subidas do nível do mar, entre outras.

Por isso, faz-se necessário compreender tanto os impactos relacionados, quanto a própria infraestrutura exposta a inundações. A figura 10 demonstra uma seção transversal da plataforma ferroviária. A mesma será tratada nesta dissertação por estar suscetível a intempéries, de acordo com MENEZES *et al.* (2021). A infraestrutura ferroviária é especialmente suscetível aos impactos climáticos como inundações e ondas de calor, por serem construídas para uma longa vida operacional e para diferentes cenários climáticos. Portanto, é necessário que exista regularmente avaliações e manutenções dos componentes que formam o sistema ferroviário, segundo ABREU *et al.* (2021).

De acordo com BUBECK (2019), o nível de exposição da infraestrutura à inundação pode causar diferentes danos. A figura 10 é baseada em um estudo empírico da inundação do rio *March* em 2006 em áreas de planície da baixada australiana (KELLERMANN *et al.*, 2015), assim como na baixada do Rio de Janeiro.

No primeiro quadro, a subestrutura está inundada e aparentemente não há acúmulo de água na superfície. No entanto, no segundo quadro, a subestrutura e a superestrutura estão inundadas e alguns danos superficiais são esperados, assim como danos imperceptíveis, mas não vistos superficialmente, como perda de parte do sublastro e a falta de estabilidade das composições que passam pelo local. Por sua vez, no terceiro quadro, após acúmulo de água e toda a infraestrutura, e o aumento do nível dos rios subterrâneos, ou seja, dos lençóis freáticos, a infraestrutura precisa ser substituída, pois foi totalmente danificada, a partir do tombamento de obras de arte e perda do lastro causando instabilidade em todo o sistema local.

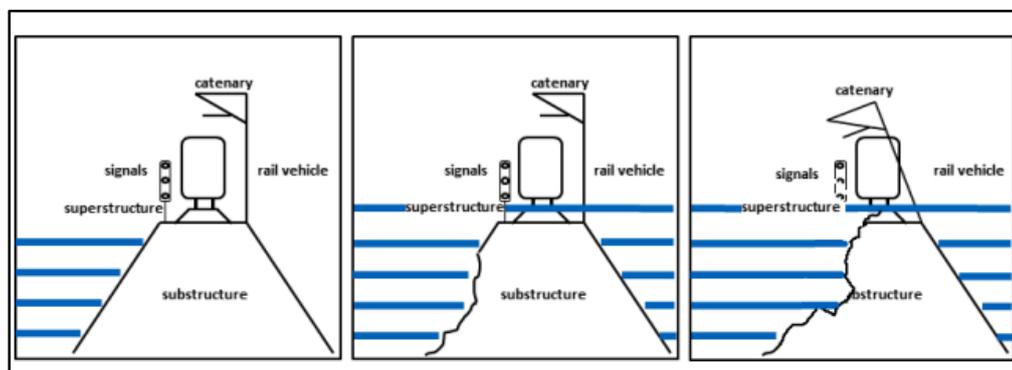


Figura 10: Modelo de classificação de danos na infraestrutura ferroviária

Fonte: Kellermann et al. (2015)

Para fins de esclarecimento, esse trabalho compreende o risco na intersecção entre o regime de chuvas, a topografia, a proximidade com rios e córregos, e a densidade urbana, causando assim as interrupções no serviço ferroviário de passageiros, além dos danos à infraestrutura, a partir de eventos relacionados a precipitações, apontando o risco de inundação nas estações ferroviárias do Rio de Janeiro.

## 2.4 Metodologia

A construção de uma metodologia de pesquisa que se propõe a analisar o risco a inundações e apresentar medidas de adaptação para transporte ferroviário de passageiros na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), frente à mudança climática, demonstra-se multidisciplinar, pois passa pela compreensão e conceituação acerca da malha ferroviária e elaboração de um inventário do ambiente em que a infraestrutura está inserida, além de propor medidas de adaptação. Portanto, o subcapítulo referente a metodologia de análise de risco foi dividido em algumas seções que estão expostas a seguir.

Para conduzir a análise de risco de inundação nas estações ferroviárias do município do Rio de Janeiro, optou-se por empregar o método de Análise *Electre (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*, que significa Eliminação e Escolha Expressa da Realidade, em francês), que apresenta uma abordagem adaptável a diversos problemas, uma vez que não requerem, obrigatoriamente, a comparação entre as alternativas. Na presente dissertação objetivou-se identificar aquelas estações que apresentam maior risco de inundações. Este processo envolveu a criação de um ranking que estabeleceu a ordem de risco das estações a partir de pesos. Para alcançar esse resultado, foram adotados parâmetros espaciais que garantem um processo de seleção sistemático e preciso. Para identificar os locais com maior potencial de risco, foram considerados quatro variáveis de decisão fundamentais: topografia, considerando a influência da altura no risco de inundação; eventos extremos, ou seja, precipitação superior a 50 milímetros por dia; proximidade com corpos hídricos; e a porcentagem de área urbanizada. A análise multicritérios subsequente identificou, com precisão, as estações mais vulneráveis a eventos de inundação.

No âmbito das análises de risco, a pesquisa bibliográfica identificou duas metodologias que são frequentemente empregadas para conceituar e examinar os riscos de inundação em sistemas ferroviários, a partir de estudo desenvolvido por FORERO-ORTIZ *et al.* (2020) e BERG (2017), que serão descritas adiante. Como resultado, uma das principais conclusões foi a da carência de métodos de avaliação adequados para países tropicais com índices pluviométricos mais elevados, como previamente justificado. É importante notar que, embora essas abordagens tenham sido aplicadas em outras regiões, os dados necessários para implementar as metodologias não estavam disponíveis no Rio de Janeiro. No entanto, optou-se por utilizar parte da metodologia de FORERO-ORTIZ *et al.* (2020) e BERG (2017), que se baseia na ideia de espaço geográfico, ou seja, interações complexas entre elementos naturais e humanos, para compreender o risco que o ambiente apresenta. Portanto, nesta dissertação, foi adotada a análise multicritério como abordagem principal para identificar as estações ferroviárias que estão em áreas mais suscetíveis a riscos de inundação.

FORERO-ORTIZ *et al.*, (2020) utiliza de duas importantes informações para realizar a metodologia e a coleta de materiais do seu trabalho: (a) dados de precipitações que causaram enchentes no metrô nos últimos 20 anos, indicando o aumento das enchentes que causaram paralisações no metrô de Barcelona, e (b) dois modelos hidrológicos que contêm as encanações de águas pluviais, tubos, nós, tanques, açudes, bombas, comportas e emissários.

A equação de Saint-Venant, são fórmulas comumente empregadas para representar o processo de fluxo em canais abertos, também foi utilizada no trabalho o modelo Horton, um modelo empírico que estabelece que a taxa de infiltração hídrica em solo previamente desidratado decresce exponencialmente até alcançar um valor estável e invariável, correspondente à condutividade hidráulica saturada do solo, além do Digital Terrain Model (DTM), o desenho ou gráfico que mostra as informações relacionadas à altitude do terreno, excluindo outros dados adicionais, com o intuito de simular e compreender inundações decorrentes de precipitações na área estudada e a avaliação do risco de inundação.

No trabalho de BERG (2017), são descritas possíveis avaliações de vulnerabilidade baseadas em exemplos de impactos dos riscos nas ferrovias que podem abordar as

possíveis consequências das mudanças climáticas, como demonstrado na figura 11, onde são exemplificados os eventos e as consequências sociais e na infraestrutura. Algumas avaliações de vulnerabilidade descritas por BERG (2017), utilizaram dados históricos e tecnologia do Sistema de informações Geográficas (SIG), assim como a rede ferroviária e a geração de cenários de inundações através de dados quantitativos para criar associações entre a ameaça climática e consequência na infraestrutura.

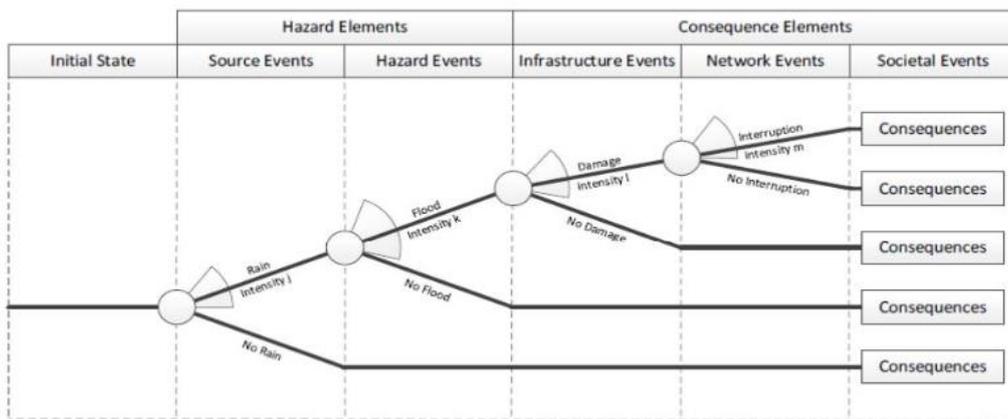


Figura 11: Árvore de eventos simples para avaliação de riscos de redes de infraestrutura  
 Fonte: Berg (2017).

Em BERG (2017), é demonstrada a importância da pesquisa sobre as características do meio (capacidade de captação e geração de inundações), ou seja, da região geográfica, indispensável para compreender os impactos que as mudanças climáticas podem causar na infraestrutura ferroviária, tal qual o entendimento de como o solo pode responder, de como a altitude pode influenciar ou a proximidade com corpos d'água pode propiciar inundações e de como a infraestrutura localizada nesse ambiente responderá.

## 2.5 Malha Ferroviária

Nessa seção, inicialmente, tratou-se de compreender o estado da malha ferroviária, por isso, algumas visitas técnicas foram realizadas nas estações, a partir das plataformas foi realizada uma inspeção visual, a fim de avaliar o estado de preservação da infraestrutura (cobertura do solo, trilho, dormentes e obras de arte especiais) e as condições de conservação da faixa de domínio (presença de lixo e equipamentos vandalizados).

Outra coleta de dados foi viabilizada por meio da Lei de Acesso à Informação nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, pois são dados que não costumam ser divulgados/disponibilizados ao público. Portanto, a partir da lei, foi solicitado a idade dos ativos, os pontos mais críticos por trechos, dados do Plano de manutenção contendo informações sobre os trechos historicamente mais críticos, dados de monitoramento da via permanente, como geometria (carro controle, levantamento manual, ultrassom e georadar), os quais também são indicadores de sensibilidade e exposição, dados de monitoramento das obras de arte especiais (OAE) como pontes e viadutos, níveis de passagem, que possuam a idade do ativo, vão livre, altura, tipo de estrutura, patologias apontadas na avaliação estrutural, as quais também são indicadores de sensibilidade e exposição.

A avaliação estrutural, é fundamental para compreender o desempenho da infraestrutura e para sua preservação. A avaliação pode ser classificada em ensaio não destrutivo, ou em inglês Non-destructives Testing (NDT), englobando diversas técnicas usadas para definir as propriedades de um material sem causar danos, ou ensaios destrutivos, do Inglês Destructive Testing (DT), ou seja, ensaios que destroem parte do material, conforme desenvolvido por MATOS *et al.* (2015).

A coleta de dados relativos à operação e características da infraestrutura ferroviária, incluindo a mensuração da inclinação máxima em porcentagem e do raio de curva em metros, desempenha um papel fundamental na identificação de áreas suscetíveis a impactos causados pelas condições climáticas, como precipitação. Além disso, a análise da velocidade máxima permitida, levando em consideração a evolução histórica da velocidade média autorizada (VMA), pode servir como um indicador de potenciais problemas na infraestrutura, aumentando a percepção da vulnerabilidade da mesma às intempéries. Por conseguinte, a inspeção dos tipos de dormentes utilizados e do estado de conservação por trechos pode igualmente revelar áreas mais suscetíveis aos impactos da mudança clima.

Esses dados desempenham um papel fundamental na compilação do conjunto de informações utilizado nesta dissertação. Vale ressaltar que algumas informações não foram fornecidas diretamente à pesquisa, mas sim obtidas por meio de inspeções visuais nas estações de passageiros, enquanto os dados sobre as paralisações foram coletados no

site da AGETRANSP (2022). Devido à escassez de informações relacionadas tanto à operação quanto à infraestrutura, a pesquisa optou por analisar o ambiente construído para identificar possíveis riscos no ambiente e conseqüentemente nas estações. No entanto, é importante destacar que com a falta dos dados, a avaliação precisa dos riscos da infraestrutura, pode não ser tão abrangente quanto o desejado.

## 2.6 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos são essenciais para compreender a quantidade de precipitação na região que desencadeou a paralisação dos serviços de transporte devido a inundações ou alagamentos. Para coletar esses dados, recorreremos ao Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, gerenciado pela Fundação GEO-RIO. Essa iniciativa foi estabelecida em resposta a eventos extremos na cidade e tem desempenhado um papel crucial na análise das condições meteorológicas locais, além de emitir alertas em casos de risco de deslizamentos e chuvas extremas.

O Sistema conta com uma rede de 33 estações telemétricas espalhadas por todas as regiões do Município. Estas estações enviam dados em tempo real, a cada 15 minutos, para a central do Alerta Rio, porém, para fins de limitação do corpus, neste trabalho foram consideradas apenas 12 estações. O critério de escolha dessas estações, se baseou na proximidade da ferrovia. As estações telemétricas estão no máximo 3km de distâncias da ferrovia, como é o caso da estação de Irajá do ramal Saracuruna, como pode ser visto na figura 12.

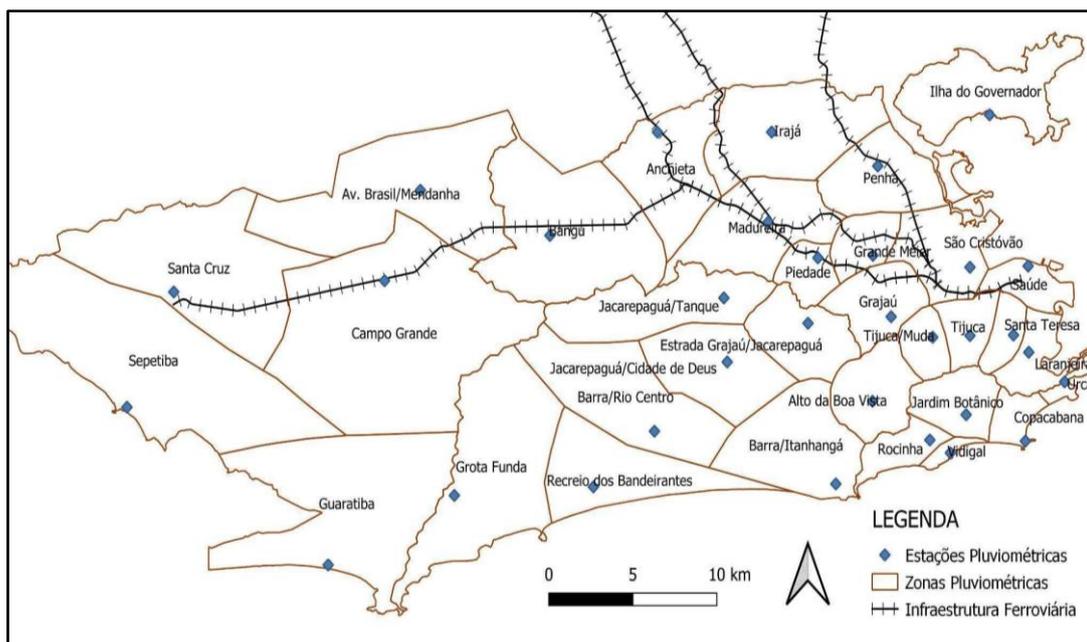


Figura 12: Localização das estações e zonas pluviométricas no município do Rio de Janeiro

Elaboração própria, 2023

Para cada estação, havia 12 arquivos por ano. O intervalo da pesquisa foi de 2010 a 2022, totalizando 144 arquivos na extensão “.txt” (arquivos de texto) por estação. Foram reunidos os 144 arquivos de forma automática no prompt de comando do “Windows” em apenas um arquivo na extensão “.txt” por estação. A extensão txt permite uma grande quantidade de caracteres em apenas um arquivo, enquanto o formato xls, comumente lido pelo excel ou outros editores de planilhas, não suportou todos os dados de uma só vez, por isso foram necessários alguns passos até a obtenção da totalidade dos dados e sua posterior análise.

Após serem compilados em um arquivo por estação, com a ferramenta "localizar e substituir", foram excluídas linhas que não eram necessárias e que se repetiam, como o cabeçalho. Após essa primeira fase, os arquivos com extensão .txt foram transformadas em arquivos .csv (*Comma-separated values* em inglês ou valores separados por vírgulas). Dessa forma, foi possível trabalhar os mesmos no “Calc”/“LibreOffice”, um editor de planilhas gratuito. Assim, foram excluídas colunas de tempo que não seriam trabalhadas, como soma de noventa minutos de precipitação e os dias que não houve precipitação, bem como intervalos de 15 minutos sem informações associadas - alguns estavam zerados

e outros continham “ND” (nada), por isso é possível perceber que alguns gráficos possuem mais informações que outros.

A falta de informação pode decorrer do defeito do aparelho de medição, ou erro de coleta devido a algum tipo de reparo do mesmo. As informações podem estar zeradas, ainda, pela ausência de chuva. Após a segunda fase de tratamento dos dados, os mesmos foram transferidos para o *Google Sheets*, um editor de planilhas do *Google*. Por fim, no *Google Sheets* foi criada uma tabela dinâmica para cada estação pluviométrica para assim evidenciar o total de precipitação por dia do ano.

A partir de algumas ferramentas do *Google Sheets*, gráficos foram criados e foi possível iniciar as análises. As planilhas com o total de precipitações diárias, os gráficos georreferenciados, (ou seja, os dados de precipitação localizados no mapa), auxiliam na compreensão dos regimes de chuva. A análise buscou compreender se as paralisações supracitadas tinham relação com as precipitações identificadas nessa etapa da pesquisa.

É importante ressaltar que apenas no município do Rio de Janeiro a coleta de dados completa foi possível. Isso porque o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dispõe de estações em todo território nacional, mas as estações da região metropolitana, onde existe a infraestrutura ferroviária, não possuíam dados históricos como as estações do GEO-Rio, contendo dia e horário das precipitações, o que diminui o escopo das análises, pois sem os dados pluviométricos, as análises de algumas regiões foram excluídas. Considerando a limitação de obtenção de dados, a delimitação da área da pesquisa se ajustou à área do município do Rio de Janeiro, visto que se mostrou como o local com informações completas.

## 2.7 Risco de inundação

A representação cartográfica foi necessária para a visualização da localização da infraestrutura e dos impactos da mesma. Os mapas foram feitos a partir do software Qgis e com base em imagens de satélite com resolução espacial de 90 metros no formato GEOTIFF (16 bits). Foi criado um mapa hipsométrico que representa a variação de altitude de uma área em relação ao nível do mar no software livre QGIS, a partir do

sistema de Coordenadas Geográfica Datum e o WGS-84 que é um sistema de localização utilizado para situar qualquer ponto da superfície terrestre.

As curvas de nível e dados da bacia hidrográfica foram coletadas a partir da plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) para compreender alagamentos e inundações além da proximidade da baía de Guanabara, observando as cotas, ou seja, a altura acima do nível do mar. As curvas de nível são linhas imaginárias que unem pontos de igual altitude na superfície terrestre. No caso, realizadas na escala 1:25.000, com equidistância de 10 metros desenvolvida no âmbito do Projeto RJ25 (IBGE, 2023).

Os dados de uso do solo foram coletados na plataforma Data Rio para compreender o comportamento do escoamento superficial ou a infiltração na área, esses dados foram trabalhados no Qgis espacialmente, foram calculadas as porcentagens de área urbanizada por áreas pluviométricas (ver figura 12).

A partir do exposto, para fins de pesquisa, decidiu-se utilizar: (1) dados pluviométricos; (2) mapas hipsométricos para pontuar as estações mais baixas; (3) dados da bacia hidrográfica; e (4) dados de uso e ocupação do solo, visando compreender a porcentagem de solo urbanizado, ou seja impermeabilizado e o espaço geográfico onde o sistema ferroviário está inserido para que, assim, fosse possível analisar os riscos de inundação.

O procedimento metodológico aplicado nessa parte do trabalho, a qual se propõe a compreender o transporte ferroviário da região metropolitana do Rio de Janeiro, consiste em encontrar os pontos mais vulneráveis, ou seja, a identificação de *hotspots* da infraestrutura para compreender, onde exatamente a infraestrutura está mais exposta ao risco do impacto a inundação. Desta forma, se faz necessário o levantamento sobre as paralisações ocorridas e suas localizações, chamadas de dados históricos de paralisações por alagamento na via ferroviária. Esses dados foram levantados a partir de 5 solicitações entre os dias 12 de maio de 2022 e 5 de janeiro de 2023 – sob os seguintes números de protocolo: 25766, 28501, 28502, 28772 e 29498, a partir da aplicação da lei de acesso à Informação, nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, para Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes Aquaviários, Ferroviários, Metroviários e de Rodovias do Estado do Rio de Janeiro.

