



Marianna Nunes Valim

**Manutenção preventiva como catalizadora do
desenvolvimento sustentável: caso do sistema
metroferroviário do Rio de Janeiro**

Dissertação em Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da PUC-Rio.

Orientador: Dr. Marcelo Roberto Ventura Dias De Mattos Bezerra

Rio de Janeiro,
Maio de 2025



Marianna Nunes Valim

**Manutenção preventiva como
catalizadora do desenvolvimento
sustentável: caso do sistema
metroferroviário do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

**Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias De Mattos
Bezerra**

Orientador

Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PUC-Rio

Prof. José Luiz Lopes Teixeira Filho

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Narciso Ferreira dos Santos Neto

Universidade Estadual de Montes Claros

Rio de Janeiro, 27 de maio de 2025

Todos os direitos reservados. A reprodução, total o parcial, do trabalho é proibida sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

Marianna Nunes Valim

Graduou-se em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense, em 2019. Participou de diversos congressos nas áreas de engenharia mecânica, mobilidade e transportes.

Ficha Catalográfica

Valim, Marianna Nunes

Manutenção preventiva como catalizadora do desenvolvimento sustentável: caso do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro / Marianna Nunes Valim ; orientador: Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra. – 2025.

85 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2025.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Transporte de passageiros. 4. Sistema metroferroviário. 5. Mudança climática. 6. Manutenção preventiva. I. Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, pelo apoio incondicional, a minha mãe por me ensinar a sempre ser curiosa e ao meu pai por sempre me mostrar que sou capaz.

Agradeço a minha irmã por sua força e amor. Ao meu cunhado Erick, por todo o apoio.

Agradeço a Thor e Princesa, por serem as melhores companhias.

Agradeço aos meus colegas e professores do Mestrado na PUC-RIO, por me ensinarem tanto e pelas ricas trocas.

Agradeço ao meu orientador por sua profunda dedicação e educação.

Agradeço a equipe da CATRA, que tanto me ensina.

Gostaria de agradecer a AGETRANSP por ceder os dados fundamentais para a realização desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Valim, Marianna Nunes; Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias De Mattos. **Manutenção preventiva como catalizadora do desenvolvimento sustentável: caso do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2025. 85p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esse trabalho tem por objetivo investigar os impactos na manutenção preventiva em materiais rodantes e na via permanente de sistemas metroferroviários localizado na metrópole nacional, o Rio de Janeiro, no cenário das cidades lidando com os impactos das mudanças climáticas, especificamente com o aumento de temperatura. Os dados analisados, através da revisão bibliográfica de maneira sistemática e dados coletados através da Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes do Rio de Janeiro (AGETRANSP), são do transporte de passageiros no sistema ferroviário e metroviário. Considerando que o desenvolvimento sustentável do espaço urbano precisa incluir parâmetros que contemplem o transporte de passageiros, especialmente o transporte metroferroviário, esse trabalho se propõe a estudar as avarias que podem acontecer quando os equipamentos e sistemas estão expostos a altas temperaturas, e entender como a manutenção preventiva pode atuar para mitigar os riscos aos quais os sistemas estão expostos. Mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o sistema de transporte é essencial para a formulação de diretrizes que contribuam para que as cidades sejam sustentáveis, incluindo o transporte, para as presentes e futuras gerações. O desenvolvimento sustentável do espaço urbano precisa incluir parâmetros que contemplem o transporte de passageiros.

Palavras-chave

Transporte de passageiros; sistema metroferroviário; mudança climática; manutenção preventiva.

Extended Abstract

Valim, Marianna Nunes; Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos (Advisor). **Preventive Maintenance as a Catalyst for Sustainable Development: The Case of Rio De Janeiro's Metro-Railway System.** Rio de Janeiro, 2025. 85p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Studies on climate change project scenarios of temperature increase in urban areas, making metro-rail system equipment subject to greater severity for operation, especially in metropolises where heat islands are found, such as Rio de Janeiro.

The data analyzed, through a systematic literature review and data collected through the Regulatory Agency for Public Transport Services of Rio de Janeiro (AGETRANSP, 2025), are from passenger transport in the railway and subway system of the State of Rio de Janeiro, a place that historically registers elevated temperatures throughout the year.

The method of the study presented here is based on the bibliographic analysis and technical data available in relevant institutions in the areas of climate change and the metro-rail system.

A literature review is conducted with data from various sources to present the concepts that are worked on in the study. It consists of understanding which climatic phenomena are associated with the increase in temperature that can cause damages in the metro-rail system.

Through the association between literature review and quantitative data analysis, this work investigated the impacts on preventive maintenance on rolling stock and on the permanent track of the metro-rail system found in Rio de Janeiro, in the scenario of cities dealing with the impacts of climate change, specifically with the increase in temperature.

The exploitation by human beings of natural resources and the process of industrialization have resulted in an increase in the temperature of planet Earth. According to the IPCC (2019), the Earth's surface temperature has continued to increase since the period 1850-1900 (basis of comparison), due to the unsustainability of energy use, land and consumption patterns.

In heat-related events, global warming and urbanization can contribute to temperature increase through the heat island effect (IPCC, 2020). The phenomenon

refers to urban areas with characteristic heat, relative to the surface or materials below the surface, due to the increase in air temperature (CLIMATOLOGIA, 2024).

Heat island is the phenomenon characterized by higher temperatures in urban centers, compared to the rural regions that surround them (Silva, 2021). Events related to heat, global warming, and urbanization can contribute to temperature increase through the heat island effect (IPCC, 2020).

The right to sustainable cities, including urban infrastructure, transport, and public services, for present and future generations, with public transport proper to the interests and needs of the population and local characteristics, was established through the City Statute, created through Law No. 10,257/2001 (BRASIL, 2001).

Metropolises, in which millions of people live, need an efficient infrastructure, especially in passenger transport, since access to transport is a social right, guaranteed in the Federal Constitution of 1988, through article 6 (BRASIL, 1988).

Climate change presents challenges to society, including affecting transport infrastructure. According to GIZ (2021), climate change generates risks such as temperature increase, leaving the system vulnerable. The increase in temperature generates vulnerabilities in the metro-rail system, and it is necessary to reduce the speed of train circulation as a safety measure.

The design for the transport systems is designed for the typical climate of the place, but climate change has a short, medium and long-term impact on the ability of the systems to withstand extreme events and can influence the structure and operations (ISSIAKA GITEC/COPPE, 2021).

The railway network and all its components are in an environment exposed to solar radiation and are an artificial surface that, according to Santos (2021), absorbs more heat from the sun than natural surfaces.

In the passenger transport system, specifically in subway and rail transport, which can meet high demand, the means, equipment, and systems are vulnerable to climate change, especially those associated with the increase in temperature. It should be noted that all systems are vulnerable to temperature variations. On the railroad, the overhead traction network is exposed to temperature variations. However, the study addressed the effect on the permanent track and rolling stock.

Permanent track is the structure that supports and transmits load on the railroad so that trains run safely. The basic design is close to that applied centuries

ago, and the parts that make up the road have evolved in technological terms (Steffler, 2013).

The structure of the permanent track is composed of infrastructure and superstructure. Castello Branco and Ferreira (2002) define infrastructure as all the works that enable the roadbed, consisting of cuts, embankments, tunnels, bridges and viaducts. The infrastructure needs to be able to absorb all the implicit efforts from train traffic, making the foundation of the superstructure workable. It also acts directly in the preservation of drainage and circulation template (Steffler, 2013).

The superstructure has the function of capturing the load transmitted by the wheels of the cars and dissipating the load uniformly (Castello Branco and Ferreira, 2002; Steffler, 2013).

On the railroad, the superstructure aims to ensure longitudinal, lateral and vertical stability of the train's rolling plane, formed by the rail billets. The superstructure is composed of ballast, sleepers, rails and their accessories (splints, support plates, fastening elements and others), according to Castello Branco and Ferreira (2002).

The rail is the beam on which the wheels rest and the railway cars roll. The rail is composed of the upper part, called the billet, the middle, called the soul, and the base, called the skate (Steffler, 2013).

The rails are the rolling surface that allows contact between the undercarriage and the permanent track, through the wheels. The defects to which the rails are exposed during service are related to the interaction between the wheel and the rail (Brina, 1988). The temperature variation on the rails, in turn, affects their compliance (França, 2016).

The rails are fixed transversely by the sleepers. The sleepers are supports for the rails, which act by maintaining the distance between the rails (gauge) and need to be resistant to stress, to effectively oppose the longitudinal and transverse displacements of the track and allow the parameterized fixation of the rails (Brina, 1988; Steffler, 2013).

The sleepers are placed perpendicular to the rails, both on tangents and curves. The most common sleepers on railroads are made of wood and concrete. Some of the factors that influence the durability of wooden sleepers are the climate, track drainage, weight, speed of the trains, type of rail fastening used, type of ballast, among others (Brina, 1988).

Concrete sleepers have the benefit of increasing the stability of the track, having little sensitivity to atmospheric agents. According to Brina (1988), these sleepers have greater durability and are heavier compared to wooden sleepers. This weight of the concrete sleeper favors the transverse strength of the track.

Ballast is a material composed of crushed stone to promote line stability. The sleepers send the forces to the ballast, which forms a continuous and uniform surface for the sleepers and rails. They also act by preventing the displacement of the sleepers, in the longitudinal and transverse directions (Brina, 1988; Steffler, 2013). Figure 3 exemplifies the main elements of the permanent track, with the presence of ballast, in a station of the railway system of Rio de Janeiro.

In the subway system, the permanent track is also organized into superstructure and infrastructure, and the basic elements have differences. In the extension of the road, there are stretches with a structure like the railway system and stretches with a superstructure ordered in a different way, without the presence of ballast, composing a rigid superstructure that, according to Castello Branco and Ferreira (2002), has the sleepers resting on concrete slabs.

The railway track undergoes normal (vertical loads and centrifugal force on curves) and abnormal (due to the track itself and due to the rolling stock). Knowledge of the forces acting on the road is useful to size the elements that compose it, and to show the defects that appear and correct them during the maintenance activity (Brina, 1988).

The movement of the track, its entire grid or its fastening elements can generate its misalignment. The misalignment of the track generates variation in the forces and can evolve to affect the leveling of the road. When the misalignment of the track is large and the cause is not natural deformation due to the circulation of trains, but rather the thermal expansion of the rails caused by the increase in temperature, the phenomenon of buckling or bunching occurs (Steffler, 2013).

Phenomena that generate non-conformities on the permanent track present themselves as a risk to the safety of the operation, such as derailment (the train leaving the tracks), if they are not corrected.

The other system studied was the rolling stock, which is the car that transports passengers along the rail and subway network. All its systems, including air conditioning, are dimensioned in design.

The undercarriage travels on an artificial surface, which has its own specifications to allow safe operation. The permanent road and its surroundings need to follow specifications to keep the superstructure and infrastructure efficient (Castello Branco and Ferreira, 2002).

The study conducted by Meireles et al. (2014) analyzed the surface temperature of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro and concluded that the heat island phenomenon exists throughout the year, especially in the Baixada Fluminense.

The Rio de Janeiro railroad has its operation granted to the SuperVia Concessionaire, which is regulated and inspected by AGETRANSP (AGETRANSP, 2025). The railway network consists of 104 (one hundred and four) stations, distributed in five branches and three extensions, and integrates eleven municipalities, including the city of Rio de Janeiro and the metropolitan region (SuperVia, 2024).

The railway network is extensive and cuts through municipalities in Rio de Janeiro. The figure shows the record of the Madureira station, in June 2024. In it is possible to see that, in addition to the structure of the permanent track, before reaching the station, the track is completely exposed to solar radiation.

The Rio de Janeiro subway has its operation granted to the MetrôRio Concessionaire (lines 1 and 2) and RioBarra Concessionaire (line 4), which is regulated and inspected by AGETRANSP. The subway network consists of 41 (forty-one) stations (AGETRANSP, 2025).

The permanent track of the Rio de Janeiro subway has stretches in which the track has ballast, and others in which there is no ballast. Concrete sleepers (TR-57) and wooden are used on the road. The concrete sleepers are of the type: Monoblock, Single Block or Bi block. On the roads without ballast, the sleepers are bi concrete block VSL, seated on a Concrete Radier (AGETRANSP, 2025).

Maintenance activities on the permanent track of the Rio de Janeiro railway system, according to information provided by AGETRANSP (2025), take place through inspections of the control car, by ultrasound and by patrol.

The Rio de Janeiro subway system, which serves the population through lines 1, 2 and 4, has planning and execution of preventive and corrective maintenance activities related to its system. The first difference is the fact that, in the subway, there are stretches where the track does not have ballast and stretches with ballast.

The study sought to understand which good practices are adopted to foster the development of railways and other infrastructure systems, to promote the adaptability of systems to the challenges imposed by climate change.

The UIC - International Union of Railways is an international institution that conducts studies related to mobility and sustainable development of railways. In the Report prepared by QUINN et al. (2017), from UIC, on the adaptation of railroads for the future, it is highlighted that the railroad adapts to the climate when operated by institutions with adaptive capacity, which understand current and future climatic conditions, and how there is a need to take this into account in the planning of the operation.

The passenger transport service needs to adapt to climate change, strengthening its organizational capacity. It is necessary to be able to identify climate threats, identifying the sources of damage, which generate risk to the operation and users and that can affect the railroad infrastructure, making it essential to identify the threats of slow progression (increase in temperature) and the faster threats (heat wave and tropical storm). It is necessary to analyze the risks to which the systems are vulnerable, what is the level of sensitivity of the system and the ability of the system to deal with adversity. These analyses make it possible to expand the adaptive capacity and resilience of the railroad (GIZ, 2021).

The study by the GITEC/COPPE ASSOCIATION (2021) showed elevated temperatures and heat waves as a climate threat to rail transport, which can affect the railway infrastructure through rail buckling and cause track geometry defects.

A climate risk assessment was conducted on a bridge in Costa Rica, according to GIZ (2021), which was based on climatological data, type of construction, and socioeconomic variables. The urban transport adaptation planning in the Netherlands, according to GIZ (2021), included identifying and characterizing the options for adaptation, established the criteria, and determined scoring weights and measures.

Understanding that the metro-rail system is, in the present and future, subject to climate threats, it is necessary to act on a maintenance plan that prioritizes the gradual increase in the temperature of the tracks and that has plans for extreme weather, in the event of heat waves. This adaptation of maintenance activities becomes more efficient when traditional methods (foot inspection, car control and ultrasound) are combined with new tools and technologies.

Combining the tools available on the market with an integrated database, based on what was collected throughout the system and that goes through a climate risk analysis, is essential to have a maintenance plan that catalyzes a more sustainable railroad.

Adaptation to climate change is based on the adjustment of the human or natural system to reduce the impact of the adverse effects of climate change (MENDES et al., 2020). Climate change scenarios project that, by the end of the twenty-first century, the Brazilian southeast will have an increase in temperature, increased rainfall, and more heat waves (MENDES et al., 2020).

By analyzing the available quantified data on the metro-rail operation of Rio de Janeiro, the maintenance practices of permanent track and rolling stock together with the good practices adopted globally, it was possible to elaborate the table, with the actions that can be implemented in the metro-rail system of Rio de Janeiro.

Table: Actions to be applied in the metro-rail system.

Actions to be applied in the metro-rail system
Identify Damages
Feed the database
Assessing climate risks
Identify points of greatest risk
Review the processes already practiced
Analyze the feasibility of implementing innovative technologies
Update the maintenance plan
Enabling more sustainable practices

Source: Prepared by the author.

Among the proposed actions to be applied in the metro-rail system, the first includes identifying recurring damages in the system and then continuously feeding a database that is integrated and accessible to all stakeholders, so that there is clarity and tracking of non-conformities found in the systems.

Once the damage mapping has been conducted, it is suggested to assess which climate risks the system is exposed to and which of the identified damage may be related to phenomena associated with climate change. From the assessment of climate risks, it is suggested to analyze data gotten in the field, in the first stage, together with the identified risks to map which are the points of greatest risk,

perfecting the maintenance process. Considering that the database is continuously updated and that vulnerabilities are mapped, it is possible to review how processes are practiced and plan good practices to be integrated into maintenance dynamics.

At this point of maturity of critical analysis of maintenance, it is suggested the feasibility study of the implementation of new technologies, available in the market or that are created by the system operator itself, to contribute to a more sustainable and aligned work to develop the resilience of the metro-rail system and more sustainable practices.