A divulgação no site da concessionária dos dados de paralisação no sistema ferroviário é recente, tendo ocorrido a partir de março de 2020, pois a AGETTRANSP iniciou a divulgação dos dados de paralisação e atraso relacionados a chuvas e alagamentos, através dos relatórios técnicos que começaram a serem publicados a partir da pandemia de COVID-19, por isso, os dados solicitados são referentes a anos anteriores a 2020.

No entanto, os dados publicados no portal da agência que indicam os trechos ou estações afetadas apresentam informações de caráter geral e carecem de detalhes específicos. Para contornar essa limitação, foi necessário recorrer a fontes de informação mais abrangentes, como jornais de grande circulação (anexo I). Durante esse processo, identificaram-se algumas inconsistências entre os dados fornecidos pelos jornais e os dados oficiais da AGETTRANSP. Diante desse desafio e da escassez de informações disponíveis, a pesquisa teve de consolidar essas informações quando as datas não coincidiam. Em certos casos, ocorreram paralisações que foram relatadas apenas pelos jornais, não constando nos registros da agência reguladora, e vice-versa. Portanto, foi reconhecida a necessidade de utilizar diversas fontes de informação para uma compreensão abrangente e precisa do fenômeno em questão.

A partir da comparação dos dados da AGETTRANSP de interrupção do sistema ferroviário com os dados de pluviosidade, também foram observadas contradições como a não suspensão do serviço ferroviário em dias em que as precipitações foram alarmantes, por isso, foi necessário buscar mais informações, por meio de um levantamento de dados em jornais publicados na internet.

O levantamento desses dados foi realizado a partir de uma ferramenta do *Google*, um site de pesquisa online gratuita com o mecanismo de intervalo personalizado, onde foi pesquisado na aba “notícias” e “todas” pelas palavras “alagamento”, “inundação”, “chuva”, “supervia” e “trens”. Essas palavras foram utilizadas associadas à ferramenta de data, assim, realizou-se essa pesquisa para cada ano estudado, extraindo das matérias o motivo da paralisação, a data, e o link para consulta, como pode ser visto no anexo I.

Nas edições de jornais e revistas, é sabido que há uma escolha editorial para selecionar o assunto que será noticiado e o destaque que receberá, ou seja, há um filtro editorial sobre os acontecimentos. No entanto, é papel da agência reguladora registrar todas as

paralisações publicadas ou não em jornais, mantendo-as em planilhas, pois todas as interrupções no serviço dos trens urbanos deveriam estar arquivadas juntamente com os devidos trechos, para que assim possa ser observado quais são os locais mais críticos, a fim de que soluções sejam tomadas para melhoria do serviço e a manutenção da infraestrutura.

Dessa forma, também foi averiguado que a planilha recebida através da lei de acesso à informação se encontrava com algumas lacunas de informações e itens vazios. Nos anos de 2010, 2014 e 2015, por exemplo, segundo os registros, não haveria paralisações, contudo, em jornais de ampla circulação na região, foram encontradas algumas paralisações nesses anos. Por isso, neste trabalho todos os dados de paralisações serão utilizados, tanto os dos jornais, quanto os recebidos a partir da lei de acesso à informação, quanto os coletados no site da AGETRANSP. Todas as datas com as ocorrências foram acopladas em uma planilha, tendo sido escolhidas apenas uma ocorrência por dia. Seguindo um padrão, a ocorrência foi organizada com data, local e o motivo para paralisação relacionado com precipitações.

O Anexo I apresenta uma planilha que integra os registros de paralisações com dados de precipitação da região, o que possibilita uma análise mais precisa da relação entre o volume de chuva e as ocorrências de paralisações. A partir dessa abordagem, foi estabelecido critérios para identificar eventos extremos e direcionamos nossa investigação para as estações com os maiores índices de paralisações, aprofundando a pesquisa nesses casos.

## 2.8 Medidas de Adaptação

As adaptações propostas por essa pesquisa ao transporte ferroviário de passageiros na RMRJ frente ao impacto de inundação decorrente de precipitação extrema, são baseadas em adaptações previstas em diversas literaturas nacionais e internacionais e foram compiladas e adaptadas para a região.

A coleta de literatura e o conjunto de boas práticas foram obtidas através de uma revisão e identificação de medidas de adaptação no sistema ferroviário frente às precipitações

extremas e suas consequências como inundações, com base em pesquisas diretas nas bases de dados da *Web of Science e Scopus* e Consultas em relatórios técnicos de instituições e iniciativas nacionais e internacionais, por exemplo, a Revista Ferroviária (2021), e ABNT NBR 13184:2012, e internacionais, por exemplo, *o international Union of Railway, o National Research Council e o World Bank Group*), além do google acadêmico.

Para concluir, após coletar informações das plataformas mencionadas, iniciamos à separação das medidas de adaptação relacionadas à chuva e inundação. Em seguida, realizamos uma avaliação minuciosa, considerando tanto a infraestrutura já existente quanto a peculiaridade geográfica da região do Rio de Janeiro, para determinar a viabilidade de aplicação dessas informações na prática.

## 2.9 Seção Transversal - Conceitos da infraestrutura ferroviária

A infraestrutura ferroviária é um conjunto de obras que formam a plataforma da estrada de ferro, a qual suporta a superestrutura (NABAIS, 2014). Esse conjunto é formado por dormentes, trilhos, lastro, sub-lastro, saia de aterro, valeta, banqueteta, obras de arte especiais, valeta de contorno dos cortes e tabule do corte. A figura 13 exemplifica parte de uma infraestrutura ferroviária.

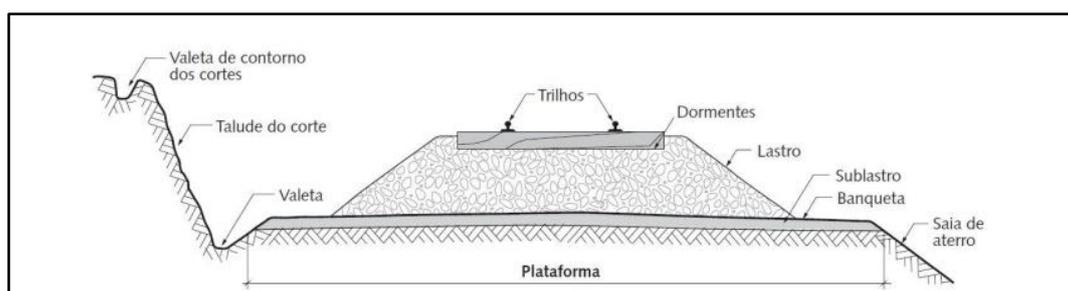


Figura 13: Seção transversal da plataforma ferroviária

Fonte: NABAIS, 2014.

Os dormentes, são responsáveis pela fixação dos trilhos no lastro, e recebem o peso dos trens, dando estabilidade ao mesmo, atualmente são feitos com diversos materiais, os mais comuns são madeira e concreto. O lastro tem a função de transferir o peso para as camadas inferiores, as quais são sub-lastro, banqueteta e saia de aterro.

A drenagem em vias férreas consiste no escoamento das águas dos terrenos onde está construída a ferrovia. A água é escoada por canos, canais, valas, canaletas, fossos, tubulações, túneis, entre outros.

O subleito, caracterizado como a fundação da via permanente, é um componente com relevante importância na infraestrutura ferroviária, e se localiza abaixo do sub-lastro e do lastro, onde o dormente está fixado. O subleito recebe as tensões devido ao tráfego e às demais instalações necessárias para a operação ferroviária. Análises realizadas em laboratório demonstram que o acréscimo de umidade diminui o módulo resiliente dos solos e é um dos maiores problemas para o pavimento (Ribeiro et al., 2020).

A bitola é a largura entre as faces interiores de dois trilhos de um trecho ferroviário. As bitolas podem ser separadas nos seguintes tipos: (i) bitola larga; (ii) bitola métrica; e (iii) bitola mista. Considerando o critério de estabilidade do material rodante e uma grande carga transportada, assim como os pontos de mudança de via, entende-se que quando uma ferrovia apresenta bitola larga, este tipo de geometria ferroviária está menos sensível aos impactos biofísicos que as ferrovias de bitola métrica, que, por sua vez, são menos sensíveis que as ferrovias de bitola mista (PROJETO ADAPTAVIAS, 2023), essa afirmação está diretamente ligada com a carga transportada, pois quanto maior a carga, mais sensível a bitola estará, a bitola larga é capaz de suportar um peso superior em comparação com a bitola métrica.

As obras de arte especiais são construções como “pontes, viadutos ferroviários, passagens superiores, passagens inferiores e passarelas, projetadas em concreto armado, protendido, metálicas ou em combinação entre estes sistemas construtivos estruturais”, de acordo com o ISF-216: Projeto de Obras de arte especiais realizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2015).

Dados de monitoramento das Obras de Arte Especiais (OAE), que possuem informações como idade do ativo, vão livre, altura, tipo de estrutura e patologias apontadas na avaliação estrutural, podem fornecer informações adicionais sobre o risco. Esses dados incluem informações sobre a idade das OAE, estado de conservação, entre outros. Esses elementos também são indicadores de sensibilidade e exposição. Ao analisar essas

informações, é possível obter uma compreensão abrangente do contexto e das características das OAE, contribuindo para uma avaliação mais precisa do risco. Porém estas informações não foram disponibilizadas para esta dissertação.

## 2.10 Método ELECTRE

Dada a abrangência da pesquisa, que considerou diversas estações e critérios como precipitação, altimetria das estações, proximidade com corpos d'água e porcentagem de área urbanizada, a serem avaliados, optou-se por realizar uma análise multicritério, a fim de fornecer uma abordagem abrangente para a classificação das estações de trem em termos de risco à inundação. Para classificar as estações ferroviárias em maior risco elevado de inundação, torna-se crucial a aplicação de um método confiável, como o ELECTRE, que já foi utilizado com êxito em trabalhos similares (MUSTAFA *et al.*, 2021, CASTRO e BATISTA, 2023).

O método ELECTRE, também conhecido como "Elimination Et Choix Traduisant la Réalité" (Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade, em português) tem como objetivo principal reduzir o conjunto de alternativas, baseando-se no conceito de dominância, oferecendo uma abordagem flexível para a resolução de problemas de tomada de decisão. Este método não exige necessariamente uma comparação direta entre as alternativas, nem impõe uma estrutura hierárquica rígida para os critérios envolvidos, mas compara a partir de pesos cada indicador de cada opção.

A análise de superação faz parte desse método dentro de uma lógica não compensatória, fazendo uso da noção de razão de substituição, bem como da capacidade de veto com base nas concepções de concordância e discordância. As relações de superação desenvolvidas dessa maneira permitem analisar se uma alternativa é tão competente quanto outra, sob a seguinte condição: é necessário um respaldo suficiente dos critérios, considerando suas importâncias (peso), para endossar essa proposição (princípio da concordância), enquanto a objeção da minoria não apresenta força significativa para se opor a essa afirmação (princípio da discordância).

Para realizar essa análise, o método de superação se desdobra em dois estágios: a tabela de concordância e a tabela de discordância (Anexo III). A tabela de concordância reflete situações em que os critérios usados indicam que a alternativa A é preferível à alternativa B. Por outro lado, a tabela de discordância ocorre quando não há critérios que favoreçam a alternativa B em relação à alternativa A.

Para aplicar essa abordagem, os pesos são empregados na construção dos índices ou coeficientes de concordância e discordância. Considerando um conjunto de possíveis decisões (alternativas) representado por A e  $g_i(a)$  como a avaliação de qualquer uma dessas decisões com base em um critério  $i$  (onde  $i=1,2,3,\dots,n$ ), a relação de superação é definida como a situação em que uma alternativa A supera outra B ( $aSb$ ) se A for, no mínimo, tão boa quanto B. Na figura 14, é possível observar o passo a passo desse método.

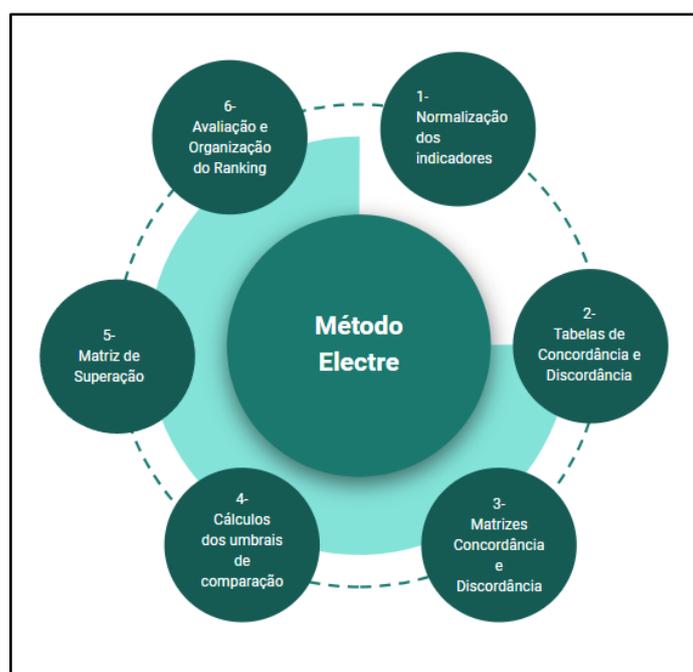


Figura 14: Procedimentos do método ELECTRE

Fonte: Elaboração própria, 2023

Para a construção das tabelas de concordância e discordância, é preciso realizar a normalização dos dados, conforme pode ser visto na figura 15, uma vez que eles têm origens, escalas e unidades de medida distintas, tornando possível a comparação entre eles. Este procedimento é particularmente relevante neste estudo, que envolve a análise de diversos parâmetros, como altimetria, quantidade de eventos acima de 50 milímetros,

proximidade com corpos d'água (representada por valores binários, isto é, 1 ou 0), e porcentagem de áreas urbanizadas. Nesta etapa, também foram atribuídos pesos aos critérios a partir das observações e mapeamentos feitos da realidade local, por exemplo, observou-se que áreas próximas a rios e baixadas frequentemente sofrem inundações, enquanto locais mais elevados não apresentam registros desses eventos, corroborando com as informações encontradas na bibliografia e no mapeamento da Agência Nacional de Águas (ANA). O processo de normalização consiste na aplicação de uma fórmula que divide o valor analisado pelo somatório dos valores da mesma coluna.

$$\text{Valor normalizado} = \frac{\text{Valor analisado}}{\text{soma dos valores}}$$

Figura 15: Fórmula de normalização

Fonte: elaboração própria, 2023.

A construção da planilha de concordância envolve critérios que devem ser considerados para maximização ou minimização. Por exemplo, a altimetria deve ser minimizada, pois uma estação em uma área de altimetria baixa indica maior risco à inundação, enquanto os demais critérios devem ser maximizados, uma vez que valores mais altos nesses critérios indicam maior risco para estação, como maior número de eventos extremos. Os pesos atribuídos a cada alternativa são somados sempre que essa alternativa supera outra em relação aos critérios estabelecidos.

Para entendermos a concordância utilizaremos as estações de Manguinhos e Praça da Bandeira. A concordância é estabelecida sempre que Manguinhos supera Praça da Bandeira em um determinado parâmetro e, nesse contexto, o peso normalizado correspondente a esse parâmetro é somado. Como exemplo, começamos pela avaliação da altimetria (0,3684) com a pergunta: "Manguinhos supera Praça da Bandeira?" Ou seja, se a altimetria em Manguinhos é menor ou não. Em seguida, repetimos o processo com o parâmetro da chuva (0,1578), indagando se "Manguinhos supera Praça da Bandeira em relação à quantidade de chuva?". Ou seja, se esta é maior em Manguinhos. Da mesma forma, realizamos uma análise similar com o critério de proximidade com rios (0,2105), perguntando se "Manguinhos supera Praça da Bandeira em termos de proximidade com rios?". Ou seja, se esta é maior em Manguinhos. Por fim, examinamos o grau de urbanização (0,2631), questionando se "Manguinhos supera Praça da Bandeira em

relação ao nível de urbanização?". Ou seja, se este é mais elevado em Manguinhos. Nesse processo, os pesos são acumulados sempre que Manguinhos se destaca em relação a Praça da Bandeira em um dado critério.

A elaboração da planilha de discordância é uma tarefa um tanto complexa, devido ao grande número de comparações envolvendo as estações e critérios. Nesse processo, a alternativa em análise é comparada com todas as outras, seguindo a fórmula representada na figura 16.

$$D = \frac{\text{dif. critério}}{\text{Amplitude}}$$

Figura 16: Fórmula de Discordância

Fonte: Elaboração própria, 2023

Na fórmula, "Dif. de Critério" representa a diferença entre os 4 critérios comparados a cada um dos outros critérios das 60 estações, enquanto "Amplitude" corresponde à diferença entre o maior e o menor valor do critério.

Após calcular os valores de discordância para cada critério da alternativa, selecionamos o maior desses valores para a construção da matriz de discordância. Em seguida, com as duas tabelas de concordância e discordância, elaboramos as matrizes correspondentes. Para cada uma delas, é determinado o "umbral de comparação" conforme representado na figura 17 e 18.

$$\bar{p} = \frac{\sum_i \sum_j c_{ij}}{n(n-1)}$$

Figura 17: Fórmula do umbral de preferência

Fonte: elaboração própria, 2023.

$$\bar{q} = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}}{n(n-1)}$$

Figura 15: Fórmula do umbral de indiferença

Fonte: elaboração própria, 2023.

A soma dos valores de concordância é dividida pela quantidade de valores somados. Esses umbrais servirão como parâmetros de comparação para a montagem da tabela de superação. Na tabela de concordância, procuramos pelo valor imediatamente acima do umbral P calculado. Da mesma forma, na tabela de discordância, buscamos o valor imediatamente abaixo do umbral Q calculado.

Assim, os valores de concordância maiores que o umbral de comparação (P) e os valores de discordância menores que o umbral de comparação (Q) são considerados para a formação da tabela de superação. Quando duas alternativas são comparadas e, simultaneamente, o valor de concordância (relacionado às alternativas) for maior que P e o valor de discordância (relacionado às alternativas) for menor que Q, será atribuído o valor 1 a essa alternativa indicando que ela superou a outra em que estava sendo comparada.

A etapa de avaliação, envolve a construção da tabela de dominância. Nessa tabela, somamos os valores da linha da tabela de superação com os valores da coluna correspondente. O ranking das estações mais vulneráveis será estabelecido com base na alternativa que apresentar o maior valor após a soma dos valores da linha com a coluna, considerando a diferença entre eles.

Por fim, as estações foram classificadas e ranqueadas de acordo com o método escolhido, permitindo uma visualização do *ranking* de risco das estações ferroviárias frente às inundações. A figura 18 apresenta o procedimento metodológico com as etapas para análise do risco climático das estações ferroviárias frente às inundações.

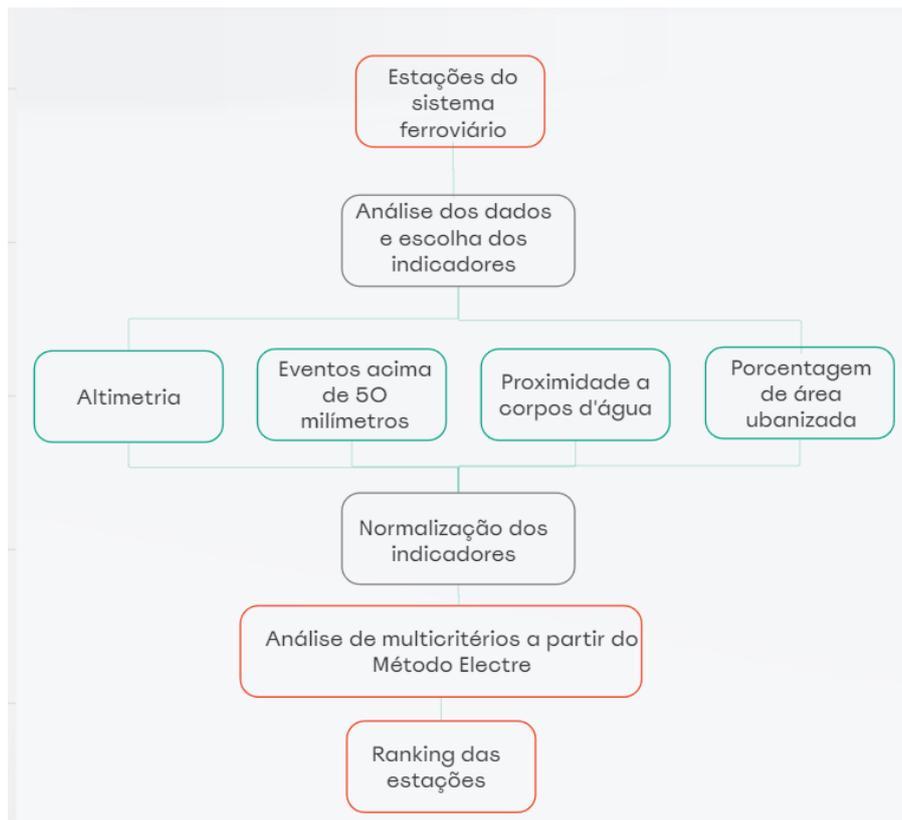


Figura 18: Procedimentos metodológicos

Fonte: elaboração própria, 2023

### 3. Resultados e discussões

Este capítulo fornecerá uma visão geral da área geográfica onde a infraestrutura ferroviária está inserida, ou seja, o mapeamento da região que inclui principalmente a topografia e o sistema fluvial, além de um breve histórico desse ativo, bem como os impactos decorrentes de inundações, observados no sistema ferroviário do Rio de Janeiro e de outras áreas do planeta, além da caracterização do transporte ferroviário da RMRJ.

#### 3.1 Breve histórico da Infraestrutura

O crescimento das grandes regiões metropolitanas no hemisfério norte (Europa e América do norte) se deu a partir do transporte de massa (BARAT, 1975), ou seja, os trens e metrô, na região metropolitana do Rio de Janeiro não foi diferente. Em 1858, foi inaugurada a estrada de ferro Dom Pedro II, cujo trajeto era da estação com o mesmo nome (atual central do Brasil) à estação de Queimados, servindo áreas que naquele momento eram pouco incorporadas à região urbana e que, por meio do advento do trem, se tornaram acessíveis às pessoas que poderiam optar por morar fora da área central, mas não poderiam arcar com os terrenos na zona sul da capital, área também desejada por pessoas que queriam morar fora da área urbanizada. (ABREU, 2013).

A presença da linha de trem ligando a região central ao subúrbio, provocou a imediata ocupação do solo próximo às estações, que foram gradualmente desenvolvidas nas proximidades da primeira linha ferroviária, áreas rurais eram transformadas em pequenos vilarejos e como resultado, atraíram um público maior. Assim, o processo de ocupação dos subúrbios tomou, a princípio, o formato linear, as casas ao redor da ferrovia e pequenos núcleos próximo às estações (ABREU, 2013).

A partir da década de 1880, mais duas estradas de ferro foram construídas em direção ao subúrbio para o sistema de passageiros. Em 1883, a temporária Rio d'Ouro foi pensada para o transporte de material para a construção da rede de abastecimento de água, o que não impediu que pequenos vilarejos fossem formados no decorrer da estrada de ferro. (ABREU, 2013).

Diferente da operação dos chamados bondes, que operavam na zona sul e nas áreas centrais da capital, em 1870, os trens começaram a adequar suas operações aos horários de saída e entrada dos locais de emprego da população, o que demonstra a quem esse sistema de transporte se direcionava: a trabalhadores de renda mais baixa. Os terrenos no subúrbio eram consideravelmente mais acessíveis em comparação com os disponíveis na zona sul. (ABREU, 2013).

No início do século XX, PORTUGAL dizia: “esses Subúrbios não têm existência própria, independente do Centro da cidade” (PORTUGAL, 1957, apud ABREU, 2013, p. 53) Para ele, os moradores dos municípios vizinhos dependiam da estrada de ferro, assim como dependiam dos postos de emprego disponíveis no centro da cidade.

A ferrovia proporcionou o estreitamento da capital, com outros municípios e o espraiamento da região metropolitana. Porém, a partir de políticas nacionais de desenvolvimento nos governos seguintes isso se modificou. De 31 de janeiro de 1956 a 31 de janeiro de 1961, o presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, mais conhecido como JK, assim como os governos da ditadura militar, que o sucederam, implantaram a política de atração da indústria automobilística para o Brasil e, como consequência, deu-se a desestruturação das ferrovias. O transporte de passageiros via ferrovia foi perdendo espaço para o transporte rodoviário (PAULA, 2010). “A política rodoviária/automobilística veio acompanhada de uma progressiva desativação de ramais e de estradas de ferro. Tal diretriz foi executada durante a ditadura civil-militar (1964-1984)” (PAULA, 2010).

Mesmo com tamanha importância do sistema ferroviário, a partir da decadência das ferrovias no Brasil, na RMRJ não foi diferente e algumas linhas de trens metropolitanos foram desativadas. As figuras 19 e 20, mostram a comparação do sistema ferroviário no século XXI e o sistema ferroviário do século XX. São exemplos da decadência das ferrovias, a linha ferroviária que servia a cidade de Niterói, a continuação de mais uma linha que ia em direção ao norte fluminense, assim como a continuação do ramal que hoje é conhecido como Belford Roxo (estrada de ferro Melhoramentos do Brasil), a estrada de ferro Rio d’Ouro, além de pequenas ramificações da estrada de ferro Melhoramentos do Brasil e da estrada de ferro do Rio d’ouro.

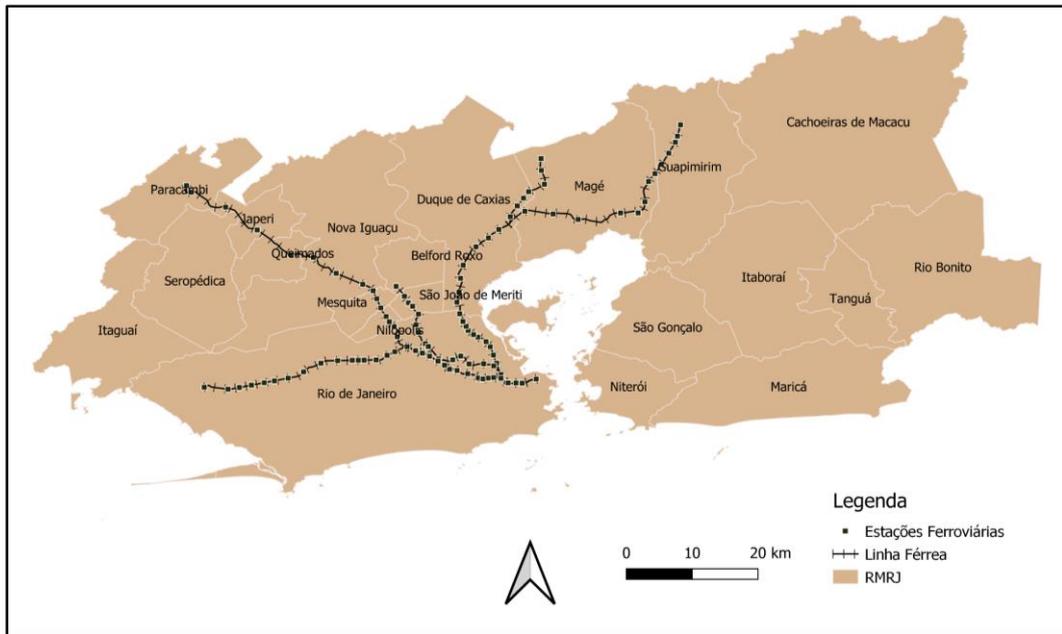


Figura 19: Localização atual da infraestrutura ferroviária de passageiros

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do IBGE, 2010.

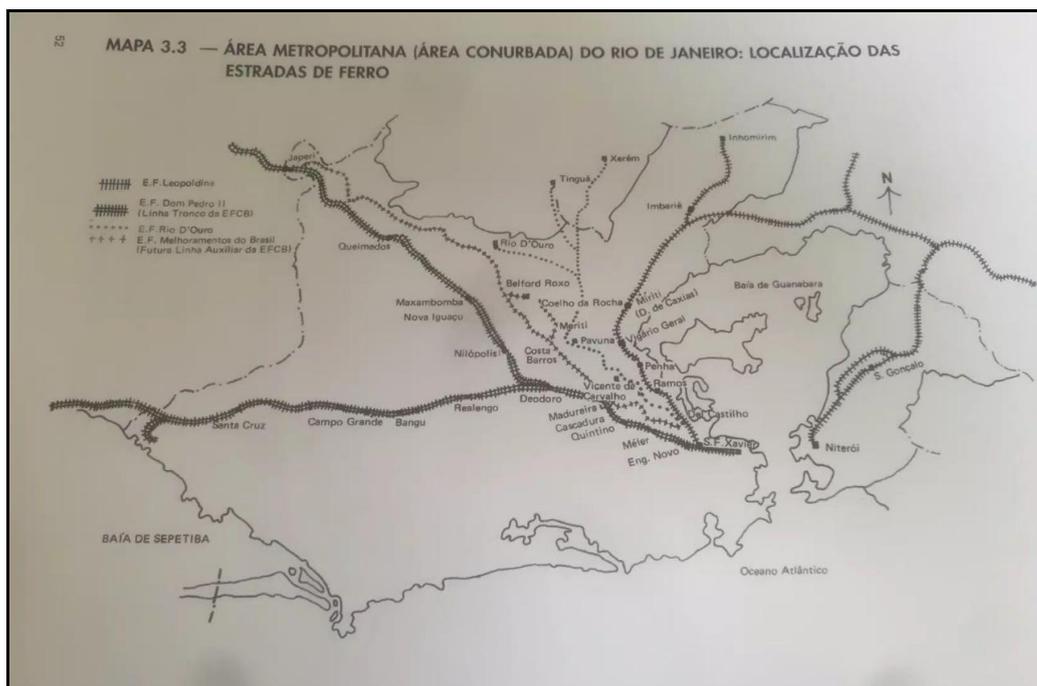


Figura 20: Localização antiga da infraestrutura ferroviária de passageiros

Fonte: ABREU, 2013

### 3.2 Área Geográfica

A área geográfica onde a infraestrutura ferroviária está localizada é fundamental para compreender a vulnerabilidade e os riscos que essa ferrovia pode vir a sofrer. A alocação de uma ferrovia em uma região onde as temperaturas são negativas expõe a infraestrutura a riscos diferentes do que a alocação da mesma infraestrutura em uma área tropical (ABREU *et al.*, 2022), a localização da infraestrutura, as práticas de manutenção e construção do ativo estão relacionadas ao risco que a infraestrutura ferroviária pode sofrer. O risco também está associado a algo que pode ou não acontecer e uma possível perda/destruição de algo que tenha valor (NICOLODI & PETERMANN, 2010).

A infraestrutura do sistema ferroviário de transportes de passageiros do Rio de Janeiro está localizada em uma região de clima tropical. É uma região de alta biodiversidade de fauna e flora que está entre a linha do equador e o trópico de capricórnio, ou seja, as temperaturas são elevadas e a disponibilidade hídrica é alta devido às fortes chuvas. Diferentes trabalhos alertam sobre o alto risco de inundações na costa sul e sudeste do Brasil (WARD *et al.*, 2019; DILLEY *et al.*, 2005), bem como para o aumento das precipitações e temperatura (IPCC, 2014), assim como pode ser visto na figura 21 que demonstra a distribuição de áreas de risco à inundação no mundo.

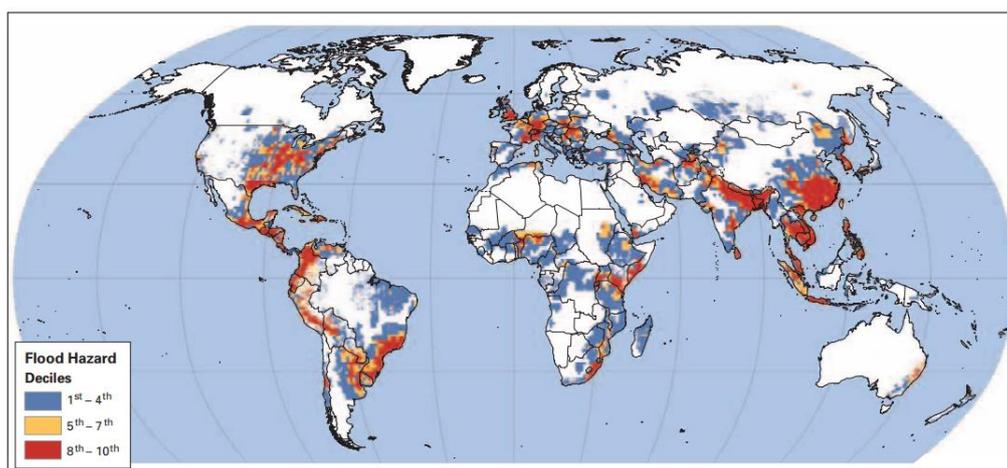


Figura 21: Distribuição de área de risco à inundação no planeta

Fonte: DILLEY *et al.* 2005.

A infraestrutura ferroviária estudada está localizada em uma área de baixada e área costeira. Cercada pelas escarpas da Serra do Mar e pela baía de Guanabara, além de estar perpendicular, paralela e próximos da foz de rios como Iguaçú, Sarapuí e Estrela, que se encontram severamente antropizados (DILLEY *et al.*, 2005), A região está localizada em uma faixa de clima tropical, quente e úmido, marcada por fortes chuvas e aumento da temperatura sazonalmente no verão do hemisfério sul.

A figura 22 mostra a localização do sistema ferroviário e do sistema fluvial na região. Isso ajuda a identificar que a infraestrutura é atravessada por diversos rios, o que pode aumentar o risco de inundações. Isso ocorre devido à proximidade com o sistema fluvial, ao alto grau de urbanização e à localização em uma zona de baixada litorânea.

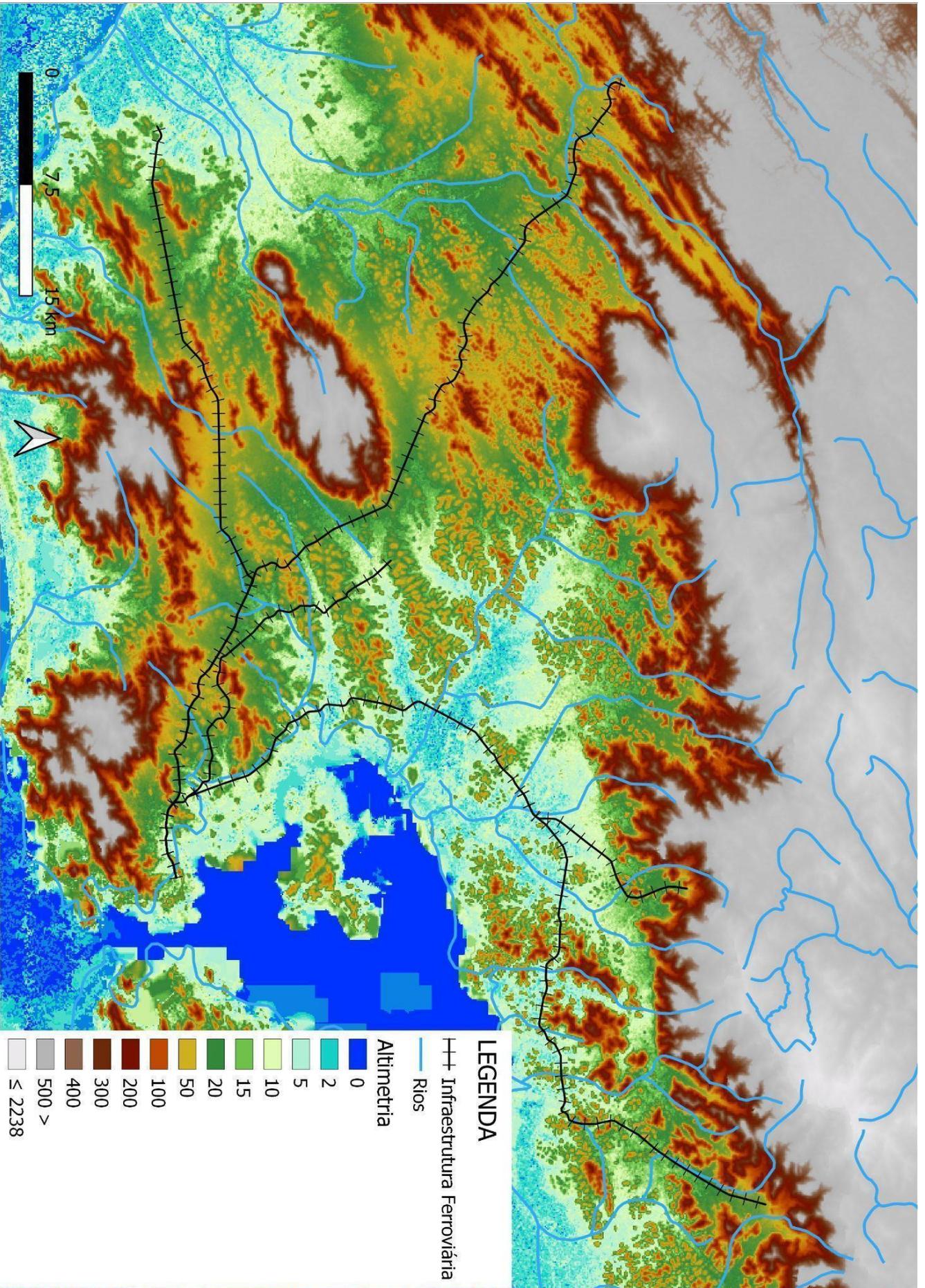


Figura 22: Mapa hipsométrico e a infraestrutura ferroviária da RMRJ

Fonte: Elaboração Própria, 2023

Compreender a área geográfica é compreender as possíveis vulnerabilidades do local. A figura 23, fruto do trabalho realizado por NICOLODI & PETERMANN (2010), intitulado “Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos”, mapeia a vulnerabilidade costeira, definindo o estado da região costeira, incluindo as atividades e pessoas que vivem ali, sejam elas mais ou menos afetadas (IOC. 2009).

As mudanças climáticas nesta região costeira geram impactos como precipitação extrema e consequentemente inundações, aumento da temperatura e subida do nível do mar (NICOLODI & PETERMANN, 2010). O cálculo do risco climático, que posteriormente formará a vulnerabilidade, é feito a partir das mudanças climáticas que podem atingir a região. No trabalho de NICOLODI & PETERMANN (2010), também foram calculadas a dinâmica da população, a geomorfologia, o uso e ocupação da zona econômica exclusiva e a biodiversidade, para a qual foram utilizadas rotinas próprias nos softwares IDRISI e ARCGIS 9. A média simples desses riscos (social, tecnológico e natural) constituiu a vulnerabilidade que pode ser vista na figura 23.

É possível observar que a região mapeada é a mesma onde a infraestrutura ferroviária está localizada e que a escala de vulnerabilidade da região metropolitana do Rio de Janeiro está entre média e muito alta. Isso ocorre também porque o total populacional da região é alto, 13,19 milhões de pessoas (IBGE, 2022), sendo uma das maiores regiões metropolitanas do mundo e a segunda maior do Brasil. Esse fator aumenta o risco social, definido como carências sociais que prejudicam o pleno desenvolvimento humano e contribuem para a deterioração das condições de vida. O risco natural está ligado a processos e eventos de origem natural em uma determinada área geográfica, ou é induzido por atividades humanas. Enquanto o risco tecnológico está principalmente relacionado a falhas internas na atividade industrial (NICOLODI & PETERMANN, 2010).

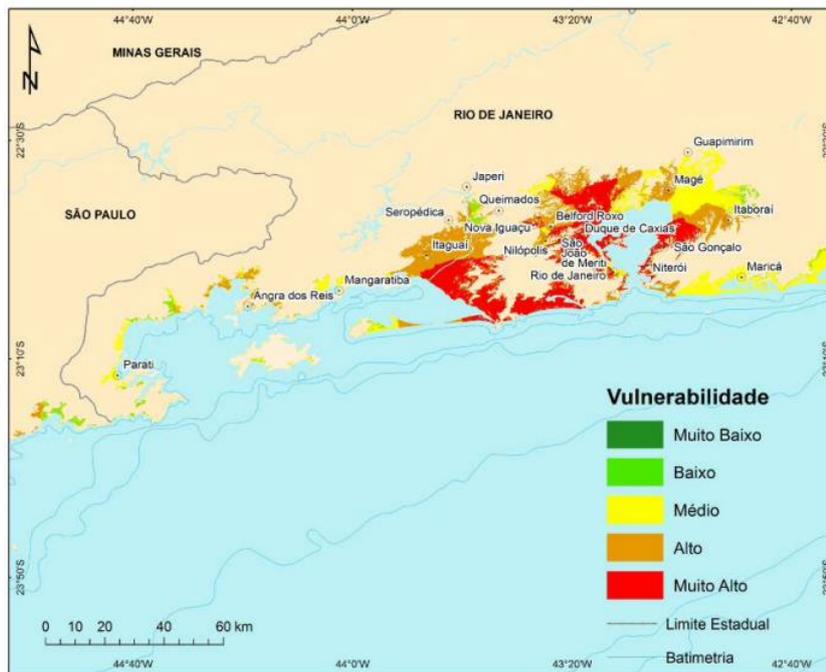


Figura 23: Vulnerabilidade na região metropolitana do Rio de Janeiro

Fonte: Nicolodi & Petermann, 2010.

Estudos do IPCC (2022) mostram que a partir das mudanças climáticas, essa região vai sofrer com o aumento das precipitações e inundações. O Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016) alerta para os perigos naturais, descritos por DANIEL E HOGAN (2014) como eventos extremos que interrompem a regularidade de ocorrência dos fenômenos naturais, sejam eles de natureza geológica, atmosférica, ou ocorrendo na interseção entre eles.