Preventive maintenance actions exist so that the inspected items undergo periodic maintenance, according to the manufacturer's specifications and with the goal of keeping the equipment performing within the established parameters and to ensure the safety of the operation.

Mitigating the effects of climate change on the metro-rail system contributes to the sustainable development of urban space. The role of maintenance activities, both in the permanent track and in the rolling stock, needs to be a priority to manage and prevent phenomena associated with the increase in temperature, since the scenario that presents itself involves increasingly higher temperatures.

Railways need to be run by fostering adaptive capacity. Maintenance that works with sustainable solutions contributes to more efficient maintenance cycles and extended equipment life. Making the process more efficient, sustainable, and resilient to climate change.

As a contribution to the further expansion of the study presented here, it is important to study how to make the application of innovative technologies to the maintenance activities currently developed socioeconomically workable.

Also, as a contribution to future research, it is understood that it is important to study how other phenomena of climate change, such as rainfall and intense winds, affect the metro-rail system. The expansion of the study contributes to a more complete picture of the effects of climate on passenger transport.

Keywords

Passenger transportation; metro-railway system; climate change; preventive maintenance.

Sumário

1 Introdução.....	15
1.1 Relevância do tema.....	16
1.2 Metodologia aplicada.....	17
1.3 Estrutura	17
2 Mudanças climáticas e o transporte sobre trilhos.....	20
2.1 Cenários de aumento de temperatura em áreas urbanas e ilhas de Calor	20
2.2 Contexto dos sistemas de transporte de passageiros.....	21
2.2.1 Via Permanente.....	23
2.2.1.1. Via Permanente do sistema ferroviário.....	23
2.2.1.2. Via Permanente do sistema metroviário.....	25
2.2.1.3. Esforços aos quais a via permanente está sujeita	26
2.2.2. Material Rodante	29
2.2.3. Atividades de manutenção.....	30
3 Sistema ferroviário e metroviário do Rio de Janeiro.....	34
3.1 Sistema ferroviário e metroviário do Rio de Janeiro e o impacto das altas temperatura na sua área urbana.....	34
3.1.1. O sistema ferroviário do Rio de Janeiro	40
3.1.2. O sistema metroviário do Rio de Janeiro	44
3.2 Atividades de manutenção da via permanente do sistema ferroviário...46	
3.3 Atividades de manutenção da via permanente do sistema metroviário.55	
3.4 Análise de dados referentes ao fenômeno de ensarilhamento ou flambagem.....	57
3.5 Atuação da manutenção no material rodante do sistema ferroviário	62
3.6 Atuação da manutenção no material rodante do sistema metroviário ...65	
4 Melhores práticas e propostas para o desenvolvimento sustentável do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro	70
4.1 Melhores práticas adotadas	70
4.2 Análise dos dados e rotina de manutenção praticada	72
4.3 Proposição de ações para o desenvolvimento sustentável	76
5 Considerações finais	79
6 Referências Bibliográficas	81

1

Introdução

Estudos sobre mudanças climáticas projetam cenários de aumento de temperatura em áreas urbanas, tornando equipamentos de sistema metroferroviário sujeitos a maior severidade para operação, especialmente em metrópoles onde são identificadas ilhas de calor, como no Rio de Janeiro.

Ilha de calor é o fenômeno caracterizado por temperaturas mais altas nos centros urbanos, em comparação às regiões rurais que as envolvem (Silva, 2021). Eventos relacionados ao calor, o aquecimento global e a urbanização podem contribuir para o aumento de temperatura através do efeito de ilha de calor (IPCC, 2020).

O fenômeno da ilha de calor está associado as condições do espaço, a superfície urbana favorável e a retenção do calor associada a poluição do ar. Logo, áreas com menos espaços verdes e recursos para dissipação de calor, como os centros urbanos, são favoráveis a existência do fenômeno. As metrópoles acometidas por ilhas de calor registram temperaturas mais elevadas como efeito das mudanças climáticas (CLIMATOLOGIA, 2024).

As grandes áreas urbanas, com alto tamanho populacional e que centralizam comércios e serviços da região, são consideradas metrópoles, de acordo com o IBGE (2025). No Brasil, há concentração de metrópoles no litoral de áreas de urbanizadas. O Rio de Janeiro é o segundo município com maior extensão absoluta de área urbanizada no Brasil, com 53,35% de proporção de áreas urbanizadas em relação à área oficial total. O estado, que sofre com o fenômeno de ilhas de calor e possui, historicamente, registro altas temperaturas durante todo o ano, é o estudo de caso escolhido (IBGE, 2019).

Os dados analisados, através da revisão bibliográfica de maneira sistemática e dados coletados através da Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes do Rio de Janeiro (AGETRANSP, 2025), são do transporte de passageiros no sistema ferroviário e metroviário do Estado do Rio de Janeiro, local que historicamente registra altas temperaturas durante todo o ano.

Os dados fornecidos pela AGETTRANSP (2025) são utilizados para observar quais são os efeitos de tais fenômenos nas operações comerciais no sistema metroferroviário, e como a manutenção de cada área trata tais questões.

Mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o sistema metroferroviário é essencial para a formulação de diretrizes que contribuam para que as cidades sejam sustentáveis, incluindo o transporte, para as presentes e futuras gerações. O desenvolvimento sustentável do espaço urbano precisa incluir parâmetros que contemplem o transporte de passageiros, especialmente o transporte metroferroviário.

1.1

Relevância do tema

O monitoramento da operação dos sistemas permite identificar não conformidades registradas, que impactam o sistema de forma global. Tal análise permite compreender como as atividades de manutenção preventiva influenciam diretamente os equipamentos disponíveis para circular nos sistemas.

A associação entre os fenômenos observados no sistema metroferroviário e as mudanças climáticas despertou o interesse em estudar como um dos fenômenos associados a mudança climática, o aumento de temperatura, influencia equipamentos, meios e sistemas de transportes.

Nesse cenário, entende-se que pensar as manutenções preventivas para estarem preparadas para mitigar riscos associados, ou seja, as não conformidades que surgem por aumento de temperatura, leva a um sistema mais resiliente para lidar com os cenários futuros.

Ao final, analisa-se qual o papel da atividade de manutenção para mitigar os riscos das avarias resultantes de aumento de temperatura. Neste trabalho analisa-se os riscos aos quais o sistema metroferroviário está exposto, e o papel das atividades de manutenção para manter a operação comercial de forma segura, pois assim se fortalece a mobilidade do Rio de Janeiro de maneira efetiva.

O objetivo é investigar os impactos na manutenção preventiva no material rodante e na via permanente do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro, no cenário das cidades que lidam com os impactos das mudanças climáticas, especificamente com o aumento de temperatura.

1.2

Metodologia aplicada

A metodologia do estudo aqui apresentado baseia-se na análise bibliográfica e de dados técnicos disponíveis em instituições pertinentes nas áreas de mudanças climáticas e sistema metroferroviário.

Há a realização de revisão bibliográfica com dados de diversas fontes para apresentar os conceitos que são trabalhados no estudo. Consiste em entender quais são os fenômenos climáticos associados ao aumento de temperatura que podem causar avarias no sistema metroferroviário.

A AGETRANSP forneceu dados quantitativos e informações técnicas sobre o sistema metroferroviário do Rio de Janeiro. A obtenção de dados junto à AGETRANSP foi motivada pela experiência profissional da autora na Câmara Técnica da AGETRANSP desde 2018. Os dados, cuja fonte é a AGETRANSP, foram obtidos através da solicitação feita através do site do OuvERJ – Ouvidoria Geral do Estado do Rio de Janeiro (2025), através do protocolo nº 20250220730378.

Através da associação entre revisão bibliográfica e análise dos dados quantitativos, este trabalho investigou os impactos na manutenção preventiva em materiais rodantes e na via permanente do sistema metroferroviário localizado no Rio de Janeiro, no cenário das cidades lidando com os impactos das mudanças climáticas, especificamente com o aumento de temperatura.

Destaca-se ainda que durante a revisão bibliográfica percebeu-se a dificuldade de encontrar estudos que abordassem o impacto das mudanças climáticas no transporte de passageiros.

1.3

Estrutura

A estrutura dessa dissertação pode ser observada através da figura 1, apresentada de acordo com os temas explorados na dissertação.

O capítulo 1 é a Introdução, que apresenta o tema, contextualiza o assunto e apresenta a metodologia aplicada e a estrutura.