Nas áreas ocupadas por seres humanos, ou seja, áreas onde a relação sociedade-natureza acontece, como é o Rio de Janeiro, os eventos extremos podem ser ainda mais perigosos por atingirem seres humanos. No Rio de Janeiro, um dos eventos extremos mais comuns são as chuvas e suas consequências como inundações, deslizamentos de terra, além da perda de vidas humanas. A diversidade da topografia no Rio de Janeiro com altas elevações e baixadas quase no mesmo nível do mar aumentam ainda mais o risco e a vulnerabilidade a qual a região está exposta.

Desde sua criação, no final do século XIX, eram sabidas as condições geográficas onde o sistema de transporte ferroviário foi implementado.

Embora atravessando terras mais baixas, sujeitas a inundações periódicas, próximas que estavam da orla da Baía de Guanabara, a Rio de Janeiro *Northern Railway Company*, também chamada de Estrada do Norte (futura Leopoldina *railway*), interligou uma série de núcleos semi-urbanos pré-existentes (ABREU, 2013).

As inundações e os ventos atingem diretamente o sistema ferroviário de transporte causando atrasos e cancelamentos na operação, assim como danos à infraestrutura (WANG *et al.*, 2020). Portanto, a localização da infraestrutura é fundamental para compreender os impactos que as mesmas podem sofrer.

Os municípios cortados pelas linhas de trens de passageiros são: o Rio de Janeiro e mais onze municípios, os quais são: Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Nilópolis, Mesquita, Queimados, São João de Meriti, Belford Roxo, Japeri, Magé, Paracambi e Guapimirim. Esses municípios somam mais da metade da população de todo o estado. Esses municípios fazem parte da maior aglomeração urbana na costa brasileira, a região metropolitana do Rio de Janeiro.

### 3.3 Impactos observados

Nos últimos anos, eventos de precipitação extrema ao redor do mundo têm se intensificado, causando impactos significativo nos sistemas ferroviários e nas operações de trens, além de acarretar custos locais significativos, como a inundação em Pori, na Finlândia, em 2007, que causou danos estimados em 20 milhões de euros, e em Dresden no ano de 2002, quando a estação central foi inundada e 20% da rede ferroviária em toda a Saxônia foi destruída. Os danos foram estimados em 800 milhões de euros (QUINN *et al.*, 2017).

O aumento da frequência e da intensidade desses eventos meteorológicos extremos tem suscitado preocupações globais devido aos graves males que acarretam para a infraestrutura ferroviária. Inundações resultantes de precipitações extremas representam um desafio considerável para a operação dos trens, comprometendo a segurança dos

passageiros e a eficiência do transporte ferroviário. Essas inundações têm sido objeto de inúmeros projetos de pesquisa e avaliação (KOSTIANAIA *et al.*, 2021).

De acordo com a União Internacional de Ferrovias, que é a *International Union of Railways* (UIC, 2023) em inglês, chuvas intensas e inundações subsequentes podem afetar a infraestrutura ao lavar o lastro, levando a falhas em pontos e equipamentos de sinalização, pois eles dependem de fiações intrincadas e fontes de energia. Isso também pode acarretar atrasos, pois os trens precisam reduzir sua velocidade para evitar descarrilamento quando o nível da água sobe acima dos trilhos.

As inundações e precipitações extremas, sobrecarregam os sistemas de drenagem ferroviária e podem provocar deslizamentos de terra devido ao excesso de precipitação, como pode ser visto na figura 24. Entre Áustria e Noruega, no primeiro semestre de 2023, uma ponte colapsou, decorrente do aumento do nível e correnteza do rio, contudo, a concessionária informou que a inspeção anual indicou que a ponte estava em boas condições.

De acordo com a Rail Tech.com, uma série de cinco projetos, sob o nome de Ferrovias Resilientes diante das Mudanças Climáticas, em inglês *Resilient Railways Facing Climate Change* (RERA), foi lançada, incluindo o RERA-chuva ou *RERA- Rain* em inglês, que começou em abril de 2022, iniciada pela UIC. No projeto, um dos objetivos é que os gestores de infraestrutura ferroviária participantes, como DB Fernverkehr, AG Swiss railway, ADIF (Administradores da Infraestruturas ferroviárias) e Network Rail, compartilhem conhecimento e experiência, após paralisações e interrupções decorrentes de eventos extremos de precipitação, como mostra a figura 24.



Figura 24: Ferrovias frente a eventos extremos de inundação

Fonte: Rail Tech.com

### 3.4 Caracterização da Infraestrutura ferroviária do Rio de Janeiro

Nesta seção, será apresentada uma análise das características da infraestrutura ferroviária na região, com especial atenção voltada para a sua fragilidade a eventos climáticos extremos, com ênfase nas ocorrências de inundação derivadas de precipitação extrema. Para enriquecer essa avaliação, visitas foram realizadas à infraestrutura, a partir das estações ferroviárias.

Como mencionado anteriormente, a infraestrutura ferroviária analisada atende 12 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Esses municípios abrigam uma população de mais de 10 milhões de habitantes, mais da metade de todo o estado, de acordo com dados do censo de 2022. No ano de 2022, um total de 97.535.160 passageiros foi transportado, resultando em uma média mensal de 8.127.930 pessoas, conforme as informações mais recentes disponíveis. Vale ressaltar que os registros públicos sobre o número de passageiros transportados começaram a ser divulgados em 2013, quando a companhia ferroviária registrou o transporte de 152.354.006 passageiros no ano, com uma média mensal de 12.696.167 pessoas. Esses números refletem uma redução gradual na média de passageiros ao longo do tempo, um fenômeno em parte relacionado aos

impactos da Pandemia de COVID-19 a partir de 2020, a qual afetou a demanda nos sistemas de transporte compartilhado.

Composta por um total de 104 estações, uma extensão de cerca de 270 quilômetros de trilhos e operando em 8 linhas, como detalhadas na Tabela 1, a ferrovia é operada pela SuperVia, Concessionária de Transporte Ferroviário S.A., com a Mitsui, uma empresa japonesa, como proprietária. Destaca-se que a Estação Central do Brasil, situada no coração do Rio de Janeiro, desempenha o papel de principal ponto de conexão e é uma das estações pioneiras na história da ferrovia. A maior parte das linhas percorre a cidade do Rio de Janeiro e, especialmente, a região das baixadas litorâneas.

Tabela 1: Linhas da infraestrutura ferroviária de passageiros

Linha	Terminais	Comprimento (km)	Estações
Deodoro	Central do Brasil ↔ Deodoro	23	19
Santa Cruz	Central do Brasil ↔ Santa Cruz	54,75	21
Japeri	Central do Brasil ↔ Japeri	61,75	17
Paracambi	Japeri ↔ Paracambi	8,26	3
Belford Roxo	Central do Brasil ↔ Belford Roxo	27,70	19
Saracuruna	Central do Brasil ↔ Gramacho Gramacho ↔ Saracuruna	34,02	20
Vila Inhomirim	Saracuruna ↔ Vila Inhomirim	15,35	8
Guapimirim	Saracuruna ↔ Guapimirim	17,3	19

Fonte: Supervia, 2023.

A infraestrutura enfrenta sérias deficiências, evidenciadas diariamente nas notícias veiculadas pelos principais veículos de comunicação. Um exemplo disso pode ser encontrado no título "CPI dos Trens da Alerj aponta pré-colapso da ferrovia", datado de 5 de setembro de 2022, e que foi elaborado por BARREIRA e LOUREIRO, da emissora Globo. Essa reportagem destaca a gravidade dos problemas que afetam o sistema ferroviário, reforçando a urgência de medidas para a sua reestruturação. Durante as visitas técnicas foi possível atestar que o estado da infraestrutura é tal que acarreta descarrilamentos, atrasos, cancelamentos, e até tragédias, com perda de vidas humanas.

A malha ferroviária é extensa e as informações são mais escassas, principalmente, quando fora do município do Rio de Janeiro. No anexo I, observa-se que grande parte das informações dos jornais são da capital. Algumas estações são dominadas pelo tráfico de drogas e observa-se a existência de passagens clandestinas, ou seja, buracos nos muros, onde as pessoas atravessam a via ou acessam as plataformas.

Pela extensão da ferrovia, a faixa de domínio é muito diversificada, como é mostrada na figura 25. Sabe-se que no início da cadeia montanhosa da Serra do Mar, a área é repleta de vegetação com potencial de incêndio, assim como árvores que além do potencial da queimada, correm risco de queda nos trilhos a partir de eventos extremos. A vegetação representa uma ameaça adicional ao sistema aéreo, já que, dependendo de sua altura, pode causar danos à fiação ao tombar. Em áreas mais próximas ao centro da região metropolitana, observamos que algumas faixas de domínio são ocupadas por habitações temporárias, que consistem em barracos de madeira ou lona, ou ocasionalmente, construções permanentes feitas de alvenaria.



Figura 25: Infraestrutura Ferroviária entre a estação Lages e Paracambi

Fonte: Google street view, 2022.

A drenagem da infraestrutura se mostra insuficiente para as precipitações que ocorrem atualmente, pois é possível observar alagamentos na via em alguns pontos. Mesmo quando não há enchentes, o acúmulo de água na faixa de domínio pode ser observado, como na figura 26. Em alguns pontos, a drenagem realizada por meio de calhas e canaletas

é imperceptível, já em outros, foi possível observar que as valetas estavam muitas vezes obstruídas, repletas de mato e lixo, resíduos de obras e pedaços de madeira, provenientes dos dormentes retirados da via, com o pode ser visto na figura 27. A seguir, a figura 26 mostra a via central alagada, a via à direita, aparentemente, com escoamento suficiente para a precipitação.

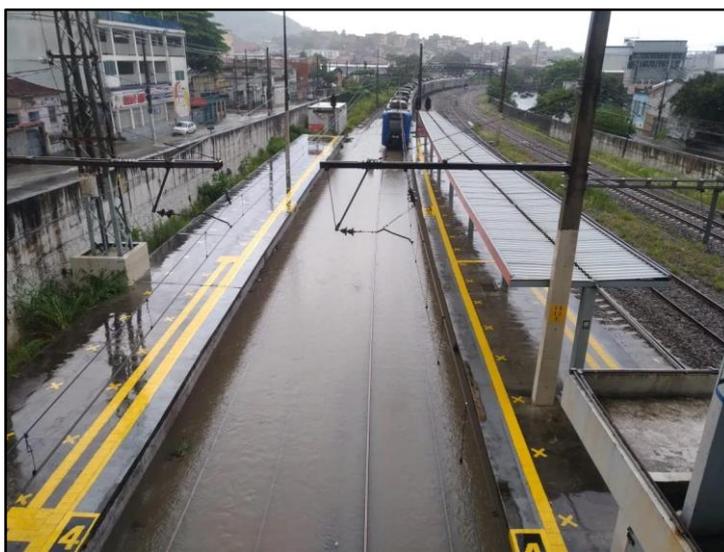


Figura 26: Alagamento na via

Fonte: Diário do transporte, 2020.



Figura 27: Valeta obstruída

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

As estruturas de engenharia civil, tais como pontes, viadutos, passarelas, e outras semelhantes, apresentam um estado de conservação crítico, com evidentes sinais de corrosão e oxidação (figura 28 e 29). Em diversos pontos, essas estruturas exibem vigas e postes de aço visivelmente afetados pela oxidação. Vale ressaltar que, em grande parte, esses postes são compostos de aço, o que aumenta a propensão à corrosão. Apesar de solicitações de informações à AGETRANSP, a entidade responsável, sobre as Obras de Arte Especiais (OAEs), a resposta obtida foi a de que não dispõem de dados disponíveis. Tal cenário destaca a necessidade urgente de atenção à manutenção dessas estruturas vitais.



Figura 28: Passarela danificada no centro de Nova Iguaçu

Fonte: Bom dia Rio, 2019.



Figura 29: Ferragens expostas no centro de Nova Iguaçu

Fonte: Bom dia Rio, 2019.

Por meio dessa análise qualitativa e visitas a infraestrutura a partir das estações, percebe-se que as plataformas se encontram em estado muito precário e até descumprindo normas

como a referente aos painéis eletrônicos estipulados desde a Lei Estadual nº 5.274/2008, que predita a distância entre os trens e plataforma, vãos das plataformas etc. Nos trilhos, faltam parafusos devido a corrosão ou furto e, como consequência, a locomotiva perde parte da estabilidade e aumentando assim os riscos de descarrilamento. A imagem 30 retrata a estação de Benjamin do Monte, situada no ramal Santa Cruz, onde parte da plataforma cedeu. O local foi isolado devido à clara necessidade de reparos urgentes e manutenção em toda a infraestrutura.



Figura 30: Plataforma da Estação Benjamin do Monte

Fonte: Acervo Pessoal, 2022.

Os dormentes utilizados no sistema ferroviário do Rio de Janeiro são de concreto ou madeira. No entanto, tanto os dormentes de madeira como os de concreto estão vulneráveis ao intemperismo químico e físico. Como diferencial, a literatura mostra que os dormentes de concreto têm uma maior durabilidade enquanto os de madeira têm uma vida útil menor do que o de concreto.

A infraestrutura ferroviária possui 79 por cento dos dormentes em madeira, segundo a lei de acesso à informação de acordo com dados da AGETRANSP (2022). As figuras 31 e 32 mostram o estado de conservação de alguns dormentes na estação Santa Cruz. Além disso, ocorrências levantadas nos documentos da AGETRANSP apontam problemas na

estrutura dos telhados, tanto em estações na capital quanto em estações mais distantes da capital fluminense.

A via permanente inclui os trilhos, os grampos que prendem os trilhos ao dormente e os parafusos que reforçam essa ligação, todo esse material, menos os dormentes são compostos de aço, estando suscetíveis a exposição ao calor, ao frio, ou a umidade que interferem no material. Tanto a dilatação no calor e a contração no frio, quanto o contato com a umidade causam corrosão por oxidação do aço (ASSIS, 2017). As dilatações e a oxidação quando elevada, diminuem a vida útil do material, podendo causar o descolamento dos dormentes dos trilhos, o que, por sua vez, tira a estabilidade das composições.



Figura 31: Dormentes rachados na Estação de Santa Cruz

Fonte: Acervo pessoal, 2022.



### Figura 32: Grampos oxidados na Estação de Santa Cruz

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Subleito é como é referido o solo onde a ferrovia se encontra sobreposto. Para fins de especificação, os subleitos da linha ferroviária não serão estudados neste trabalho, pois tratam-se de solos altamente antropizados de uma região (Rio de Janeiro) com predominância de dois tipos de solos latossolos: cambissolos e argissolos, os quais são encontrados em relevos fortes, ondulados e montanhosos e, por isso, suscetíveis à erosão, tal qual os planossolos encontrados em cotas baixas, planas, de suave ondulação de drenagem imperfeita, pouco permeáveis, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2023) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023).

Abordando mais especificamente os aspectos do tráfego, a ferrovia regularmente transportava pouco menos de meio milhão de passageiros diariamente, antes do impacto da pandemia, conforme mencionado anteriormente. Entretanto, esse número foi reduzido pela metade durante a pandemia. Importa ressaltar que, não estão disponibilizados os dados do peso das composições, assim como a idade dos ativos ou a velocidade máxima autorizada. No entanto, a figura 5, no subcapítulo 2.1, ilustra a densidade populacional nas proximidades das estações, o que fornece uma indicação crucial do risco associado. Quanto maior o número de pessoas potencialmente afetadas por impactos de inundação decorrentes de chuvas extremas, pior é o risco da região de ser afetada, pois mais vidas estão em risco.

Em conclusão, análises qualitativa e quantitativa revelam uma imagem abrangente e preocupante da infraestrutura ferroviária no Rio de Janeiro. Embora se trate de uma rede extensa e uma parte essencial do transporte público na região metropolitana, a infraestrutura ferroviária enfrenta desafios sérios, como condições críticas de manutenção, ocupações irregulares e problemas ambientais. A ausência de informações precisas e a falta de manutenção adequada emergem como questões urgentes a serem abordadas para garantir a segurança e a eficiência deste meio de transporte fundamental na região.

#### 4. Análise de risco de inundação do sistema de transporte ferroviário no município do Rio de Janeiro

Neste capítulo, é apresentado o procedimento de análise de risco de inundação das estações. Para isso, foram explorados indicadores de risco climático associados às áreas das estações do sistema ferroviário no município do Rio de Janeiro. A análise é dividida em quatro indicadores: altimetria, eventos de precipitação acima de 50 milímetros, proximidade com corpos d'água e a porcentagem de área urbanizada. Examinamos esses indicadores e sua contribuição para a compreensão do potencial de inundação em locais específicos. A análise é complementada e finalizada pela aplicação do método ELECTRE, que classifica as estações com base nesses indicadores, proporcionando uma visão do risco de inundação e paralisações associadas às condições geográficas e climáticas na região.

##### 4.1 Indicadores de Risco Climático

Esta seção apresenta os indicadores de risco de inundação discutidos e avaliados neste trabalho. Os indicadores, separadamente, trazem bastante informações sobre o ambiente onde as estações do sistema ferroviário se encontram. A avaliação desses indicadores de forma conjunta demonstra o potencial risco. Neste contexto, quatro indicadores foram utilizados para elaborar o risco de inundação nas estações que são: altimetria, eventos de precipitação acima de 50 milímetros, proximidade com corpos d'água e a porcentagem de área urbanizada. Cada um desses indicadores contribui de maneira única para a compreensão do potencial de inundação em uma estação ou local específico. Nos próximos tópicos, serão examinados cada um desses indicadores, destacando como eles se relacionam com o risco de inundação e como sua análise pode ser fundamental para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e prevenção de desastres.

###### 4.1.1 Pluviosidade

O regime de chuvas é fundamental para compreender as inundações e paralisações na ferrovia que são tratadas neste trabalho. O clima e a carga transportada são os dois

maiores causadores de degradação nas ferrovias (FRANÇOISE e DEMIREL., 2012). Essa subseção trará à luz a pluviosidade da região e como esse regime atinge a infraestrutura, uma vez que o regime de chuvas está diretamente relacionado com o clima da região, assim como a geomorfologia.

O município do Rio de Janeiro está localizado em uma faixa de clima tropical, ou seja, quente e úmido, marcada por fortes precipitações no verão e aumento da temperatura. Entre os meses de novembro a março ocorrem 81,3% das precipitações anuais e nos meses de inverno há uma queda na temperatura dando lugar a períodos mais secos ou com pouca precipitação (AMORIM *et al.*, 2014) . Esse regime de chuvas também é observado no estudo histórico de precipitação mensal, realizado entre 1961 e 1990, por DEREZYNSKI *et al.* (2017). As conclusões obtidas foram ratificadas a partir das análises dos dados de precipitação dos últimos anos e podem ser vistas no gráfico, apresentado na figura 33 e no anexo II.

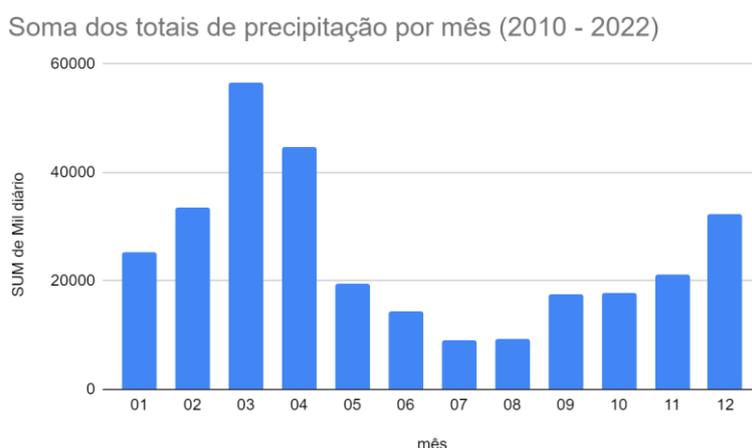


Figura 33: Soma dos totais de precipitação por mês

Fonte: elaboração própria, 2023.

O estudo elaborado por CLAUDINE DEREZYNSKI *et al.* (2009) aponta que as máximas de precipitação são próximas aos maciços<sup>1</sup>. Isso se explica ao observar que, muitas vezes, grandes montanhas são barreiras geográficas e devido à altitude impedem que as nuvens densas as ultrapassem, conseqüentemente fazendo com que a precipitação ocorra após o contato com a barreira geográfica, em apenas uma das vertentes do maciço.

---

<sup>1</sup> Maciços são formações geológicas de grande extensão composta por rochas sólidas.

A pesquisa de DEREZYNSKI *et al.* (2009) aponta que nas áreas de planície, onde a maior parte da população vive, localizada a oeste da baía de Guanabara, e na vertente norte do maciço da Pedra Branca e do maciço da Tijuca há totais inferiores aos comparados às áreas próximas aos maciços. No verão, as precipitações são mais intensas nessa área, o que provavelmente se dá pelo caráter convectivo da precipitação e é intensificado pela brisa marinha. O ar aquecido e a umidade tendem a subir e por serem menos densos, formam nuvens. Já nas áreas de maior altitude e menos quentes, ocorre a condensação e, em seguida, a precipitação. Como consequência, as precipitações duram menos tempo, também por ser um processo diário com precipitações frequentes no final da tarde.