O capítulo 2 traz a revisão bibliográfica das grandes seções a serem explorados no desenvolvimento do trabalho. Primeiro, é apresentada a literatura sobre as previsões para as áreas urbanas, com o aumento de temperatura e ilhas de calor. Em seguida é estudado o contexto dos sistemas de transporte de passageiros, que é fundamental para a mobilidade da população.

Com o objetivo de entender como o transporte de passageiros é afetado, é apresentada a revisão de literatura de como as estruturas escolhidas, via permanente e material rodante e quais atividades de manutenção estão associadas a cada sistema.

Ao final do capítulo 2 é possível perceber que os principais eixos temáticos são as seguintes:

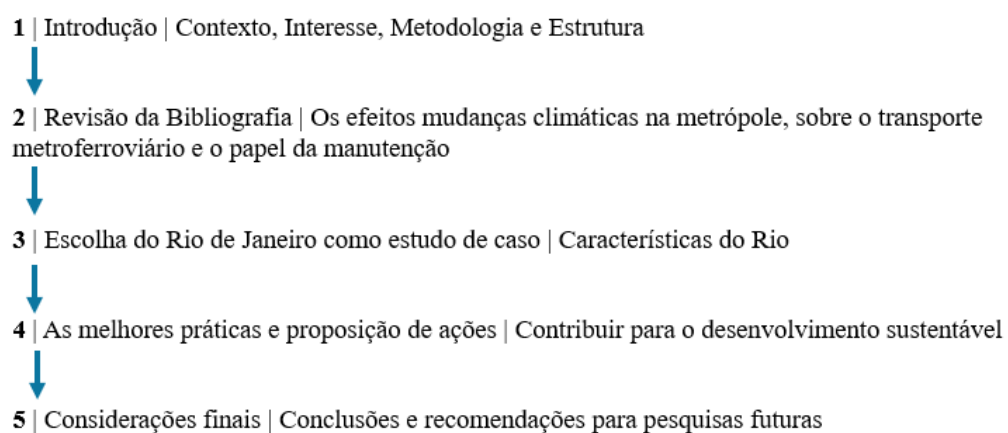
- a) Os efeitos das mudanças climáticas nas metrópoles,
- b) Como o transporte metroferroviário é afetado, e
- c) O papel da manutenção como atividade que permite mitigar os riscos no transporte, associados ao aumento de temperatura.

No capítulo 3, o principal objetivo é explorar o objeto de estudo dessa dissertação. O foco passa a ser mostrar a dinâmica dessas grandes sessões no contexto do estado do Rio de Janeiro. O capítulo 3 explora os dados quantitativos e qualitativos do funcionamento do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro e das atividades de manutenção da via permanente e do material rodante de cada transporte.

O capítulo 4 apresenta as melhores práticas e proposição de ações com o objetivo de colaborar para o desenvolvimento sustentável e relaciona com a análise dos dados coletados.

O capítulo 5 visa mostrar quais são as considerações finais, que concluem o estudo e analisam criticamente quais são as práticas para mitigar os efeitos dos fenômenos por aumento de temperatura na ferrovia. O último capítulo traz as referências bibliográficas, que compõem o estudo apresentado.

Figura 1: Estrutura da dissertação



Fonte: Elaboração da autora

2

Mudanças climáticas e o transporte sobre trilhos

Este capítulo trata dos impactos das mudanças climáticas, no que tange aumento da temperatura, nas áreas urbanas e nos sistemas ferroviário e metroviário. Apresenta também como é constituída a via permanente e o material rodante, assim como o papel das atividades de manutenção.

2.1

Cenários de aumento de temperatura em áreas urbanas e ilhas de Calor

A exploração pelo ser humano dos recursos naturais e o processo de industrialização têm como consequência o aumento da temperatura do planeta Terra. Segundo o IPCC (2019), a temperatura da superfície da Terra continua a aumentar desde o período de 1850-1900 (base de comparação), devido à insustentabilidade do uso da energia, do solo e dos padrões de consumo.

O Relatório Mundial das Cidades de 2024 mostra que o ano de 2023 foi o ano mais quente já registrado na história humana, com temperatura global sendo de 1,48°C acima da linha de base entre 1850-1900, período anterior a revolução industrial (ONU-Habitat, 2024).

Em eventos relacionados ao calor, o aquecimento global e a urbanização podem contribuir para o aumento de temperatura através do efeito de ilha de calor (IPCC, 2020). O fenômeno se refere a áreas urbanas com calor característico, relativo à superfície ou materiais abaixo da superfície, devido ao aumento da temperatura do ar (CLIMATOLOGIA, 2024).

O fenômeno está associado às condições do espaço: a superfície urbana favorável a retenção do calor associada a poluição do ar. Logo, áreas com menos espaços verdes e recursos para dissipação de calor, como os centros urbanos, são favoráveis a existência de ilha de calor. As metrópoles acometidas registram temperaturas mais elevadas como efeito das mudanças climáticas (CLIMATOLOGIA, 2024).

A áreas urbanas apresentam alta densidade populacional e demanda de infraestrutura, estando, assim, mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas (GIZ, 2021).

As grandes áreas urbanas, com alto tamanho populacional e que centralizam comércios e serviços da região, são consideradas metrópoles, de acordo com o IBGE (2025). São consideradas características das ilhas de calor que as superfícies com menos vegetação e mais urbanização tenham temperatura mais elevada e que a intensidade da ilha de calor acompanhe o crescimento da cidade (Santos, 2021).

Ao combinar o crescente número de pessoas que vivem em metrópoles, o que estimula o aquecimento da cidade, com o aumento de temperatura registrado globalmente, é possível inferir que a forma como as áreas urbanas existem hoje não será sustentável a longo prazo.

O direito às cidades sustentáveis, incluindo à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, para as presentes e futuras gerações, com transporte público adequado aos interesses e necessidades da população e às características locais, foi estabelecido através do Estatuto da Cidade, criado através da Lei nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001).

O esforço para desenvolver a cidade de forma sustentável exige que a infraestrutura de mobilidade urbana (deslocamentos no espaço urbano), especificamente a metroferrovias, sejam eficientes, eficazes e efetivos na prestação do serviço público coletivo. É necessário priorizar os serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado. (Lei nº 12.587/2012).

2.2

Contexto dos sistemas de transporte de passageiros

As metrópoles, nas quais vivem um alto número de pessoas, precisam de uma infraestrutura eficiente, especialmente no transporte de passageiros, uma vez que o acesso ao transporte é um direito social, garantido na Constituição Federal de 1988, através do artigo 6º (BRASIL, 1988).

Silva (2022), ao analisar as vulnerabilidades do sistema de transporte, destacou a precipitação como fator de preocupação, que pode gerar alagamentos. O transporte está sujeito a perigos relacionados ao clima também em relação a

aumento de temperatura, elevação do nível do mar e tempestades de ventos em alta velocidade.

As enchentes se apresentam como ponto de vulnerabilidade na região metropolitana do Rio de Janeiro. Os cenários de mudança climática projetam que, ao final do século XXI, o sudeste brasileiro terá aumento de temperatura, aumento de chuvas e mais ondas de calor (MENDES et al., 2020).

As ameaças ao transporte associadas aos fortes ventos e alagamentos não foram o foco do estudo, mas se apresentam como temas relevantes para a sustentabilidade do transporte de passageiros.

As mudanças climáticas apresentam desafios a sociedade, inclusive afetando a infraestrutura do transporte. Segundo GIZ (2021), as mudanças climáticas geram riscos como aumento de temperatura, deixando o sistema vulnerável. O aumento de temperatura gera vulnerabilidades no sistema metroferroviário, sendo necessário reduzir a velocidade de circulação dos trens como medida de segurança.

O projeto para os sistemas de transportes é desenhado para o clima típico do local, mas as mudanças climáticas têm impacto a curto, médio e longo prazo na capacidade dos sistemas a resistir a eventos extremos, podendo influenciar a estrutura e as operações (ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE, 2021).

Shinzato (2009), ao estudar os microclimas da cidade de São Paulo e a influência da vegetação, destaca o efeito de resfriamento através das sombras das árvores na temperatura local. Além disso, destaca a impermeabilização do solo como fator que reduz as áreas verdes.

A malha ferroviária e todos os seus componentes estão em um ambiente exposto à radiação solar e são uma superfície artificial que, segundo Santos (2021), absorve mais calor proveniente do sol do que superfícies naturais.

No sistema de transporte de passageiros, especificamente no transporte metroviário e ferroviário, que possuem capacidade de atender alta demanda, os meios, equipamentos e sistemas estão vulneráveis as mudanças climáticas, especialmente as associadas ao aumento de temperatura. Ressalta-se que todos os sistemas são vulneráveis às variações de temperatura. Na ferrovia, a rede aérea de tração é exposta as variações de temperatura. Contudo, o estudo abordou o efeito sobre a via permanente e o material rodante.

A estrutura do sistema ferroviário e metroviário guardam diferenças de infraestrutura e superestrutura, com desenhos que atendem a demanda de cada sistema.

2.2.1.

Via Permanente

Via permanente é a estrutura que suporta e transmite carga na ferrovia para que os trens circulem com segurança. O desenho básico é próximo ao aplicado a séculos, tendo as partes que compõe a via evoluído em termos tecnológicos (Steffler, 2013).

A estrutura da via permanente é composta por infraestrutura e superestrutura. Castello Branco e Ferreira (2002) definem a infraestrutura como todas as obras que viabilizam o leito da via, composta por cortes, aterros, túneis, ponte e viadutos. A infraestrutura precisa ser capaz de absorver todos os esforços implícitos oriundos do tráfego de trens, viabilizando a fundação da superestrutura. Ainda, atua diretamente na preservação da drenagem e do gabarito de circulação (Steffler, 2013).

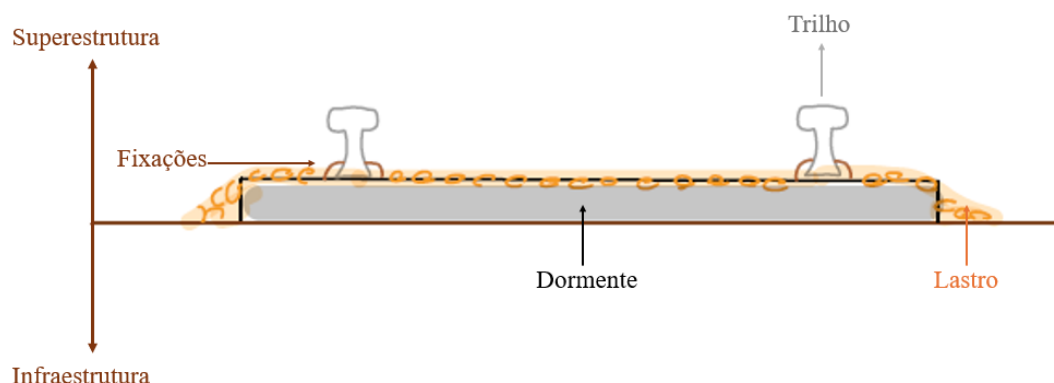
A superestrutura tem a função de captar a carga transmitida pelas rodas dos carros e dissipar a carga de forma uniforme (Castello Branco e Ferreira, 2002; Steffler, 2013).

2.2.1.1.

Via Permanente do sistema ferroviário

Na ferrovia, a superestrutura tem por objetivo garantir estabilidade longitudinal, lateral e vertical do plano de rolamento do trem, formado pelos boletos dos trilhos. A superestrutura é composta por lastro, dormentes, trilhos e seus acessórios (talas de junção, placas de apoio, elementos de fixação e outros), segundo Castello Branco e Ferreira (2002). A figura 2 mostra os elementos básicos que compõe a via permanente: o trilho, o lastro, o dormente e os elementos de fixação.

Figura 2: Elementos básicos da via permanente



Fonte: Elaboração da autora

O trilho é a viga na qual as rodas se apoiam e os carros ferroviários realizam rolamento. O trilho é composto pela parte superior, chamada de boleto, o meio, chamado de alma e a base, chamada de patim (Steffler, 2013).

Os trilhos são a superfície de rolamento que permite o contato entre o material rodante e a via permanente, através das rodas. Os defeitos aos quais os trilhos estão expostos, durante o serviço, estão relacionados a interação entre a roda e o trilho (Brina, 1988). A variação de temperatura nos trilhos, por sua vez, afeta o comprimento deles (França, 2016).

Os trilhos são fixados transversalmente pelos dormentes. Os dormentes são suportes para os trilhos, que atuam mantendo a medida de distância entre os trilhos (bitola) e precisam ser resistentes a esforços, para se opor eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via e permitir a fixação parametrizada dos trilhos (Brina, 1988; Steffler, 2013).

Os dormentes são colocados perpendicularmente aos trilhos, tanto nas tangentes como nas curvas. Os dormentes mais comuns nas ferrovias são de madeira e de concreto. Alguns dos fatores que influenciam na durabilidade dos dormentes de madeira são o clima, a drenagem da via, peso, velocidade dos trens, tipo de fixação do trilho usado, tipo de lastro, entre outros (Brina, 1988).

Os dormentes de concreto têm o benefício de aumentar a estabilidade da via, tendo pouca sensibilidade aos agentes atmosféricos. Segundo Brina (1988), esses dormentes possuem maior durabilidade e são mais pesados em comparação aos dormentes de madeira. Esse peso do dormente de concreto favorece a resistência transversal da via.

O lastro é um material composto por pedra brita para promover a estabilidade da linha. Os dormentes transmitem os esforços para o lastro, que forma uma superfície contínua e uniforme para os dormentes e os trilhos. Ainda, atuam impedindo os deslocamentos dos dormentes, no sentido longitudinal e no transversal (Brina, 1988; Steffler, 2013). A figura 3 exemplifica os principais elementos da via permanente, com presença de lastro, em uma estação do sistema ferroviário do Rio de Janeiro.

Figura 3: Via permanente da Estação Madureira, SuperVia, registrada em junho/2024.



Fonte: Adaptada da figura disponibilizada pela AGETRANSP,2025.

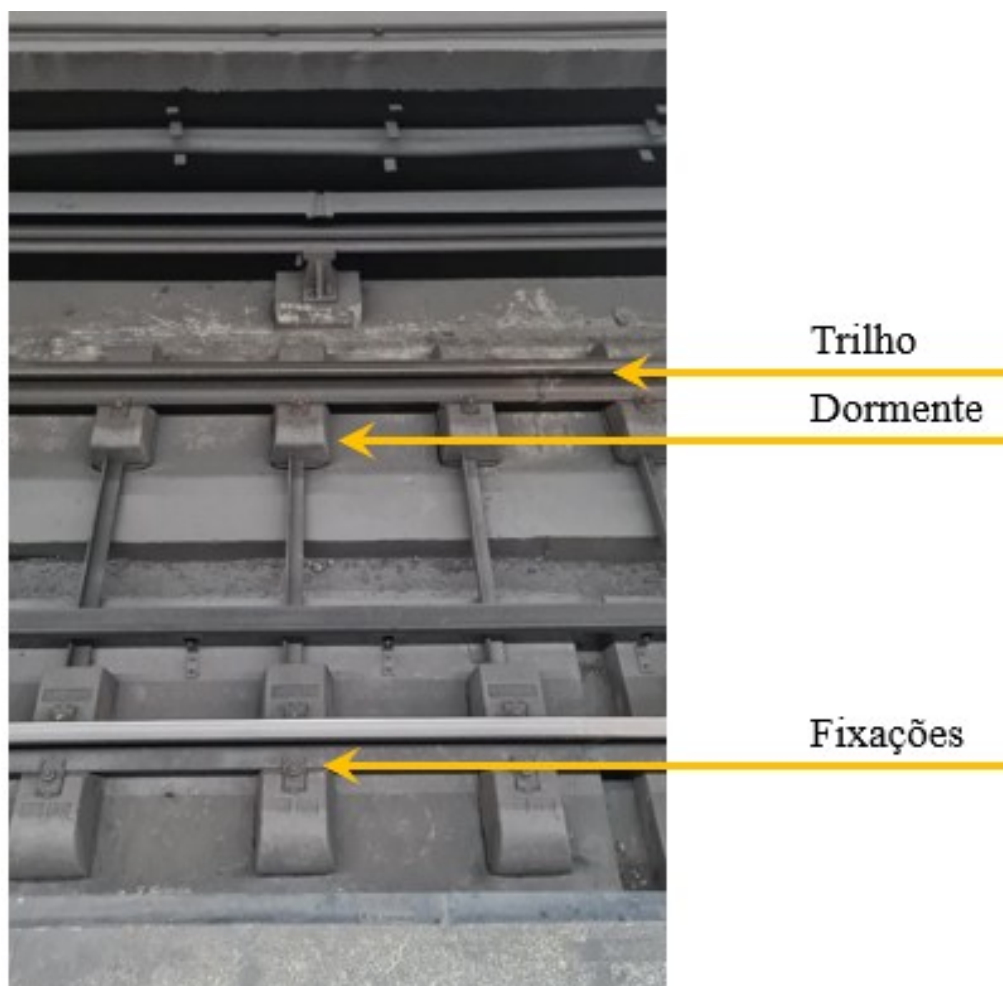
2.2.1.2.