As análises das precipitações que atingiram a infraestrutura de trens urbanos aumentando o risco de paralisações, feitas por estações pluviométricas, mostram a variabilidade pluviométrica dessa região. É possível observar no anexo II, o total de precipitações diárias com diferenças discrepantes nas regiões. Exemplo disso é a ocorrência de paralisação dos serviços no dia 13 de março de 2016, ocasionado devido à precipitação, que atingiu o volume total diário de 431,2 milímetros no grande Méier, 17,6 milímetros em Madureira e 2 milímetros em Campo Grande, atestando o caráter variável do município do Rio de Janeiro, descrito por DEREZYNSKI *et al.* (2009).

Como já mencionado, as paralisações mostram-se diretamente relacionadas às precipitações extremas. Embora os relatos coletados da agência reguladora (AGETTRANSP) sejam bem generalistas, é sabido, com base no estudo realizado pelo U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION E PELA ICF INTERNATIONAL (2014), que alguns problemas são decorrentes das precipitações extremas, as quais não eram previstas quando a infraestrutura foi instalada. Dentre esses problemas temos: Danos aos equipamentos elétricos como postes, fios, caixas de sinalização; transporte de material de aterro devido à erosão e sobrecarga nos dispositivos de drenagem; exposição das fundações da ponte, podendo levar ao colapso da estrutura e risco de descarrilamento; deslizamento de massa de solo e rocha mais frequentes e riscos associados que podem causar descarrilamento; e danos às camadas do pavimento ferroviário, como colmatação do lastro com material carreado e desguarnecimento do lastro pelo transporte do material granular.

Os eventos de precipitação são considerados extremos quando o total pluviométrico diário é maior ou igual a 50 milímetros, segundo TEIXEIRA E SATYAMURTY (2007), contudo, DEREZYNSKI *et al.* (2009), compreenderam como eventos extremos 30 milímetros diários, porém em estudo mais recente DEREZYNSKI *et al.* (2017) classifica como evento extremo quando há danos à população local e quando o total pluviométrico diário é maior ou igual a 100 milímetros. Neste trabalho, utilizaremos o critério de precipitação diário de TEIXEIRA E SATYAMURTY (2007), portanto 50 milímetros, pois precipitações com valores inferiores a 50 milímetros já causam danos à população, como a paralisação do sistema ferroviário.

A figura 34 apresenta a soma dos eventos de precipitação entre os anos de 2010 e 2022, porém, apenas as precipitações com mais 50 milímetros dentro de 24 horas. Nos anos de 2010 e 2013 houve 150 eventos extremos de precipitação, nos anos de 2011 e 2012 a média de eventos extremos foi menor, máxima de 100. Entre os anos de 2014 e 2018 a média de eventos extremos ficou entre 100 eventos e 60 ao ano. Nos últimos 4 anos, a partir de 2019, a cada ano foram registradas mais de 160 ocorrências de eventos extremos de precipitação ao ano. Pode ser observado, ainda, que houve um aumento considerável em tais registros. Contudo, vale lembrar que estudos sobre mudanças no regime de precipitações requerem uma escala temporal maior. Mas cabe expor esses dados, uma vez que esse trabalho busca apontar a relação dos eventos de inundação relacionados a precipitação extrema e as paralisações no sistema ferroviário.

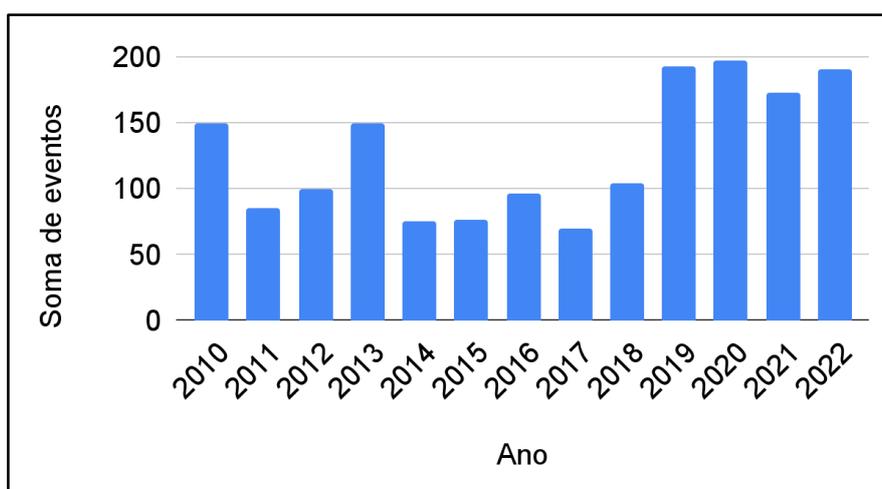


Figura 34: Soma dos eventos extremos por ano

Fonte: elaboração própria, 2023.

#### 4.1.2 Topografia

É fundamental compreender a topografia da região estudada, pois o risco da infraestrutura frente às mudanças climáticas está ligado à topografia acidentada. O município do Rio de Janeiro está margeado ao norte pelo Maciço do Mendanha (Gericinó), de altitude superior a 800 metros acima do nível do mar, um maciço montanhoso cuja vertente, em parte, drena para a baía de Guanabara. O Maciço da Tijuca, também se trata de um maciço com picos que chegam a 1021 metros de altitude acima do nível do mar. Por último, o Maciço da Pedra Branca, conta com picos que chegam até a 1024 metros de altitude. Ambos com as mesmas características de drenagem do Maciço do Mendanha.

Os maciços que formam a geografia do Rio de Janeiro têm alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, principalmente pela perda da cobertura florestal e intensa ocupação urbana (CPRM, 2000). A maior parte da ocupação urbana ocorre nas áreas de planícies e morros que não passam de 300 metros de altitude, onde o sistema de ferrovias está localizado, como pode ser visto na figura 22, no capítulo 3. As áreas mais baixas são mais predispostas a sofrerem inundações, principalmente quando se encontram próximas à área de escoamento das montanhas.

As ferrovias foram construídas historicamente em locais baixos e de fácil acesso de acordo com CHEETHAM *et al.* (2016). Com a ferrovia do Rio de Janeiro não foi diferente. Construída no final do século XIX, o ramal que está inteiramente no município do Rio de Janeiro, completou em 2023, 145 anos de funcionamento. A proximidade da infraestrutura com os rios e a baixada, mostra uma probabilidade de enchentes e inundações. As áreas de baixada no Rio de Janeiro, são áreas de mangue que foram aterradas, por isso, a inundação em alguns locais era comum, mesmo antes de receberem a infraestrutura. Mas o aumento do contingente populacional, somado à impermeabilização do solo, aprofundou o risco.

#### 4.1.3 Estações ferroviárias subterrâneas

A partir das informações coletadas, verificou-se que as estações ferroviárias que possuem passagens subterrâneas, como as estações de Olaria, Penha Circular e São Francisco

Xavier (figura 35 e 36), são frequentemente afetadas por inundações, o que resulta em interdições prolongadas de suas operações. No entanto, é importante ressaltar que, dentro desse conjunto de estações, a estação de Penha Circular não se encontra em proximidade dos rios ou dentro dos leitos, o que seria um agravante nas inundações, contudo, trata-se de uma estação localizada em uma área de baixada, e há indícios de que os sistemas de drenagem adequados possam ser insuficientes.

Um exemplo de inundação na estação de São Francisco Xavier foi registrado em 13 de fevereiro de 2019, resultando na interrupção das atividades por aproximadamente 10 minutos (Anexo D). Vale ressaltar que essa estação é a mais próxima da estação pluviométrica de São Cristóvão. No referido dia, foi registrada uma precipitação de 50,4 milímetros de chuva, considerada como um valor extremo em diversos estudos. Na mesma data, a estação pluviométrica do grande Méier registrou em 24 horas um total acumulado de 28,4 milímetros. É importante ressaltar que a estação de São Francisco Xavier está localizada entre a cota de 10 e 20 metros acima do nível do mar e está entre dois morros onde as cotas estão acima de 100 metros, o que indica que a chuva que precipita do lado do morro em que a cota é maior deságua na parte entre os morros, local onde a passagem subterrânea está localizada.

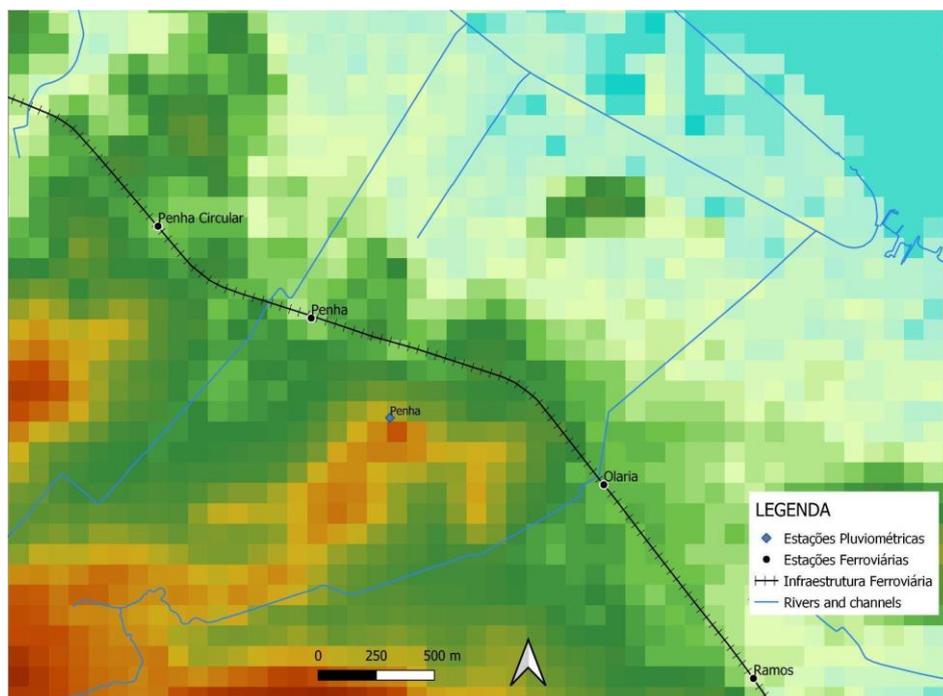


Figura 35: Estação Olaria e Penha Circular

Fonte: elaboração própria, 2023.

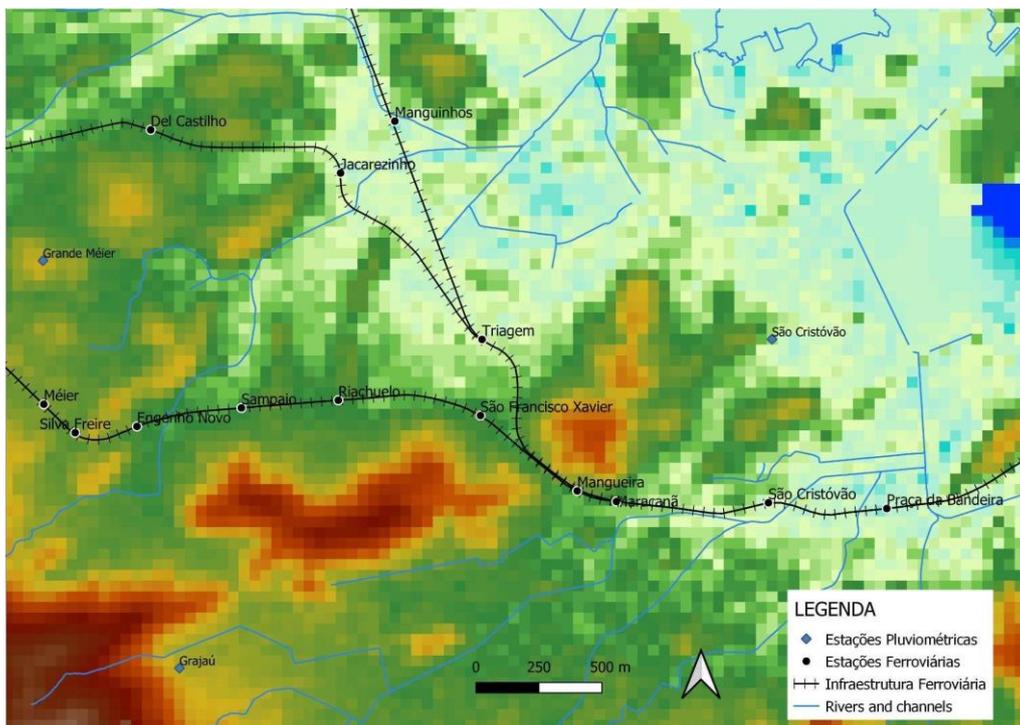


Figura 36: Estação São Francisco Xavier

Fonte: elaboração própria, 2023.

No dia 13 de março de 2019, na estação pluviométrica da Penha, acumulou-se, em 24 horas, 113,2 milímetros de precipitação. A referida estação está situada a menos de 1 quilômetro de distância da estação de trem Penha Circular, onde o acesso à plataforma é feito através de um túnel abaixo do nível da rua e no dia 14 de março de 2019, foi fechada, por causa da chuva do dia anterior. Essa estação não é tão próxima ao rio, mas está localizada entre a cota de 10 e 20 metros acima do nível do mar, próxima da Baía de Guanabara, área antes pantanosa, propícia à inundação, além do volume de chuva que foi acima de 100 milímetros.

#### 4.1.5 Área Urbanizada

A área urbanizada desempenha um papel fundamental na compreensão do risco de inundação em uma região, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, como é o caso do Rio de Janeiro. A área urbanizada é caracterizada por locais onde o solo é amplamente impermeabilizado com concreto e asfalto de acordo com o mapeamento de uso do solo, conforme aponta o DATARIO (2019), criando uma situação em que a

precipitação de chuva tem dificuldade em ser absorvida pelo solo natural e aumentando o escoamento superficial.

A figura 37 mostra através de um gráfico a diferença do escoamento d'água em uma área antes e depois de ser urbanizada. Isso se deve à atividade antrópica, à concentração de ocupações e à impermeabilização do solo, o que reduz a infiltração da água no solo. Em vez disso, a água da chuva flui rapidamente em direção aos rios e áreas mais baixas, aumentando significativamente o risco de inundação. Todas as estações descritas nesta dissertação estão em áreas antropizadas com um grande contingente populacional, e, em muitos casos, em locais com o solo altamente impermeabilizado.

Os rios que aparecem nos mapas foram parciais ou totalmente retificados, uma prática comum em áreas urbanizadas, frequentemente motivada pela expansão das áreas urbanas para a construção de edifícios, estradas e outras infraestruturas. Inicialmente, esses rios seguiam cursos sinuosos, de acordo com a topografia natural da região. No entanto, as intervenções de engenharia, embora em alguns casos destinadas a reduzir a erosão e controlar inundações, podem inadvertidamente aumentar o risco de inundação em trechos retificados. Isso ocorre porque a água flui de maneira mais rápida e direta, sem os meandros naturais que atuavam como amortecedores naturais e delimitavam uma calha de rio maior.

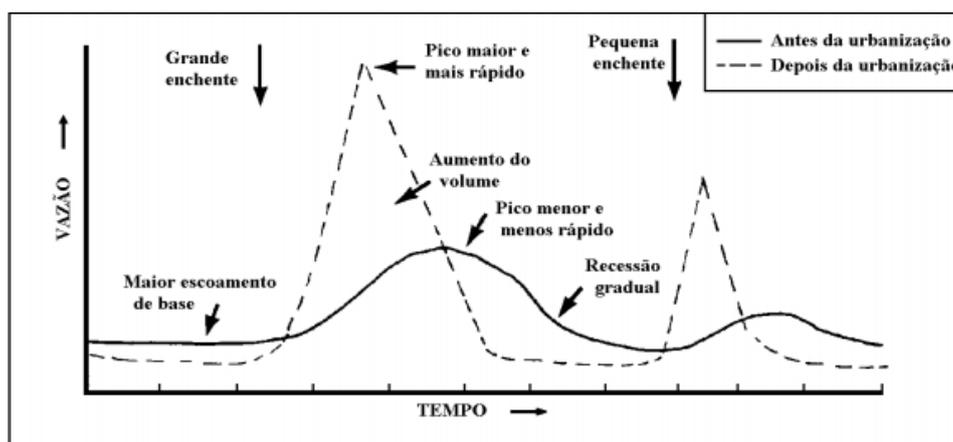


Figura 37: Comparação do tempo e vazão do Escoamento na superfície urbanizada e rural

Fonte: Tucci, 1997.

#### 4.1.4 Proximidade com corpos hídricos

Paralelamente à explanação sobre a área urbanizada, a infiltração no solo e o escoamento superficial, abordada anteriormente, é crucial considerar o impacto adicional desse processo, que se estende para além da modificação do curso dos rios. A retificação não apenas altera a paisagem fluvial, mas também tende a promover construções nas áreas que primariamente eram os leitos dos rios, como pode ser visto na figura 6, no capítulo 2. A ocupação de áreas que originalmente deveriam ser preservadas por fazerem parte do corpo hídrico aprofundam os riscos de inundações nas construções que se avizinham aos rios.

A figura 38 destaca o rio na região hachurada, acompanhado das cotas um e dois, que representam o leito maior e o leito menor, respectivamente. Essas áreas fazem parte do corpo hídrico, apesar de que podem permanecer desocupadas durante a maior parte do ano. Em 2012, uma legislação de preservação dos rios foi aprovada, estabelecendo as Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Esta legislação designou uma faixa mínima de 30 metros de largura em cada lado dos cursos d'água com menos de 10 metros de largura, como área de preservação permanente. De acordo com o Artigo 3º, as APPs têm a função ambiental de conservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, de promover o fluxo da fauna e flora, de proteger o solo e de garantir o bem-estar das comunidades humanas.

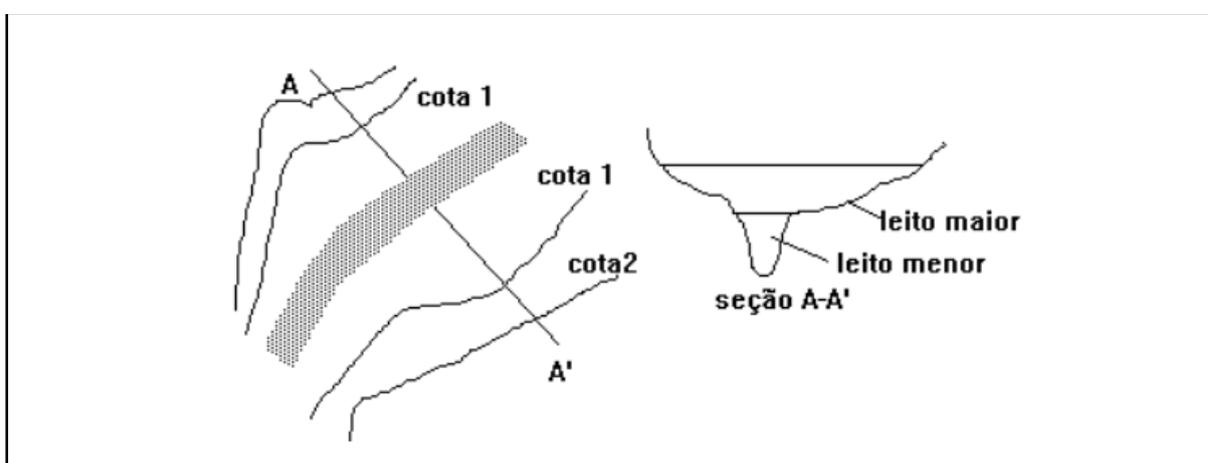


Figura 38: Esquema longitudinal de um rio e sua cota

Fonte: Tucci, 1997

A estação de Manguinhos do ramal Saracuruna foi construída dentro da área que deveria ser de preservação permanente, do rio Faria Timbó. Atualmente, a infraestrutura suspensa cruza o rio (figura 39), contudo, a estação e toda sua infraestrutura até o início dos anos 2000, estava localizada próxima ao solo, cruzando o rio, há poucos metros do corpo hídrico, em torno de 35 metros de distância da borda do rio em dias secos, ou seja, dentro da área de preservação permanente. Devemos levar em consideração que essa estação (figura 39) foi inaugurada em 1886 antes da lei de APPs ser posta em vigor. Da mesma forma, é importante dizer que em 1886 a porcentagem de urbanização era muito menor do que é hoje nesse aglomerado urbano, o que pode ser observado através da taxa do contingente populacional, que era de 522 mil habitantes em 1890 (FAUSTO, 2012), ou seja, menos de 8% da população atual, que é de 6,748 milhões de habitantes.



Figura 39: Estação de trem de Manguinhos e o corpo hídrico

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A figura 40 exibe a estação de Olaria, localizada nas proximidades do rio Nunes, dentro da área que deveria ser de preservação permanente, altamente urbanizada, entre as cotas de 10 e 20 metros acima do nível do mar e a menos de 2 km de proximidade com a Baía de Guanabara. A estação pluviométrica mais próxima é a estação da Penha, que pode ser identificada na figura 40. É relevante destacar que, embora na figura a estação seja

representada como um ponto, na realidade, ela abrange uma área de aproximadamente 200 metros e tem uma forma retangular. No caso da estação de Olaria, o rio Nunes é coberto, por isso, não é visível nas imagens de satélite.