Via Permanente do sistema metroviário

No sistema metroviário, a via permanente também é organizada em superestrutura e infraestrutura, sendo que os elementos básicos possuem diferenças. Na extensão da via, existem trechos com a estrutura semelhante ao sistema ferroviário e trechos com superestrutura ordenada de maneira diferente, sem a presença de lastro, compondo uma superestrutura rígida que, segundo Castello Branco e Ferreira (2002), tem os dormentes assentados sobre lajes de concreto.

Essa formação é utilizada em parte da malha metroviária do Rio de Janeiro, exemplificado através da figura 4. A figura 4 mostra os principais elementos que compõem a via permanente sem lastro.

Figura 4: Via da Estação Largo do Machado, MetrôRio, registrada em fevereiro/2025.



Fonte: Registrada e adaptada pela autora

2.2.1.3.

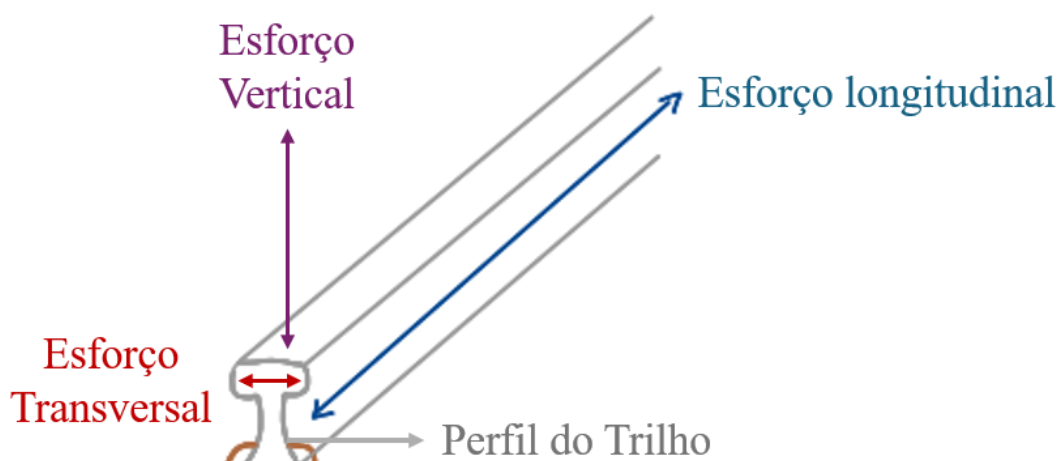
Esforços aos quais a via permanente está sujeita

A via férrea sofre esforços normais (cargas verticais e força centrífuga nas curvas) e anormais (devido à própria via e devido ao material rodante). O conhecimento dos esforços que atuam sobre a via é útil para dimensionar os elementos que a compõe, e para identificar os defeitos que aparecem e corrigi-los durante a atividade de manutenção (Brina, 1988).

Os esforços que atuam sobre a via também podem ser classificados em verticais, longitudinais e transversais. Os esforços verticais são os que tem a direção normal ao plano dos trilhos. São compostos pela carga estática, originada pelo peso dos veículos quando parados, força centrífuga vertical, movimento devido à irregularidade na via, repartição desigual do peso nas curvas, defeitos de linha e defeitos do material rodante (Brina, 1988).

Os esforços longitudinais são os de dilatação, consequência da variação de temperatura no trilho, golpes das rodas nos topos dos trilhos, esforço trator, frenagem e atrito dos frisos das rodas nos trilhos. Os esforços transversais são a força centrífuga (nas curvas), movimento de lacê (choque transversal ao trilho, que pode alargar a bitola) e o vento (Brina, 1988). A figura 5 exemplifica os esforços aos quais os trilhos estão submetidos, indicando as forças que atuam em cada dimensão do elemento trilho.

Figura 5: Esforços aos quais os trilhos estão sujeitos na via permanente.



Fonte: Elaboração da autora

A movimentação da via, de toda a sua grade ou de seus elementos de fixação, pode gerar o seu desalinhamento. O desalinhamento da via gera variação dos esforços e pode evoluir para afetar o nivelamento da via. Quando o desalinhamento da via é muito grande e a causa não é deformação natural decorrente da circulação de trens, mas sim a dilatação térmica dos trilhos causada pelo aumento de temperatura, ocorre o fenômeno de flambagem ou ensarilhamento (Steffler, 2013).

Ao estudar as avarias que um sistema pode sofrer no cenário das mudanças climáticas, existem certos fenômenos que são associados as altas temperaturas,

como a flambagem de via. Segundo Castello Branco e Ferreira (2002), a flambagem de via é um “fenômeno que se origina das tensões longitudinais de origem térmica, aliadas ou não a esforços provenientes do tráfego”.

O trilho, enquanto o trem trafega pela via, está sujeito a tensões de compressão e tração, e os trilhos também estão sujeitos à variação de temperatura do trilho para a temperatura de seu assentamento (temperatura neutra). Então, quanto maior a variação de temperatura do trilho, maiores são as tensões térmicas aos quais os trilhos estão sujeitos, favorecendo o acontecimento de flambagem de via, também conhecido como ensarilhamento (Castello Branco e Ferreira, 2002).

Quando a via sofre flambagem, devido ao desalinhamento dos trilhos, existe risco de descarrilamento (Castello Branco e Ferreira, 2002). Os níveis de flambagem da via levam as diferentes respostas de manutenção. A depender do grau, primeiro é imposta restrição de velocidade ao trecho, pois foi avaliado que não há risco iminente de acidente no local. Ressalta-se que esse fenômeno tem origem na variação de temperatura ao qual os trilhos estão sujeitos, sendo assim, em locais com a temperatura mais baixa, esse fenômeno também é observado.

Ao analisar a influência da temperatura nos casos de ensarilhamento na estrada de ferro de Vitória/Minas, Cassaro (2017) identificou como causas para diminuição da eficiência da superestrutura o baixo volume de lastro, fixações com pressão abaixo do recomendado, dormentes fraturados, defeitos superficiais nos trilhos e nas rodas, manutenção de troca de trilhos, dormentes não respeitando as especificações técnicas e socaria mecanizada em temperaturas fora das recomendadas. Essa falha na eficiência da superestrutura favorece o fenômeno de flambagem.

A socaria é uma atividade de manutenção corretiva na via permanente que permite, através da ferramenta de soca ou a socadora (versão do equipamento mecanizada), inserir pedras abaixo da linha dos trilhos. Nessa atividade, é fundamental que o nivelamento do dormente aconteça com o auxílio de régua niveladora (Steffler, 2013).

Os fenômenos que geram não conformidades na via permanente se apresentam como um risco à segurança a operação, como o descarrilamento (o trem sair dos trilhos), caso não sejam corrigidos.

O estudo realizado pela ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE (2021) identificou alguns dos impactos que as mudanças climáticas podem causar no sistema

ferroviário. Entre os impactos destaca-se que, quando submetidas a altas temperaturas e ondas de calor, a ferrovia pode sofrer com flambagem do trilho (ensarilhamento), o que gera defeitos de geometria e compromete o uso das vias. Além disso, em casos de ventos fortes, é possível que as ferrovias sofram com instabilidade de estruturas e que árvores caiam na linha, bloqueando as linhas e causando danos aos trens.

2.2.2. Material Rodante

O veículo ferroviário é chamado de material rodante, sendo composto por unidades tratoras (possuem motor de tração) e unidades de reboque, os vagões (Nabais, 2014). O material rodante estudado é o carro que transporta passageiros ao longo da malha ferroviária e metroviária. Todos os seus sistemas, inclusive o ar-condicionado, são dimensionados em projeto.