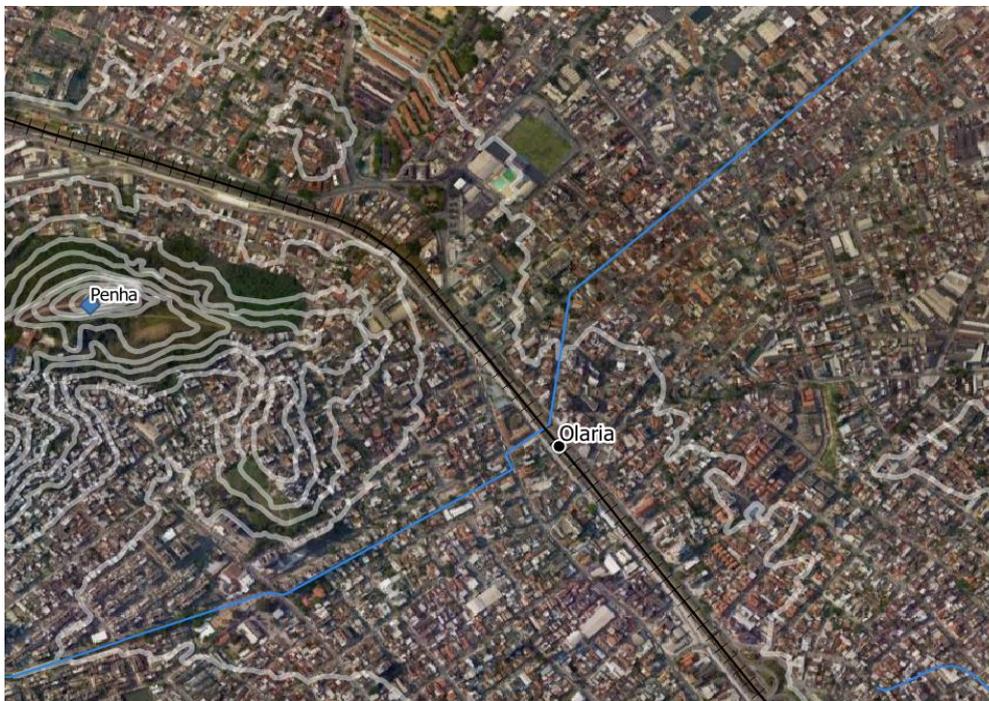


Figura 40: Estação ferroviária de Olaria

Fonte: elaboração própria, 2023.

Na figura 41, é apresentada a estação de Olaria na data de 18 de janeiro de 2013, quando o total de precipitação acumulada foi de 10,8 milímetros. No entanto, é relevante destacar que a inundação foi desencadeada pelo acúmulo da precipitação do dia anterior, em 17 de janeiro de 2013 (Anexo II), quando foram registrados 47,8 milímetros de chuva. Esse exemplo ressalta que longas interrupções podem ocorrer mesmo com níveis altos, mas não extremos de precipitação. No caso mencionado, a estação estava fechada às 9h30 do dia 18 (Anexo I).

Em 6 de março de 2019, uma quarta-feira, a estação de Olaria permaneceu fechada, e o que chama a atenção é que nesse dia não houve registro de precipitação, conforme indicado pela estação pluviométrica da Penha. No entanto, no dia 3 de março de 2019, ocorreu um acúmulo de precipitação de 272,8 milímetros em um período de 24 horas. Além disso, as estações pluviométricas próximas indicam que os dias 1º, 2 e 3 de março foram os que registraram maior acúmulo de chuva dentro de 24 horas no ano de 2019.

Isso sugere que a água demorou vários dias para escoar e ser absorvida pelo solo, destacando a carência de sistemas de drenagem adequados e a saturação do solo na região.

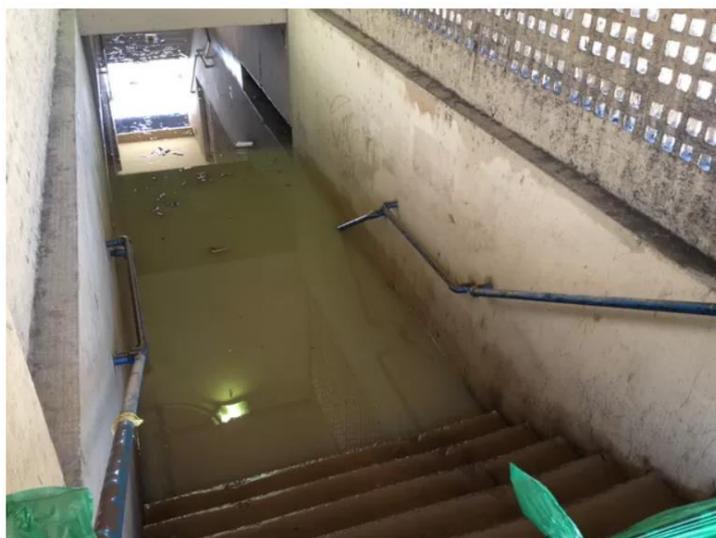


Figura 41: Passagem subterrânea da estação de Olaria alagada

Fonte: Janaína Carvalho, G1, 2019.

A análise do histórico das precipitações acumuladas na estação pluviométrica da Penha, próxima a estação de trem de Olaria (figura 38), revelam que aproximadamente 36% das chuvas ocorridas entre 2010 e 2012 foram iguais ou excederam os 50 milímetros, resultando em uma média de cerca de 12 dias de paralisação por ano, uma por mês. Vale ressaltar que, embora neste estudo tenha sido utilizada a referência de 50 milímetros como critério para definir chuvas extremas, chuvas com volumes menores podem igualmente resultar em paralisações no sistema ferroviário.

A ocorrência de inundação nessa área está intimamente relacionada à altimetria do túnel, que se encontra abaixo do nível da rua, tendo a topografia da estação variando entre 10 e 20 metros acima do nível do mar, o que exerce uma influência direta nas inundações, uma vez que terrenos mais baixos dificultam o escoamento da água. A precipitação pluviométrica desempenha um papel fundamental, e a proximidade com o corpo hídrico, mesmo que esteja contido em tubulações, se manifesta de forma evidente em dias chuvosos, visto que a área urbanizada abrange cerca de 87% da região.

Ao analisar o Anexo I, que apresenta registros de paralisações no sistema ferroviário, é evidente que as estações ao longo do ramal Saracuruna têm um maior número de

interrupções. Por essa razão, foi decidido direcionar uma atenção mais minuciosa a essas estações, como evidenciado nas figuras 39 e 40. O Anexo I revela eventos de paralisação em diversas ocasiões, frequentemente associados a acumulações de chuva inferiores a 50 milímetros, nas estações de Olaria, Penha Circular, Mangueiras e Triagem, áreas altamente urbanizadas e em baixa altimetria.

O risco enfrentado pelas estações ferroviárias está intrinsecamente ligado aos impactos das chuvas, ao ambiente construído e à condição da infraestrutura. A falta de manutenção adequada contribui para o risco do sistema. Em resumo, a infraestrutura ferroviária no Rio de Janeiro enfrenta desafios consideráveis devido ao aumento e à intensificação das chuvas. Medidas de aprimoramento e adaptação são necessárias, e essas serão abordadas nas seções subsequentes.

#### 4.2 Aplicação do método ELECTRE nos indicadores do risco climático

Para analisar o risco das estações ferroviárias frente às inundações foi utilizado o método multicritério ELECTRE. Esse método foi aplicado para examinar as estações com base em diferentes critérios, sendo eles altimetria, eventos de chuva acima de 50 milímetros, proximidade de corpos d'água e porcentagem de área urbanizada. A altimetria é a altura do local onde as estações do sistema ferroviário de passageiros estão localizadas, usando como referência o nível zero do mar, os eventos de chuva foram os coletados através das estações pluviométricas que estão em um raio de até 3 km das estações ferroviárias, para os corpos d'água um buffer de 30 metros foi realizado para medir a distância entre as estações ferroviárias e os corpos d'água de acordo com a Lei n. 12.651/2012 que cria as áreas de preservação permanente, e a porcentagem de áreas urbanizadas que grande parte do solo é impermeabilizado, impedindo a infiltração natural da água. Em seguida, esses indicadores foram normalizados e ponderados para garantir uma análise equilibrada, com base no método ELECTRE.

A tabela 2 apresenta uma visão objetiva dos dados coletados e analisados durante a pesquisa. Cada linha representa uma estação de trem e as colunas os indicadores com seus respectivos valores e pesos, permitindo uma análise comparativa dos quatro indicadores. Além disso, é importante destacar que os dados contidos nessas colunas representam os valores iniciais, antes da normalização e a partir dos valores e pesos dos critérios, o

ranking das estações que estão em maior risco pode ser elaborado, permitindo assim analisar e classificar os níveis de risco associados a cada estação de trem.

Tabela 2: Indicadores e pesos

Estação de Trem	Altimetria	Eventos acima de 50 mm	Proximidade com corpos d'água	Porcentagem de área urbanizada
Manguinhos	4	94	1	93,9
Praça da Bandeira	6	59	0	61,5
Bonsucesso	8	193	0	87,6
Pesos	7	3	4	5

Fonte: elaboração própria, 2023.

O ranking (tabela 3) foi elaborado a partir da análise com o método ELECTRE, com apenas as 9 primeiras estações (o resultado completo consta no anexo III). A tabela 3, compara o ranking do método ELECTRE com a realidade observada e oferece duas informações elaboradas de forma distinta. O primeiro é baseado no método ELECTRE, uma abordagem complexa que utiliza critérios múltiplos para classificar as estações. O segundo ranking é derivado das paralisações ocorridas de 2010 a 2022 devido a eventos extremos de precipitação.

O método ELECTRE demonstrou uma considerável acurácia, atingindo aproximadamente 58% de precisão ao analisar o risco de inundações, levando em consideração o espaço geográfico, comparado com a soma das paralisações ocorridas nos últimos 12 anos. Vale ressaltar que, devido a possíveis subnotificações, o número real de paralisações pode ser ainda maior do que o registrado nos últimos anos, o que também poderia aumentar o nível de acerto do método ELECTRE. Além disso, o método identificou as áreas com maior risco, mas é importante observar que a manutenção da infraestrutura é um fator fundamental que este estudo não abordou de forma individual para cada estação e aprofundada, pela escassez dos dados. No entanto, cabe notar que o ranking de paralisações não inclui situações em que todas as estações foram afetadas por chuvas. Esses rankings fornecem uma visão das estações mais suscetíveis a interrupções devido a eventos climáticos de acordo com o espaço que estão inseridas, bem como da eficácia do método ELECTRE na avaliação de riscos das estações ferroviárias.

Os resultados apresentados na tabela 3, estão intimamente vinculados à geografia dos locais onde as estações estão inseridas, isto porque o resultado do ranking é baseado nos

indicadores geográficos. Para ilustrar, considere a estação de Olaria, que não apenas está localizada a uma altitude relativamente baixa, cerca de 16 metros acima do nível do mar, mas também está em estreita proximidade com um curso d'água. Mais precisamente, esse corpo d'água passa sob a plataforma da estação, com sua passagem subterrânea nas imediações do rio. Além disso, a quantidade de eventos climáticos extremos registrados nos últimos 12 anos atingiu a marca de 193 ocorrências. Observa-se também que cerca de 87% de sua área está urbanizada. Dados complementares da tabela 3 podem ser encontrados no anexo III.

A estação de Marechal Hermes, embora também esteja localizada em uma altitude significativamente baixa, com aproximadamente 17 metros, se destaca pelo maior número de eventos de precipitação extrema (eventos acima de 50mm), totalizando 250 nos últimos anos. Além de estar construída em cima de um corpo d'água, assim como a estação de Deodoro. Essa observação pode ser corroborada pelos eventos extremos de precipitação apresentados no anexo II, que exhibe dados da estação pluviométrica de Anchieta e outras estações pluviométricas próximas a estações de trem.

Por fim, a estação de Manguinhos é a que apresenta a menor altitude, com apenas 4 metros, embora tenha registrado um número comparativamente menor de eventos extremos, totalizando 94 ocorrências. No entanto, Manguinhos também está situada em proximidade com corpos d'água e exhibe uma taxa de urbanização de aproximadamente 93%, o que contribui para seu perfil de risco, porém é importante ressaltar que a infraestrutura é crucial para a avaliação de risco, como será abordado sobre a estação de Manguinhos no capítulo 5.

Tabela 3: Ranking e comparação das estações ferroviárias após o método ELECTRE e as paralisações por inundação

Ranking	Estações	Paralisações (2010 á 2022)	Estações	Resultado do método electre
1	Olaria	5	Olaria	37
2	Bonsucesso	4	Manguinhos	27
3	Manguinhos	3	Bonsucesso	27
4	Penha Circular	3	Pavuna	26
5	Vila Militar	3	Barros Filho	22
6	Barros Filho	2	Ramos	20
7	Costa Barros	2	Costa Barros	19
8	Pavuna	2	Penha Circular	18
9	Ramos	2	Vila Militar	18

Fonte: elaboração própria, 2023.

## 5. Proposta de medidas de adaptação para o transporte Ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro

Neste capítulo é apresentada uma proposta de medidas de adaptação para o transporte ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro, de forma a fornecer subsídios aos tomadores de decisão e planejadores de transportes na busca por soluções aos problemas identificados e discutidos nesta dissertação. Esse é o capítulo onde o trabalho se propõe a agregar o conhecimento acumulado na tentativa de beneficiar o funcionamento do sistema ferroviário local a partir da compilação de dados. As medidas de adaptação serão, então, discutidas e apontadas com base na revisão da literatura internacional e nacional estudada. A adaptação é fundamental para que o sistema continue funcionando e servindo a milhares de pessoas, sem desconsiderar os impactos relacionados às mudanças do clima.

De acordo com o IPCC, a adaptação é compreendida como um processo de ajuste em sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados e seus efeitos, que moderam ou evitam danos ou exploram oportunidades benéficas” (IPCC, 2007). Com base nisso, entende-se que a adaptação auxilia comunidades a realizarem mudanças para reduzir os danos causados pelos impactos biofísicos. O relatório final das vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas, a respeito da região metropolitana de São Paulo (NOBRE *et al.*, 2011) se refere às medidas de adaptação como ações que buscam a assimilação dos impactos biofísicos, permitindo, assim, a convivência com tais impactos.

O IPCC (2014) relata que alguns governos na América do Norte estão usando da adaptação para proteger investimentos a longo prazo, como investimentos em energia e infraestrutura pública. Analisar a importância da prevenção, sobretudo na mitigação de danos que possam afetar investimentos de longo prazo, é fundamental. A adoção de medidas de adaptação torna-se essencial para proteger e preservar tais investimentos ao longo do tempo.

Dentre as medidas de adaptação disponíveis, destacam-se as medidas legislativas, educativas e socioambientais, entre outras. No entanto, para prevenir as perdas materiais decorrentes de eventos climáticos extremos, é necessário considerar medidas estruturais,

também conhecidas em inglês como "hard adaptation". Tais medidas envolvem a construção ou modificação de infraestruturas físicas, como sistemas de drenagem, proteção costeira, entre outras, que visam minimizar os impactos das mudanças climáticas. É importante destacar que a implementação de medidas estruturais deve ser feita em conjunto com outras medidas de adaptação, a fim de garantir uma abordagem integrada e efetiva na adaptação às mudanças climáticas.

Como mencionado, existem exemplos de caso de sucesso para inspirar as adaptações no sistema ferroviário, um deles é no próprio sistema ferroviário do Rio de Janeiro. Foi realizada uma intervenção, hard adaptation, na estação de Manguinhos, com o objetivo mitigar os impactos das inundações ocorridos na linha férrea. Pois a estação em questão está em uma área extremamente baixa e muito próxima da calha do rio, por isso foi efetuada uma grande obra de engenharia, para suspender a estação de Manguinhos, que costumava enfrentar recorrentes paralisações em decorrência da inundação.

De acordo com os dados obtidos com a lei de acesso a informação, antes da obra o ramal era paralisado diversas vezes (figura 42) por inundação na via da estação de Manguinhos, contudo, através do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), em 2012 a adaptação da estação foi realizada, a partir da elevação da estrutura (figura 43), o que demonstrou eficácia a partir da comparação dos dados dos últimos anos. Essa adaptação é um exemplo prático de como medidas estruturais ou *Hard adaptation*, podem ser adotadas para combater os desafios causados pelas condições climáticas.



Figura 42: Estação de trem de Manguinhos em 1959

Fonte: Giesbrecht., 2021.



Figura 43: Estação de trem de Manguinhos suspensa

Fonte: Google Maps, 2023.

É fundamental ressaltar a importância de uma análise criteriosa tanto dos fatores de risco climático quanto dos aspectos relacionados à infraestrutura ao planejar medidas de adaptação adequadas. Através da compreensão detalhada desses critérios, tornou-se viável a quantificação dos riscos, um passo imprescindível para a proteção e a asseguarção da funcionalidade da sociedade, conforme destacado por FORZIERI *et al.* (2018). A experiência da estação de Manguinhos revelou que, ao implementar medidas de adaptação apropriadas, é possível reduzir significativamente o perfil de risco associado às ameaças, alcançando assim um nível de risco aceitável, conforme evidenciado por BLES *et al.* (2016).

A adaptação é um elemento fundamental, considerando os desafios impostos pelas mudanças climáticas, que podem impactar diretamente a operação e a segurança desse sistema vital para a mobilidade urbana. Nesta seção, foi explorado diferentes abordagens de adaptação, incluindo medidas estruturais e não estruturais, destacando o exemplo da estação de Manguinhos, ilustrando como medidas de adaptação podem ser aplicadas na prática para mitigar riscos climáticos e garantir a funcionalidade contínua do sistema ferroviário. Na seção seguinte, será abordado o levantamento de medidas de Adaptação de forma abrangente, para aprimorar a resiliência e a eficiência do sistema ferroviário de transporte de passageiros no Rio de Janeiro. Oferecendo um conjunto de soluções embasadas em dados e na revisão da literatura internacional e nacional.

## 5.1 Levantamento de Medidas de adaptação

Nesta seção, partindo da compreensão das medidas de adaptação e do exemplo bem-sucedido da estação de Manginhos, que ilustra uma adaptação estrutural significativa, apresentamos uma proposta de medidas de adaptação direcionadas ao sistema ferroviário de passageiros no Rio de Janeiro, com a finalidade de mitigar os impactos decorrentes das precipitações na área da infraestrutura ferroviária. Utilizando uma abordagem organizada em forma de planilha, identificamos os principais impactos provocados pelas chuvas e, em seguida, detalhamos as adaptações necessárias para enfrentar esses desafios.

Adicionalmente, fornecemos referências fundamentais que respaldam e enriquecem essa proposta, contribuindo substancialmente para a sustentabilidade e segurança do transporte ferroviário no estado do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que os impactos resultantes dessas medidas de adaptação estão intimamente relacionados ao ambiente de estudo, abrangendo questões como intemperismo, danos elétricos, erosão e desgaste da via permanente, instabilidade do solo, danos à infraestrutura e, crucialmente, questões de segurança operacional. Todos esses impactos são detalhadamente abordados na tabela 4, juntamente com as correspondentes medidas de adaptação.

Tabela 4: Impactos e as adaptações para o sistema ferroviário

Impactos	Medidas de Adaptação	Referência
Árvores que tombam na linha, bloqueando a operação, podendo causar danos aos trens.	Implementação de faixas domínio livres de árvores	DAWSON <i>et al.</i> (2016B) WORLD BANK (2017) WANG <i>et al.</i> (2020)
Aumento do risco de inundações.	Manutenção recorrente na drenagem	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2008)
Danos ao equipamento de linha de alimentação de	Instalação de Sistema de catenária rígida/ Sistemas	DAWSON <i>et al.</i> (2016B) BERG, (2017)

Energia aérea (catenária).	de tensionamento de cabos aéreos aprimorados	PALIN <i>et al.</i> (2021)
Danos aos equipamentos elétricos.	Backup da energia, vedação dos aparelhos e abrigos	PALIN <i>et al.</i> (2013) BERG (2017) Wang <i>et al.</i> (2020) PALIN <i>et al.</i> (2021) NETWORK RAIL (2023)
Danos às camadas do pavimento ferroviário, como colmatação do lastro com material carregado, desguarnecimento do lastro pelo transporte do Material granular.	Construção de Barreiras físicas, plantio de vegetação específica, a vegetação tende a estabilizar o solo	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2008) WADE <i>et al.</i> (2012) NETWORK RAIL (2023)
Desguarnecimento do lastro, removendo o contato do dormente com o restante das camadas do pavimento.	Manutenção preventiva e avaliação permanente através de sensores	WORLD BANK (2017) NETWORK RAIL (2023)
Dormentes de madeira	Substituição para dormentes de concreto	FIP (1987)
Erosão das camadas da via permanente e fundações da ponte.	Manutenção preventiva e plantio de flora	DIKANSKI <i>et al.</i> (2016); WANG <i>et al.</i> (2020) WADE <i>et al.</i> (2012)
Erosão de aterros devido à elevação da lâmina D'água do rio e colapso de dreno longitudinal Profundo.	Elevação da infraestrutura	PALIN <i>et al.</i> (2013)

Inundação de sistemas de passagem subterrânea	Bombas controladas remotamente e piscinões	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2008) NEMRY E DEMIREL (2012) DAWSON <i>et al.</i> (2016B)
Inundações de linhas ferroviárias e túneis subterrâneos	Bombas controladas remotamente e piscinões	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2008) DAWSON <i>et al.</i> (2016B) LI & KAEWUNRUENV(2019) WANG <i>et al.</i> (2020) LIU <i>et al.</i> (2021) PALIN <i>et al.</i> (2021) CIDADE DE SÃO PAULO (2020)
Maior probabilidade de falhas de infraestrutura e aumento de danos a sinais, luminárias e suportes	Proteção contra surtos elétricos (DPS)	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2008) REVISTA FERROVIÁRIA (2021) ABNT NBR 13184 (2012)
Patinação	Implementação de veículos com sistema de areia	PIRES, C L. (2006)
Transporte de material de aterro (erosão), sobrecarga nos dispositivos de drenagem, e exposição das fundações da ponte podendo levar ao colapso da estrutura e risco de descarrilamento	Plantio de flora de proteção, Programas de estabilização de taludes, incluindo a instalação de paredes de gabião, pregos e estacas-pranchas	WANG <i>et al.</i> (2020) WADE <i>et al.</i> (2012)

A tabela 4 apresenta uma variedade de soluções, abrangendo desde medidas complexas até alternativas mais simples, todas direcionadas para a resolução de problemas que exercem significativos impactos no sistema de transporte ferroviário no Rio de Janeiro e

em outros lugares com um sistema de chuva intenso. Essas soluções podem ser aplicadas não apenas no Rio de Janeiro, mas também em outras regiões que enfrentam desafios semelhantes decorrentes de precipitações extremas.

A partir da caracterização da infraestrutura na seção 3.4 e da figura 2 na seção 1.2 justificativa, onde pode ser observado o aumento das paralisações nos últimos anos, fica evidente a necessidade de criar regimes de manutenção permanentes e de implementar um conjunto abrangente de medidas de adaptação no transporte ferroviário do Rio de Janeiro. As referências citadas, como o *National Research COUNCIL* (2008), *DAWSON et al.* (2016B), *WANG et al.* (2020) e outros, oferecem embasamento técnico para as soluções propostas.

## 5.2 Propostas de Medidas Adaptativas para as estações do Rio de Janeiro

Dentre as estratégias propostas de medidas adaptativas para as estações ferroviárias do Rio de Janeiro para enfrentar inundações em ambientes confinados, como túneis e passagens subterrâneas como a estação de Olaria, bem como nas próprias linhas ferroviárias como no trecho entre Manguinhos e Bonsucesso, que apresentam desafios significativos, incluem-se a instalação de bombas controladas remotamente, a construção de piscinões e a implementação de sensores para monitorar os níveis de inundação e direcionar o bombeamento do excesso de água, assegurando a operação contínua e a integridade da infraestrutura.

Um exemplo de piscinões já utilizados foi no Rio de Janeiro, próximo da estação da praça da bandeira (G1, 2013) para o sistema de trânsito de automóveis, onde as inundações urbanas paralisavam completamente o transporte, e em São Paulo (São Paulo, 2020) para o sistema ferroviário. Nesse sistema, a água em excesso da superfície é direcionada para reservatórios ou piscinões designados para esse fim. Tanto no RJ quanto em SP essa solução tem se mostrado eficaz na prevenção de inundações e na proteção da operação ferroviária e rodoviária, fazendo uso de piscinões para evitar o acúmulo de água na via e garantir a funcionalidade e a longevidade das estruturas.

As estações destacadas na Tabela 3, no Capítulo 4, requerem soluções robustas, como adaptações estruturais consistentes, a exemplo do que foi aplicado na estação de Manguinhos (Figura 43), como elevação da via, bem como a instalação de bombas e sensores e aumento das áreas verdes para infiltração da região. A manutenção preventiva também é fundamental para todas as estações, porém é importante ressaltar que as estações Pavuna e Barros Filho, além das condições altimétricas desfavoráveis, a proximidade com rios e a presença de um maciço do Gericinó elevam o risco de ocorrência de chuvas intensas e conseqüentemente inundações.

Para lidar com os desafios relacionados ao escoamento ao longo do corredor ferroviário, uma solução eficaz envolve a implementação de manutenção contínua na drenagem, criação de valetas e limpeza recorrente, reduzindo e minimizando o risco de acumulação de água, que são alguns dos principais motivos para deslocamento de massa. A drenagem desempenha um papel fundamental no controle do acúmulo de água na via, uma das principais causas de instabilidades e erosão e danos ao pavimento.

A faixa de domínio ferroviária é uma área adjacente às linhas de trem destinada à operação segura dos trens, compreendendo trilhos, sinalização e infraestrutura como pontes e túneis. A legislação federal, Lei nº 6.766/79, estabelece uma faixa de 15 metros a partir dos limites dessa área, mas a Lei nº 13.913/19 permite uma redução para 5 metros. Contudo, a seção 3.4, caracterizando a infraestrutura, indica que essas normas nem sempre são cumpridas, resultando em árvores que caem na linha e prejudicam a operação. Portanto, é essencial adotar medidas para criar faixas de domínio livres de árvores ao longo das ferrovias, tanto para cumprir as leis que estão em vigor, como para oferecer uma forma de adaptação aos eventos extremos de precipitação.

A substituição dos dormentes de madeira em todo o sistema ferroviário por dormentes de concreto ou outros materiais representa um avanço significativo na infraestrutura ferroviária. Essa transição é impulsionada pela necessidade de maior durabilidade e eficiência nas vias férreas. Os dormentes de concreto oferecem uma vida útil substancialmente mais longa, resistindo melhor aos rigores do clima e ao desgaste causado pelo constante tráfego de trens. Além disso, eles são mais resistentes a pragas e incêndios. A troca para dormentes de concreto também contribui para a redução dos custos de manutenção, minimizando os intervalos de reparo e substituição, e proporciona

uma via mais estável e segura para os trens, melhorando a eficiência do transporte ferroviário e promovendo um sistema de transporte mais confiável para o futuro.

A patinação do trem, um fenômeno perigoso que ocorre principalmente durante condições chuvosas, pode levar a sérios problemas, incluindo descarrilamentos. Uma medida de adaptação a esse problema, são veículos com sistemas de areia. Quando o maquinista percebe uma perda de aderência devido à chuva ou outros fatores, pode ele mesmo acionar o sistema que espalha areia entre o trilho e a roda, aumentando a aderência e permitindo que o trem continue com segurança em seu percurso. Esse sistema minimiza os riscos de acidentes decorrentes da patinação do trem e garante uma viagem mais segura.

Outra importante medida é a de zelar pelos equipamentos elétricos, visando evitar danos causados pela exposição à água, principalmente nas estações próximas aos maciços como as localizadas na zona norte do Rio de Janeiro, pois além de ser uma área de baixada, estão mais propensas a precipitações extremas.

Considerando os casos de sucesso mencionados na planilha, como em São Paulo e Rio de Janeiro, dentre outros citados na literatura, é possível obter inspiração e aprendizado para adaptar e implementar soluções efetivas no contexto ferroviário do Rio de Janeiro. É fundamental que sejam adotadas estratégias abrangentes e eficientes, visando garantir a segurança, a continuidade operacional e a sustentabilidade do sistema ferroviário na região.

## 6. Conclusões

A presente dissertação trouxe diversas contribuições significativas para a análise de risco climático das estações ferroviárias. Em primeiro lugar, o mapeamento das estações em risco na região metropolitana representa um avanço fundamental. Esse mapeamento se baseou em uma análise criteriosa do ambiente construído, bem como o regime de precipitação, incorporando outros critérios como proximidade com corpos d'água, porcentagem de áreas urbanizadas e altimetria que foram minuciosamente embasados em um sólido levantamento teórico. Esse processo não apenas identificou as estações que estão em risco, mas também forneceu um panorama abrangente da infraestrutura ferroviária em risco, tornando-se uma ferramenta valiosa para o planejamento e a tomada de decisões.

Além disso, a utilização do método ELECTRE se destacou como uma inovação nessa dissertação. A eficiência desse método na avaliação de risco da região onde está localizada a infraestrutura ferroviária abre novas perspectivas para a gestão de recursos e a mitigação de ameaças. Sua aplicação bem-sucedida demonstra como a combinação de abordagens teóricas sólidas com métodos práticos pode resultar em uma avaliação precisa e abrangente dos riscos, permitindo uma resposta mais eficaz a potenciais problemas.

A criação de um ranking das estações em maior risco é um dos resultados mais tangíveis e impactantes do trabalho. Esse ranking fornece uma clara hierarquia das estações mais vulneráveis, possibilitando um foco direcionado nas áreas que necessitam de intervenção imediata. Isso é crucial para a segurança da infraestrutura ferroviária e para a proteção das comunidades que dependem dela. Essas contribuições combinadas fornecem um sólido alicerce para futuras estratégias de gerenciamento e planejamento, ajudando a preservar e aprimorar a infraestrutura ferroviária na região.

Por último, mas não menos importante, vale ressaltar as medidas de adaptação levantadas e direcionadas à infraestrutura ferroviária do Rio de Janeiro. A identificação e proposição de estratégias de adaptação específicas para a região representam um aspecto crucial das contribuições desta dissertação. Essas medidas não apenas fornecem uma resposta

concreta aos riscos identificados, mas também contribuem para a resiliência da infraestrutura ferroviária diante das mudanças climáticas e eventos extremos.

Ao se considerar as características únicas do Rio de Janeiro, como seu clima tropical, topografia peculiar e densidade populacional, as medidas de adaptação propostas podem ser adaptadas sob medida para atender às necessidades locais. Isso não apenas fortalece a infraestrutura existente, mas também oferece um caminho viável para melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade das operações ferroviárias na região. Essas estratégias de adaptação não apenas protegem o investimento existente, mas também preparam o cenário para um futuro mais resiliente e sustentável no transporte ferroviário do Rio de Janeiro, com impactos positivos tanto para a economia quanto para a qualidade de vida da população.

#### 6.1 Limitações e recomendações para trabalhos futuros

Esta dissertação deparou-se com várias limitações, a maioria delas relacionada ao acesso aos dados. O primeiro grande desafio que alterou o curso da pesquisa foi a indisponibilidade de informações por parte da AGETRANSP e da Supervia, a empresa responsável pela exploração do ativo ferroviário. Esses dados eram fundamentais para analisar a infraestrutura, incluindo a idade das obras de arte, a velocidade média dos trens durante o percurso, as condições das drenagens e o mapeamento dos dormentes de madeira, entre outros aspectos. A falta desses dados forçou uma mudança no foco da pesquisa, que passou a se concentrar no ambiente circundante das estações, uma vez que os dados de paralisações frequentemente estavam relacionados a inundações nas estações. Dessa forma, o trabalho concentrou-se em coletar informações sobre a topografia, a área urbanizada, a proximidade com rios e dados pluviométricos, esses quatro critérios são básicos para compreender o espaço geográfico, bem como as interações dos elementos humanos e os naturais. É importante ressaltar que os dados de chuva e área urbanizada estavam disponíveis apenas para o município do Rio de Janeiro e não de todos os municípios que o sistema ferroviário está presente na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Outra dificuldade significativa foi a obtenção de dados relacionados às paralisações, chuvas e inundações. A AGETRANSP, responsável por esses dados, somente começou a publicá-los em seu site a partir de 2020, durante a pandemia de Covid-19, e interrompeu essa prática no meio de 2022. Para superar esse obstáculo, recorremos à pesquisa em jornais e à solicitação de informações com base na Lei de Acesso à Informação. No entanto, ao cruzar os dados, identificamos notáveis inconsistências entre os registros de paralisações de trens relacionados às precipitações e inundações coletadas nos jornais e as informações obtidas por meio de solicitações formais à AGETRANSP.

Além disso, os dados pluviométricos representaram um desafio adicional que restringiu a abrangência da pesquisa. Para determinar com precisão a quantidade de precipitação em uma área específica, é crucial ter acesso a dados completos que cubram a região metropolitana. Entretanto, muitas estações pluviométricas na região estavam inativas ou não possuíam histórico de dados, o que dificultou a correlação entre eventos climáticos e as paralisações no sistema ferroviário. Diante dessa limitação, optamos por focar na análise de dados disponíveis. Notavelmente, o município do Rio de Janeiro foi o único município onde encontramos registros pluviométricos históricos próximos à linha férrea, com sistemas de coleta de dados pluviométricos em funcionamento.

Para próximas pesquisas, é de suma importância aprofundar a análise dos diversos impactos das mudanças climáticas na infraestrutura ferroviária. O que inclui ondas de calor, que já demonstraram afetar a prestação dos serviços ferroviários na região, mas também a avaliação do impacto sobre a população que faz uso dessa modalidade de transporte. Ademais, uma investigação detalhada da própria infraestrutura ferroviária se revela essencial para um entendimento abrangente dos desafios e oportunidades que se apresentam.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Maurício de Almeida. **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos, 2006. v. 1. p. 156.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Catálogo de metadados, Curvas de nível**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0e21c03b-fd46-4c9a-9a39-2537ac347214> Acessado em: 20 de fevereiro de 2022.

AGETRANSP. Agência reguladora de serviços públicos concedidos de transportes aquaviários, ferroviários, metroviários e de rodovias do estado do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: [http://www.agetransp.rj.gov.br/con\\_supervia.php](http://www.agetransp.rj.gov.br/con_supervia.php). Acessado em: 21 de setembro de 2023.

ALVIM DE CASTRO, Leonardo Mitre; BAPTISTA, Márcio Benedito; CORDEIRO NETTO, Oscar de Moraes. "Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo". In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol 9, n. 4, Out/Dez 2004, p. 05-19.

AMORIM, Marisa Fasura de. ET AL. A resiliência das cidades frente a chuvas torrenciais: estudo de caso do plano de contingência da cidade do Rio de Janeiro. In: **Sociedade e Natureza**. 26 (3), set-dec 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140310>. Acessado em 28 out 2023.

ARTHURTON, R. "Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal management". Paris, France: UNESCO-IOC. In: **Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides**, V. 50. 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.25607/OBP-1441>. Acessado em: 10 de junho de 2022.

ASSIS, R. M. Estudo de fratura em trilho com origem no patim na ferrovia do aço.

AZEVEDO, Luiz Cláudio. Moradores de Nova Iguaçu reclamam de passarela interditada há 3 anos. **GloboPlay**, 10/09/2019. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7910254/>. Acessado em: 10 de junho de 2022.

BARREIRA, Gabriel; LOUREIRO, Cláudia. CPI dos Trens da Alerj aponta ‘pré-colapso’ da Supervia. In: **G1**, 05/09/2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2022/09/05/cpi-dos-trens-da-alerj-aponta-pre-colapso-da-supervia.ghtml>. Acessado em: 12 jun 2023.

BAZINE, A. Alagamentos impedem circulação em trechos de corredores do BRT e trens no Rio neste sábado. **Diário do Transporte Público**. 2021. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2021/01/02/alagamentos-impedem-circulacao-em-trechos-de-corredores-do-brt-e-trens-no-rio-neste-sabado-02/>. Acessado em jun de 2021.

BERG, H. P. Risks and consequences of weather hazards on railway infrastructure. In: **Journal of Polish Safety and Reliability Association**, v. 8, 2017.

BEŠINOVIĆ, N. **Resilience in railway transport systems: a literature review and research agenda**. Disponível em: <https://doi.org/101080/01441647.2020.1728419>, 2020. Acessado em: 21 set 2023.

BINTI AS'ADIN, S. L., Kaewunruen, S., & Jaroszweski, D. (2016). Operational readiness for climate change of Malaysia high-speed rail. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport**, 169(5), pp. 308–320. Disponível em: 10.1680/jtran.16.00031. Acessado em: 22 jun 2022.

BIRKMANN, J. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability usefulness and policy implications. In: **Environ Hazards**, v.7, n.1, p.20-31, 2007.

BLAUDT, Larissa Mozer; ALVARENGA, Thomas Wunsch; GARIN, Yuri. Desastre ocorrido em Petrópolis no verão de 2022: Aspectos gerais e dados da Defesa Civil. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 41, n. 4, p. 59-71, 2023.

BORI AGÊNCIA. Metrô de SP e Rio emitem até 50 vezes menos CO2 em relação a carros, diz pesquisa. 2020. Disponível em: <https://abori.com.br/arquitetura-e-urbanismo/metros-de-sp-e-rio-emitem-ate-50-vezes-menos-co2-em-relacao-a-carros-diz->

[pesquisa/#:~:text=Cientistas%20brasileiros%20apontam%20em%20artigo,6%2C4%20vazes%20menor%20em](#). Acessado em: 20 jan. 2022.

BUBECK, P., et al. (2019). **Global warming to increase flood risk on European railways**. *Climatic Change*, 155, 19–36. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-2019-02434-5>. Acessado em: 20 set 2023.

CALDERANO FILHO, B., et al. “Avaliação da vulnerabilidade ambiental de regiões tropicais montanhosas com suporte de SIG”. In: **Revista de Geografia Recife**, 35. 2014.

CARDONA, O. D. “The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management.” In: Bankoff, G., Frerks, G., Hilhorst, D. (Eds.), **Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People**. Earthscan Publishers, London, 2004.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. dos. Estudo geoambiental do estado do rio de janeiro os solos do estado do Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 2000.

CHEETHAM, M., *et al.* “RISK VIP: Evaluation of Flood Risk on the French Railway Network Using an Innovative GIS Approach”. In: **3rd European Conference on Flood Risk Management**, FLOODrisk, Lyon, França. Proceedings, Artigo n. 10004, 2016.

CIDADE DE SÃO PAULO. “Chuvas de verão: prefeitura desenvolve sistema inédito para monitorar piscinões e túneis”. 18 dez 2020. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/jacana\\_tremembe/noticias/?p=108518](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/jacana_tremembe/noticias/?p=108518). Acessado em 12 de junho de 2023.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**: diagnóstico geoambiental do estado do rio de Janeiro. Brasília: 2000.

DATA RIO. Uso do Solo 2018 Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/uso-do-solo-2018/explore>. Acessado em: 20 de fev. 2022.

DAWSON, R. J., *et al.* **UK climate change risk assessment evidence report**: chapter 4, infrastructure. 2016.

DEFESA CIVIL E MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Integrado de informações sobre desastres**. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 – 2012. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas>. Acessado em: 21 set 2023.

DERECZYNSKI, C. P., *et al.* Chuvas extremas no município do Rio de Janeiro: histórico a partir do século XIX. In: **Anuário do Instituto de Geociências**. 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.11137/2017\\_2\\_17\\_30](https://doi.org/10.11137/2017_2_17_30). Acessado em: 21 set 2023.

DERECZYNSKI, Claudine Pereira *et al.* Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 24-38, 2009.

DILLEY, Maxx, R. S. Chen, U. Deichmann, A.L. *et al.* Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. **Hazard Management Unit**, World Bank, Washington, D.C., 2005.

DNIT. Diretoria de Infraestrutura Ferroviária. **Projeto de obras de arte especiais**. Janeiro de 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios/isf-216-projeto-de-oe.pdf>. Acessado em: 07 nov. 2023

FAUSTO. Boris. **História do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2012.

FIP. Fédération internationale de la précontrainte. **Concrete Railway Sleepers – State of Art Report.**, 1987. London: Thomas Telford Ltd. 22p.

GOV.BR. **Impactos e riscos da mudança do clima nos setores rodoviário e ferroviário**. Disponível em <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/projeto-adaptavias> Acessado em: 07 nov. 2023.

GUERRA, Franciele Caroline; ZACHARIAS, Andréa Aparecida. Mapeamento das áreas de riscos hidrológicos e as políticas públicas de sustentabilidade: o caso de Ourinhos/SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de cidades**, v. 4, n. 26, p. 223-243, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acessado em: 01 jan. 2023

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. “Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios”. Brasília: **Ministério das Cidades**; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. 176 p. [disponível em: https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185](https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185). Acessado em 12 de junho de 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Marlborough, MA, USA, 2014; ISBN 9781107641655. 2014a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Climate Change 2022. Impacts, Vulnerability and Adaptation. Summary for Policymakers. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

ISHTIAQUE A., Estoque R. C., Eakin H., Parajuli J., Rabby Y. W. (2022). IPCC current conceptualization of ‘vulnerability’ needs more clarification for climate change vulnerability assessments. **Journal of Environmental Management**. Disponível em: [10.1016/j.jenvman.2021.114246](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114246).\_Journal of Environmental Management. Acessado em 21 de jan. 2016.

JACOB, A. C. P.. Você sabe qual a diferença entre alagamento e inundação? **Aquafluxus**. 2014. Disponível em: [<https://www.aquafluxus.com.br/voce-sabe-qual-a-diferenca-entre-alagamento-e-inundacao/?lang=em>]. Acessado em 21 de jan. 2016.