O material rodante trafega em uma superfície artificial, que tem especificações próprias para permitir a operação de forma segura. A via permanente e seu entorno precisam seguir especificações para manter a superestrutura e infraestrutura eficientes (Castello Branco e Ferreira, 2002).

Ao refletir sobre a relação entre temperatura e o material rodante é preciso estudar as relações de transmissão de calor. Calor é a “forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro como consequência da diferença de temperatura entre eles”. Os três mecanismos básicos de transferência de calor são: condução, convecção e radiação (Çengel, 2009).

A condução é quando partículas interagem e, como resultado, ocorre a transferência de energia de partículas mais energéticas para a menos energética. A taxa de condução depende da geometria, espessura, tipo de material e da diferença de temperatura do meio. A convecção é a combinação da condução com o movimento do fluido (Çengel, 2009).

Segundo Çengel (2009), a radiação é a “forma como a energia do sol atinge a Terra”, é a “energia emitida pela matéria sob forma de ondas eletromagnética”. Entende-se que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação térmica, que é como a radiação é “emitida pelos corpos devido à sua temperatura”.

Ao aplicarmos tais mecanismos ao cenário do material rodante que circula pela via férrea, podemos supor que todas as matérias envolvidas estão sujeitas aos mecanismos de transferência de calor. Nesse cenário, é preciso incluir as pessoas, uma vez que existe troca de calor entre o passageiro e o ambiente que o circunda e a percepção de conforto pelas pessoas fica sujeita a variáveis biológicas e ambientais (Costa, 1974).

Entendendo, na etapa de projeto, que o ar dentro do material rodante precisa circular, em modelos que as janelas não abrem, geralmente são instalados aparelhos de ar-condicionado, que é um recurso artificial para refrigerar ambientes. O sistema de ar-condicionado permite a circulação de ar entre o ambiente externo e interno, resfriando o ar que chega ao carro e realizando a filtragem e renovação do ar no carro de passageiros. O resultado esperado é proporcionar conforto térmico aos passageiros, pois os limites que expressam conforto térmico são individuais (Costa, 1974; AGETRANSP, 2025; Çengel, 2009).

Para além das questões de conforto térmico, que estão associados à experiência do passageiro, é preciso entender que processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação acontecem entre os outros agentes envolvidos, do próprio material rodante e da interação dele com a via permanente. Entre os processos de transferência de calor no cenário de operação inclui-se: radiação solar sobre o trem, troca de calor entre os equipamentos e funcionamento dentro do carro, interação roda-trilho, e troca de calor entre a superestrutura da via e o carro.

Considerando que a capacidade dos sistemas a resistir a eventos extremos é testada continuamente devido às mudanças climáticas, entender que diferentes superfícies absorvem e dissipam calor de formas distintas permite concluir que a superfície artificial criada para permitir a circulação de pessoas tem fatores que contribuem para a absorção de mais calor.

2.2.3. Atividades de manutenção

A estrutura de transporte é exposta a riscos severos em um cenário de aumento extremo de temperatura. As possíveis estratégias a serem adotadas no transporte precisam mitigar danos e proteger o sistema (Moretti et al., 2018). A manutenção

dos meios, equipamentos e sistemas dos sistemas ferroviário e metroviário acontece, geralmente, de forma preventiva e de forma corretiva, para permitir que a operação transcorra de forma segura e eficiente.

A manutenção preventiva busca preservar o desempenho do equipamento através de intervenções periódicas. As atividades são planejadas e executadas com o objetivo de garantir a disponibilidade e confiança no ativo, para aumentar a vida útil deles. A manutenção preventiva precisa atuar em todos os componentes da via permanente e do material rodante, para que o conjunto funcione com o melhor desempenho possível, evitando acidentes e riscos para operação. A vida útil de cada componente é sempre estimada através das recomendações do fabricante e de seu histórico. Entretanto, é necessário identificar o momento ideal para intervir, quando em fim de vida útil (Sousa, 2023).

A manutenção preventiva visa minimizar riscos à operação e preservar o patrimônio. Ao identificar não conformidades, faz-se necessário aplicar ações corretivas. A manutenção corretiva é um processo de intervenção quando já foi identificada a necessidade de atuação de equipe responsável, após a identificação de avaria, de forma planejada ou não (Castello Branco e Ferreira, 2002). Segundo Brina (1988), a via está sujeita a ações de desgaste das rodas dos veículos e do meio (intempéries). A via permanente é construída para ser renovada quando o desgaste alcançar o limite de tolerância seguro.

A inspeção da via permanente, que é parte do processo de manutenção, é realizada pela equipe a pé, com inspeção visual (Silva, 2002). A inspeção da via permanente também acontece através do carro controle, que inspeciona a geometria da linha, em planta e perfil, permitindo que a equipe inclua em seus planejamentos execução de atividades de correção de geometria de via. O carro controle pode, ainda, medir as variações de bitola, as flechas de curva, a superelevação e o nivelamento longitudinal e transversal da via (Brina, 1988).

Segundo Brina (1988), a superelevação do trilho/via é a maior altura do trilho externo, em comparação ao trilho interno, em curvas do traçado da via. Ao realizar atividades de manutenção na malha ferroviária, para obter os melhores resultados, é preciso ter pessoal treinado para identificar defeitos na superestrutura relacionados ao lastro contaminado ou insuficiente, alta taxa de dormentes inservíveis, ausência de fixações ou fixações inservíveis, trilho avariado, flambagem de via, entre outros (Miguel, 2022).

A manutenção adequada do lastro, com compactação adequada e o alinhamento dos trilhos, é fundamental para evitar fenômenos como a flambagem (NAVA, 2023). Cassaro (2017) identificou como ações mitigadoras ao fenômeno de ensarilhamento a atualização das equipes de manutenção que tratam da área, capacitação dos profissionais para inspecionar a superestrutura identificando pontos vulneráveis, entre outras.

Entre as atividades de manutenção corretiva na via permanente está a atividade de socaria, que acontece através da máquina socadora para reestabelecer a geometria estipulada para a via (Sousa, 2023).

Como exemplo de tecnologia que contribui para o acompanhamento da temperatura na via férrea, Santos et al. apresenta um sistema de monitoramento da temperatura dos trilhos, o SISTEMP (Santos, 2021), que envia alertas e indica restrições de velocidade e interdições em situações extremas.

Em relação as atividades de manutenção preventiva do material rodante, entende-se que cada modelo e fabricante tem especificidades a serem respeitadas no ciclo de manutenção. A manutenção preventiva do material rodante precisa incluir itens ligados a segurança do ativo para circular. Inclusive, em relação a manutenções relacionadas a temperatura dentro do carro de passageiros, está associada com o melhor desempenho possível do sistema de ar-condicionado instalado nos trens.

O Manual De Infraestrutura Verde Para A Faixa Ferroviária (2024) analisou a malha ferroviária da CPTM, que possui áreas livres adjacentes às linhas que possuem vegetação que precisam passar por poda ou remoção, considerando ainda que as raízes das plantas interferem na infraestrutura da via permanente. O manual propõe adoção de técnicas para seleção adequada de espécies para a melhoria do ecossistema da ferrovia.

A título de exemplo de iniciativa brasileira de atividade preventiva praticada por equipe de manutenção para tentar mitigar o risco de ensarilhamento na via, cita-se o trabalho desenvolvido pela equipe de manutenção da operadora das linhas 8 e 9 da capital São Paulo. Segundo Grasso (CNN, 26/02/2025), o trabalho desenvolvido pela equipe consiste em aplicar tinta branca comum na alma e patim do trilho, com o auxílio de um veículo rodoferroviário. A temperatura dos trilhos pintados com a tinta branca apresentou redução de cerca de 6°C.

Em estudo realizado por Passo (2021), foram estudadas redes neurais artificiais para aprender a identificar defeitos em trilho.

3

Sistema ferroviário e metroviário do Rio de Janeiro

Este capítulo aborda as altas de temperatura registradas ao longo da malha metroferroviária do Rio de Janeiro, apresentando os fenômenos aos quais os sistemas estão sujeitos e as atividades de manutenção dos sistemas metroviário e ferroviário.