KELLERMANN P, SCHÖBEL A, KUNDELA G, THIEKEN A.H.. Estimating flood damage to railway infrastructure – the case study of the March river flood in 2006 at the Austrian Northern Railway. **Nat Hazards Earth Syst Sci**, 15, pp. 2485–2496. 2015.

KOSTIANAIA, Evgeniia A., Kostianoy, Andrey G., Scheglov, Mikhail A., Karelov, Aleksey I. and Vasileisky, Alexander S. Impact of Regional Climate Change on the Infrastructure and Operability of Railway Transport; **Transport and Telecommunication Journal**, vol.22, no.2, 2021, pp.183-195. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0014>. Acessado em: 20 mar 2022.

LIU, D., & KAEWUNRUEN, S. (2019). Effect of extreme climate on topology of railway prestressed concrete sleepers. **Climate**, 7(1), 17. Disponível em: [Doi: 10.3390/cli7010017](https://doi.org/10.3390/cli7010017). Acessado em: 20 mar 2022.

LIU, K., WANG, M., & ZHOU, T. (2021). Increasing costs to Chinese railway infrastructure by extreme precipitation in a warmer world. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93, 102797. 2021. Disponível em: [10.1016/j.trd.2021.102797](https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102797). Acessado em: 20 mar 2022

MARANDOLA JR., E., & HOGAN, D. J. 2004. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. In: **Ambiente & Sociedade**. 7 (2). Dez 2014. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>. Acessado em: 20 de mar. 2022.

MARANDOLA JR., Eduardo e HOGAN, Daniel Joseph "Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos". **Revista Ambiente & Sociedade**. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>. Acessado em: 20 de out de 2022.

MARENGO, J.A., SCARANO, F. R. "Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas". (Eds.). **PBMC, COPPE – UFRJ**. 2016. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

MATA-LIMA, Herlander, *et al.* Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 60(3), jul. set, p. 525-536, 2007.

MATOS, C. L. ET AL. Structural assessment of a RC Bridge over Sororó river along the Carajás railway. **IBRACON Estrut. Mater.** 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000200006>. Acessado em: 25 de outubro de 2022.

MATOS, J. C. L., *et al.* Structural assessment of a RC Bridge over Sororó river along the Carajás railway. Ver. **IBRACON Estrut. Mater.** ed. Mar-Apr 2015 <https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000200006>.

MENEZES, L. C. A, et al. (2021). Estudo da influência do perfil da plataforma ferroviária submetida à água da chuva no seu comportamento estrutural. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4918-4930, 2021.

MUSTAFFA, A. et al. "GIS and Multi-criteria Analysis for School Site Selection (Study Case: Malacca Historical City)". **International Journal of Integrated Engineering**, 2021. DOI: 10.30880/ijie.2021.13.04.022

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation: Special Report 290**. Washington, DC: The National Academies Press, 2008. doi:10.17226/12179

NEMRY, F., & DEMIREL, H. **Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures**. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, 2012.

NICOLODI, J. L., & PETERMANN, R. M. "Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social and technological aspects". **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 184-204, 2010.

NOBRE, Carlos A.; YOUNG, Andrea F. *et al.* **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo.** Relatório final. Disponível em: [https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades\\_RMSP.pdf](https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_RMSP.pdf). Acessado em: 15 de junho de 2022.

PALIN, E. J., et al. "Implications of climate change for railway infrastructure". **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, 12(5), 2021.

PAULA, Dilma Andrade de. "Estado, sociedade civil e hegemonia do rodoviarismo no Brasil". **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 142-156, 2010.

PETERMANN, Rafael M; NICOLODi, João Luiz. "Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos". **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 2010, p. 151-177. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340129001>. Acessado em: 20 mar. 2022.

PIRES, Cassiano Lobo. Simulação do Sistema de tração elétrica metro-ferroviário. São Paulo, 424 p. 2006.

PRASETYO, D. H., MOHAMAD, J. & FAUZI, R. A GIS-based multi-criteria decision analysis approach for public school site selection in Surabaya, Indonesia. **Geomatica**, 72(3), p. 69-84, 2018.

QUINN, A. et al. RAIL ADAPT - Adapting the railway for the future. University of Birmingham. **International Union of Railways (UIC)**. Paris, 2017.

RAILTECH.COM. **The increasing impact of heavy rain fall on rail..** 2023. Disponível em: <https://www.railtech.com/infrastructure/2023/08/30/the-increasing-impact-of-heavy-rainfall-on-railways/?gdpr=accept&gdpr=accept>. Acessado em: 14 jun. 2023.

RATTANACHOT, Wit, *et al.* "Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate change", **Transport Policy**, Elsevier, v. 41, pages 159-166, 2015.

RIBEIRO, Filipe Batista, *et al.* "Análise de Infraestrutura Ferroviária Utilizando as Ferramentas de Ecoeficiência". In: **34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Instituto Militar de Engenharia, p. 16-21 nov 2020.

RIBEIRO, S. K; SANTOS, A. S. "Impactos, vulnerabilidade e adaptação no setor de transportes frente às mudanças climáticas: como a cidade do Rio de Janeiro deverá se preparar?". In: **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET**, Ouro Preto, MG. Anais do XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, p. 2508-2519, 2015.

RIO DE JANEIRO. Lei Estadual Lei do Painel Eletrônico nº 5.274 de 25/06/2008.

ROSA, A. C.; GUIMARÃES A. C. R; SILVA, L. F. M. "Análise das propriedades físicas e mecânicas de um subleito ferroviário de solos tropicais". **Sexto Encontro ANTF de Ferrovias**. 2021. Disponível em: <https://www.antf.org.br/uploads/2021/08/ANALISE-DAS-PROPRIEDADES-FISICAS-E-MECANICAS-DE-UM-SUBLEITO-FERROVI% C3% 81RIO-DE-SOLOS-TROPICAIS.pdf>. Acessado em: 29 jun 2023.

SANTOS, Carla Z. A., *et al.* Análise multicritério para seleção de programas de gestão prioritários para a Bacia do Rio Japaratuba, SE, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n10p717-724> Acessado em: 10 abr. 2022.

SISTEMA ALERTA RIO DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Dados Pluviométricos. **Alertario**. Disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/dados-meteorologicos/info-estacoes>. Acessado em: 10 de Outubro 2022.

SISTEMA ALERTA RIO. Dados pluviométricos. Disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/dados-meteorologicos/download/dados-pluviometricos/>. Acessado em: 20 fev 2022.

SOUZA, Ednézio. Piscinão da praça da bandeira. **G1**. Disponível em: <https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/12/piscinao-da-praca-da-bandeira-e-inaugurado-no-rio.html>. Acessado em: 20 de set 2023.

SUPERVIA. **Estação Olímpica de Engenho de Dentro é inaugurada**. Disponível em: <https://www.supervia.com.br/pt-br/noticias/estacao-olimpica-de-engenho-de-dentro-e-inaugurada>. Acessado em: 30 jan. 2023.

TEIXEIRA, M. S., & Satyamurty, P. "Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil". **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 598-617, 2007.

THE WORLD BANK. **Climate and Disaster Risk Screening Tools**, 2017. Disponível em: [https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance\\_note/TRANSPORTATION\\_Guidance\\_Note.pdf](https://climatescreeningtools.worldbank.org/sites/default/files/guidance_note/TRANSPORTATION_Guidance_Note.pdf). Acessado em 20 abr. 2021.

THYWISSEN, K. "Core terminology of disaster reduction: a comparative glossary". In: Birkmann, J. (Ed.), **Measuring Vulnerability to Natural Hazards—Towards Disaster Resilient Societies**. UNUPress, Tokyo, New York, Paris, 2006.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. Potential impacts of climate change on U.S. transportation, special report no. 290, TRB, Washington, DC, 2008.

TRINDADE, D. Q. L.; ABREU V. H. S.; SOUZA, A. S. Medidas de adaptação frente aos possíveis impactos das mudanças climáticas no sistema de transportes: uma revisão da literatura. Santos, 33 Anpet, 2019.

TUCCI, Carlos E. M. Água no meio urbano. In: \_\_\_\_\_. **Água Doce**. Capítulo 14. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

U.S. Department of Transportation. **Transportation Climate Change Sensitivity Matrix**. ICF International, 2014. Disponível em: <http://www.embrapa.br/tps>. Acessado em: 01 jan. 2023.

UIC (International Union of Railways). <https://www.railtech.com/infrastructure/2023/08/30/the-increasing-impact-of-heavy-rainfall-on-railways/>

USMAN, K; BURROW, M. P. N. & GHATAORA, G. S. Railway Track Subgrade Failure Mechanisms Using a Fault Chart Approach. **Procedia Engineering**, 125, p. 547-555, 2015. Disponível em: 10.1016/j.proeng.2015.11.060. Acessado em: 24 jul. 2023.

VIAL, Adriana *et al.* "Caderno Resumo". In: **Cadernos RIO+SOCIAL**. 2017. Disponível em: [https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-04/riosocial\\_programme\\_-\\_summary\\_report\\_bilingual.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-04/riosocial_programme_-_summary_report_bilingual.pdf). Acessado em: Julho de 2023.

WANG, T., *et al.* "Impact analysis of climate change on rail systems for adaptation planning: A UK case". **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 83. 2020. Disponível em: 10.1016/j.trd.2020.102324. Acessado em: 15 de junho de 2022.

WANG T. *et al.* Change on rail systems for adaptation planning: a UK case". **Transportation Research Part D: Transport and Environment** 83, 2020. Disponível em: 10.1016/j.trd.2020.102324. Acessado em: 15 de junho de 2022.

WARD, J. *et al.* "Review article: natural hazard risk assessments at the global scale". **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 20 (2020), pp. 1069-1096.

WARD, P. J. et al. Review article: natural hazard risk assessments at the global scale. Nat. In: **Hazards Earth Syst. Sci.**, 20, 1069-1096. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1069-2020>. Acessado em: 15 de junho de 2022.

WISNER, B. (2002): Who? What? Where? When? in an Emergency: Notes on Possible Indicators of Vulnerability and Resilience: By Phase of the Disaster Management Cycle and Social Actor. In: Plate, E. (Ed.), **Environment and Human Security: Contributions to a workshop in Bonn, 23-25 October 2002, Germany**, pp. 12/7-12/14.

**WORLD POPULATION REVIEW**, 2022. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com>. Acessado em: 14 jun. 2022.

ZACHARIAS, Andréa A.; GUERRA, Franciele C. “O mapeamento das áreas vulneráveis aos riscos ambientais e as políticas públicas municipais para a sustentabilidade do patrimônio ambiental urbano”. In: **Revista Geografia e Pesquisa**, Ourinhos, v. 9, n. 1, p. 66-75, 2015.

## Anexos

Anexo I - Ocorrências

Local	Trecho da matéria	data	Causa	Tijuca	Grajaú	São Cristóvão	Grande Méier	Anchieta	Madureira
Manguinhos	A chuva forte que cai na noite desta segunda-feira (5) no Rio alagou a estação ferroviária de Manguinhos, no subúrbio do Rio. Por medida de segurança, a SuperVia, concessionária que opera o serviço, alterou a circulação dos trens do ramal Saracuruna. Os trens com destino a Duque de Caxias, na Baixada Fluminense, não estão circulando no trecho Central e Bussurusse. De Bussurusse a Saracuruna, o fluxo dos trens segue normal. Em decorrência da chuva, os trens circulam com a velocidade reduzida e que gera atrasos no serviço.	5/4/2010	Alagamento	115,8	114	310,2	457,2	330,4	52
Ramal Saracuruna e Estações de Praça da bandeira, maracanã e mangueira	Os alagamentos atingiram também trechos da via férrea da SuperVia. Com isso, por medida de segurança, os trens do ramal Saracuruna não estão circulando e os trens parados das linhas Campo Grande, Engo e Deodoro não fazem paradas nas estações Praça da Bandeira, Maracanã e Mangueira. Nos demais ramais a circulação registra atrasos médios de 10 minutos.	6/4/2010	Alagamento	213,2	150	296,8	659,4	273,6	0
Estação de manguinhos - ramal saracuruna	As paradas dos trens da SuperVia no ramal Saracuruna, em Duque de Caxias, ficou comprometida em consequência de alagamentos na altura do ramal de Manguinhos. De acordo com a SuperVia, todos as demais composições registraram atrasos de até dez minutos.	26/1/2010	Alagamento	0,2	0,2	15,2	80,8	53,8	53,2
Estação de Olaria e São Francisco Xavier	As estações de trens que estavam fechadas por causa das chuvas, foram reabertas. Os trens parados já foram normalmente nas estações Mangueira, Maracanã e Praça da Bandeira. Porém, outras estações foram fechadas. Em Olaria e São Francisco Xavier a água impediu que os passageiros acessassem as plataformas. Funcionários da SuperVia trabalharam com bombas de sucção para liberar o acesso, que foi totalmente reaberto pouco depois das 11h desta terça-feira.	26/4/2011	Alagamento	67,2	70	162,2	248,2	245,2	0
Sem localização	Os trens circularam com intervalos irregulares em todos os ramais.	21/09/12	Chuva	35,6	34	0	152	104	0
Estação de Maginhos e Penha Circular	As estações de trem Olaria e Penha Circular, ambas na Zona Norte do Rio, permaneceram fechadas por volta das 9h30 desta sexta-feira (18) devido à chuva que atingiu a cidade na noite desta quinta (17). De acordo com a SuperVia, concessionária que administra o transporte, os acessos ainda estão alagados.	17/01/13	Alagamento	10,4	32	46,4	46,8	67,8	51
Estação de Maginhos e Triagem	Por causa das chuvas, a concessionária SuperVia, responsável pelo sistema de trens urbanos, interrompeu a circulação das composições entre a estação Central e Saracuruna. A interrupção, por volta das 7h30, durou cerca de 15 minutos e foi causada, segundo a empresa, por um alagamento no trecho entre Manguinhos e Triagem, na Zona Norte do Rio.	22/01/2013	Alagamento	30,2	84	30,8	42,2	10,4	35,4
Saracuruna e BelfordRoxo-Olaria (ramal Saracuruna) e São Francisco Xavier (ramal Deodoro)	Nos trens da SuperVia, as composições ataram a vista dos passageiros. Ramais de Saracuruna e Belford Roxo foram completamente parados por acúmulo de água. A estação de Olaria permanece fechada. - As estações Olaria (ramal Saracuruna) e São Francisco Xavier (ramal Deodoro) permaneceram fechadas devido ao acúmulo de água em seus acessos. - Trechos dos ramais de Belford Roxo e Saracuruna registraram acúmulo de água, o que causou a interrupção da circulação nesses sistemas. Segundo a SuperVia, a estação Picaedu precisou ser fechada em decorrência da queda de um muro. Os ramais de Santa Cruz e Inhapic também operaram com intervalos irregulares.	11/12/2013	Alagamento	112,6	108	68,2	135,4	133,2	159,4
Estação de Deodoro	As 20h, a SuperVia registrou falta de energia nas linhas próximas a estação Deodoro e todos os trens precisaram aguardar ordem de circulação. O procedimento foi adotado para garantir a segurança dos passageiros, que foram avisados pelo sistema de áudio das composições.	05/03/2013	Falta de energia	65	51,6	196,6	310,4	12,8	22,2
Todos os ramais	A chuva também afetou a circulação dos trens da SuperVia. Na Baixada Fluminense, as composições tiveram a velocidade reduzida devido ao mau tempo. Com isso, tempo para embarque e desembarque de passageiros foi maior, o que afetou os intervalos dos ramais da região.	05/01/2015	Chuva	11,8	21,8	3,4	7,2	20,6	33,6

Anexo I - Para ter acesso ao documento completo, acesse:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1a2dI7VBbArXTW\\_5DUJ1Q0MXZcxKvbdE0OrJpf0AxfXo/edit#gid=1392180434](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1a2dI7VBbArXTW_5DUJ1Q0MXZcxKvbdE0OrJpf0AxfXo/edit#gid=1392180434)

ANEXO II - Precipitações diárias por estações telemétricas

Data	Mil diário	
1605	27/11/2022	7,6
1606	28/11/2022	7,2
1607	29/11/2022	1,4
1608	30/11/2022	23,4
1609	05/12/2022	52
1610	06/12/2022	32,8
1611	12/12/2022	0,8
1612	13/12/2022	35,2
1613	16/12/2022	2,4
1614	17/12/2022	3
1615	18/12/2022	20,2
1616	19/12/2022	0,8
1617	20/12/2022	98,2
1618	21/12/2022	196,8
1619	22/12/2022	11,4
1620	26/12/2022	0,4
1621	27/12/2022	15,6
1622	28/12/2022	14,4
1623	29/12/2022	2,4

Anexo II - Para ter acesso ao documento completo, acesse:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1mdsHUPz8z30djXfO\\_LnkXxadbvWnXYGdHFbVAz9xNCc/edit#gid=1196960332](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1mdsHUPz8z30djXfO_LnkXxadbvWnXYGdHFbVAz9xNCc/edit#gid=1196960332)

ANEXO III - Análise dos indicadores de risco a partir do método ELECTRE .XLSX

Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Dados Ferramentas Ajuda

100% 123 Padrã... - 10 + B I A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Manguinhos	Praça da Ban	Bonsucesso	Vigário Geral	Central do Bri	Cordovil	Jacarezinho	São Cristóvão	Pavuna	Ramos	Triagem
2	Manguinhos		1	0,8421052632	0,7368421053	0,7368421053	0,7368421053	0,5789473684	0,5789473684	0,8421052632	0,8421052632	0,578947368
3	Praça da Bandeira	0		0,3684210526	0,5263157895	0,3684210526	0,5263157895	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,368421052
4	Bonsucesso	0,1578947368	0,4210526316		0	0,1578947368	0,5263157895	0,5263157895	0,5263157895	0,6315789474	0,3684210526	0,526315789
5	Vigário Geral	0,2631578947	0,2631578947	0,2631578947		0	0,3684210526	0,3684210526	0,6315789474	0,6315789474	0,6315789474	0,631578947
6	Central do Brasil	0,2631578947	0,4210526316	0,2631578947	0,4210526316		0	0,4210526316	0,2631578947	0,2631578947	0,6315789474	0,631578947
7	Cordovil	0,2631578947	0,2631578947	0,2631578947	0	0		0	0,2631578947	0,2631578947	0,6315789474	0,631578947
8	Jacarezinho	0	0,4210526316	0,2631578947	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0	0	0,6315789474	0,6315789474	0,368421052
9	São Cristóvão	0	0,4210526316	0,2631578947	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0	0	0,6315789474	0,6315789474	0,368421052
10	Pavuna	0,1578947368	0,4210526316	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,5263157895	0,526315789
11	Ramos	0,1578947368	0,4210526316	0	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,2631578947	0	0,157894736
12	Triagem	0	0,4210526316	0,2631578947	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0	0	0,2631578947	0,2631578947	
13	Parada de Lucas	0,2631578947	0,2631578947	0,2631578947	0	0	0	0,2631578947	0,2631578947	0,2631578947	0,2631578947	0,263157894
14	Barros Filho	0,2631578947	0,4736842105	0,4736842105	0,2105263158	0,2105263158	0,2105263158	0,4736842105	0,4736842105	0,4736842105	0,4736842105	0,473684210
15	Penha	0,1578947368	0,4210526316	0	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,2631578947	0	0,157894736
16	Penha Circular	0,1578947368	0,4210526316	0	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,2631578947	0	0,157894736
17	Santa Cruz	0,1578947368	0,1578947368	0	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0,1578947368	0	0,157894736
18	Rocha Miranda	0	0,4736842105	0,2105263158	0,3684210526	0,2105263158	0,3684210526	0,2105263158	0,2105263158	0,4736842105	0,2105263158	0,210526315
19	Olaria	0,1578947368	0,6315789474	0,2105263158	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,4736842105	0,2105263158	0,368421052
20	Marechal Hermes	0,1578947368	0,6315789474	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,2105263158	0,3684210526	0,368421052
21	Deodoro	0,1578947368	0,6315789474	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,3684210526	0,2105263158	0,3684210526	0,368421052

Indicadores Normalização Concordância Cal Discordância MATRIZ Avaliação Paralisação Est Plu/Est/Fer

Anexo III - Para ter acesso ao documento completo, acesse:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kza6lZGM3-8SpNBqHJ9W2qOCQpNTUUic/edit#gid=529791490>

#### Anexo IV

Protocolo	Data da solicitação	Data do recurso ?	Previsão de resposta	Data de resposta	Situação
29498	05/01/2023 13:06:17	24/01/2023 12:47:10	29/01/2023 12:47:10	30/01/2023 18:02:24	Resposta enviada 1ª instância
▼ Detalhamento					
28772	07/11/2022 16:56:09	-	07/12/2022 16:56:09	06/12/2022 09:19:10	Resposta enviada
▼ Detalhamento					
28502	17/10/2022 14:37:08	-	06/11/2022 14:37:08	03/11/2022 11:52:50	Resposta enviada
▼ Detalhamento					
28501	17/10/2022 14:29:27	-	06/11/2022 14:29:27	03/11/2022 11:50:10	Resposta enviada
▼ Detalhamento					
25766	12/05/2022 21:24:15	-	01/06/2022 21:24:15	24/05/2022 20:20:26	Resposta enviada
▼ Detalhamento					