3.1

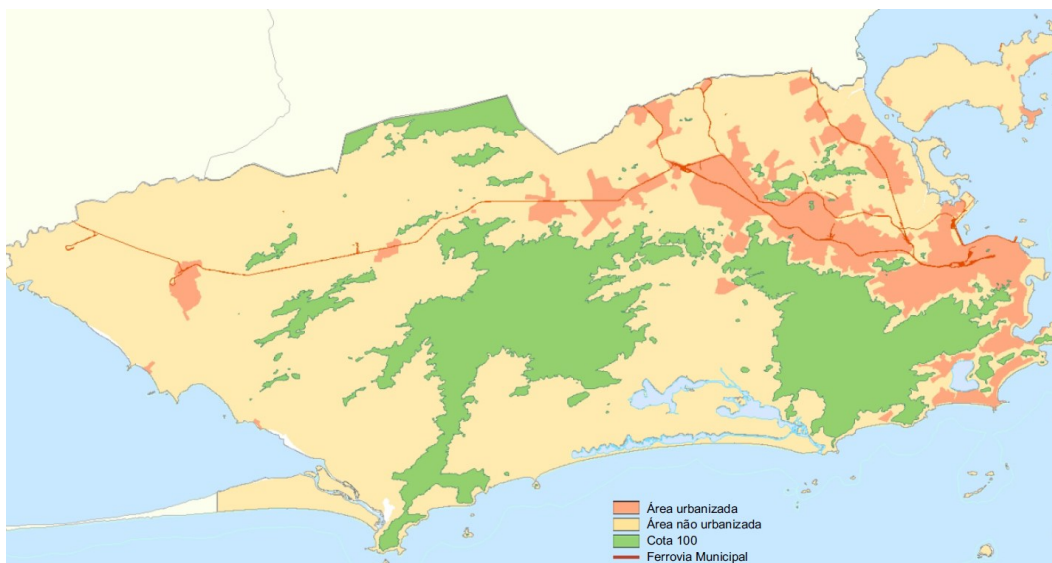
Sistema ferroviário e metroviário do Rio de Janeiro e o impacto das altas temperatura na sua área urbana

O Rio de Janeiro é classificado como metrópole nacional (IBGE, 2020), tem histórico de altas temperaturas ao longo de todo o ano, sofre com o fenômeno de ilha de calor e possui uma extensa malha metroferroviária que está sujeita as mudanças climáticas.

No Brasil, há concentração de áreas de urbanizadas no litoral. O Rio de Janeiro é o segundo município com maior extensão absoluta de área urbanizada no Brasil, com 53,35% de proporção de áreas urbanizadas em relação à área oficial Total (IBGE, 2019).

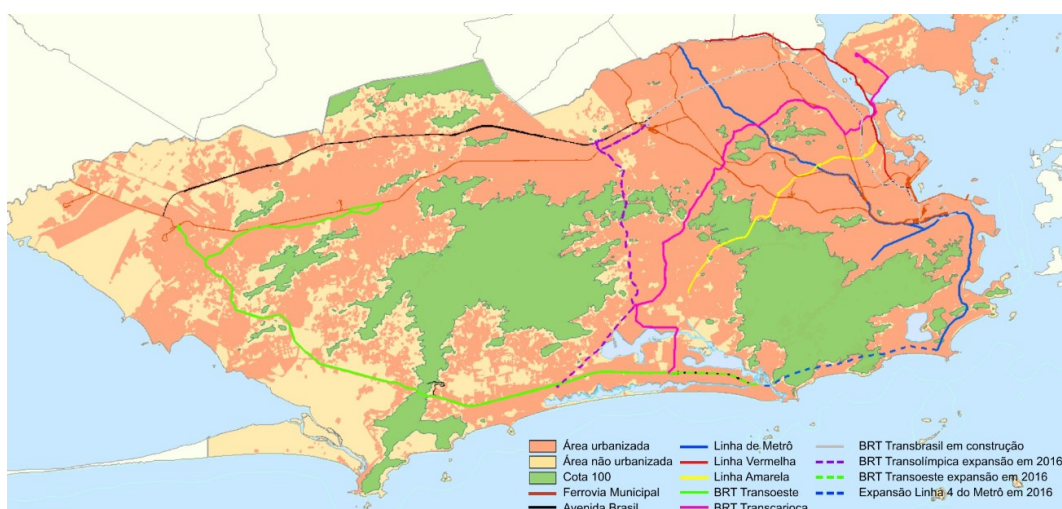
A evolução da urbanização do Rio de Janeiro, foi registrada pelo Instituto Pereira Passos – IPP (2018), e pode ser observada através da figura que mostra urbanização do Rio entre os anos de 1900 e 1920 (figura 6) e a urbanização entre os anos 2011 e 2015 (figura 7).

Figura 6: Evolução da urbanização no município do Rio de Janeiro entre 1900 e 1920.



Fonte: IPP (2018)

Figura 7: Evolução da urbanização no município do Rio de Janeiro entre 2011 e 2015.



Fonte: IPP (2018)

A cota 100 significa que a altitude é de 100 (cem) metros em relação a superfície de nível de referência. É válido ressaltar que, como a figura 7 foi elaborada para o período até 2015, as obras das estações de metrô da linha 4 ainda não haviam sido finalizadas.

Nas figuras 6 e 7 apresentadas é possível observar que, em menos de um século, houve aumento de áreas urbanizadas (áreas em rosa) e ampliação do sistema viário no município do Rio de Janeiro.

O IBGE (2020) classifica o arranjo populacional do Rio de Janeiro/RJ como uma metrópole nacional, sendo um centro urbano com influência a nível nacional. Essa metrópole está sujeita ao fenômeno das ilhas de calor, por ser uma área urbanizada com calor característico, relativo à superfície ou materiais abaixo da superfície, devido ao aumento da temperatura do ar (CLIMATOLOGIA, 2024).

O Rio de Janeiro, que é o segundo município com maior extensão absoluta de área urbanizada no Brasil, sofre com o fenômeno de ilhas de calor e possui, historicamente, registro altas temperaturas durante todo o ano (IBGE, 2019). Estudar o sistema de transporte metroferroviário do Rio de Janeiro e os fenômenos climáticos aos quais estão sujeitos contribui para o desenvolvimento da infraestrutura de mobilidade urbana de forma sustentável.

Almeida et al. (2016) estudaram o comportamento das temperaturas de superfície de diferentes áreas da cidade do Rio de Janeiro, e entenderam que o uso do solo heterogêneo favorece a ocorrência de diferentes temperaturas na cidade. As ilhas de calor foram registradas, em sua maioria, em bairros com maior urbanização e não tão arborizados; e registrou-se aumento significativo na amplitude de variação de temperatura do período analisado. O estudo concluiu que altas temperaturas eram identificadas em áreas mais densamente ocupadas da cidade, considerando as áreas mais críticas a região do Centro, Zona Norte, Zona Oeste e a Baixada de Jacarepaguá, destacando-se os bairros do Caju, São Cristóvão, Méier, Inhaúma, Penha, Irajá, Realengo, Bangu, Campo Grande, Guaratiba, Jacarepaguá e algumas áreas da Barra da Tijuca, onde as altas temperaturas foram mais frequentes (Almeida et al., 2016).

Ao comparar os bairros com os maiores registros de temperatura, do trabalho realizado por Almeida et al. (2016), com a localização geográfica de cada estação do sistema metroferroviário, é possível quantificar estações que se encontram nesses bairros. A definição de região é baseada no Decreto nº 48.610, de 15 de março de 2021, que define as áreas de abrangência das subprefeituras (DECRETO Nº 48.610, 2021).

A tabela 1 mostra a quantidade de estações ferroviárias e metroviárias, por bairro e região do Rio de Janeiro.

Tabela 1: Número de estações por bairro e região do Rio de Janeiro

Região	Bairro	Quantidade de estações	
		Ferroviária	Metroviária
Centro Histórico	Caju	0	0
Centro Histórico	São Cristóvão	1	1
Zona Norte	Méier	3	0
Zona Norte	Inhaúma	0	1
Zona Norte	Penha	1	0
Zona Norte	Irajá	0	1
Zona Oeste	Realengo	0	0
Zona Oeste	Bangu	2	0
Zona Oeste	Campo Grande	1	0
Zona Oeste	Guaratiba	0	0
Jacarepaguá	Jacarepaguá	0	0
Barra da Tijuca, Recreio e Vargens	Barra da Tijuca	0	1
	Total	8	4

Fonte: Elaboração da autora baseado nos dados de Almeida et al. (2016).

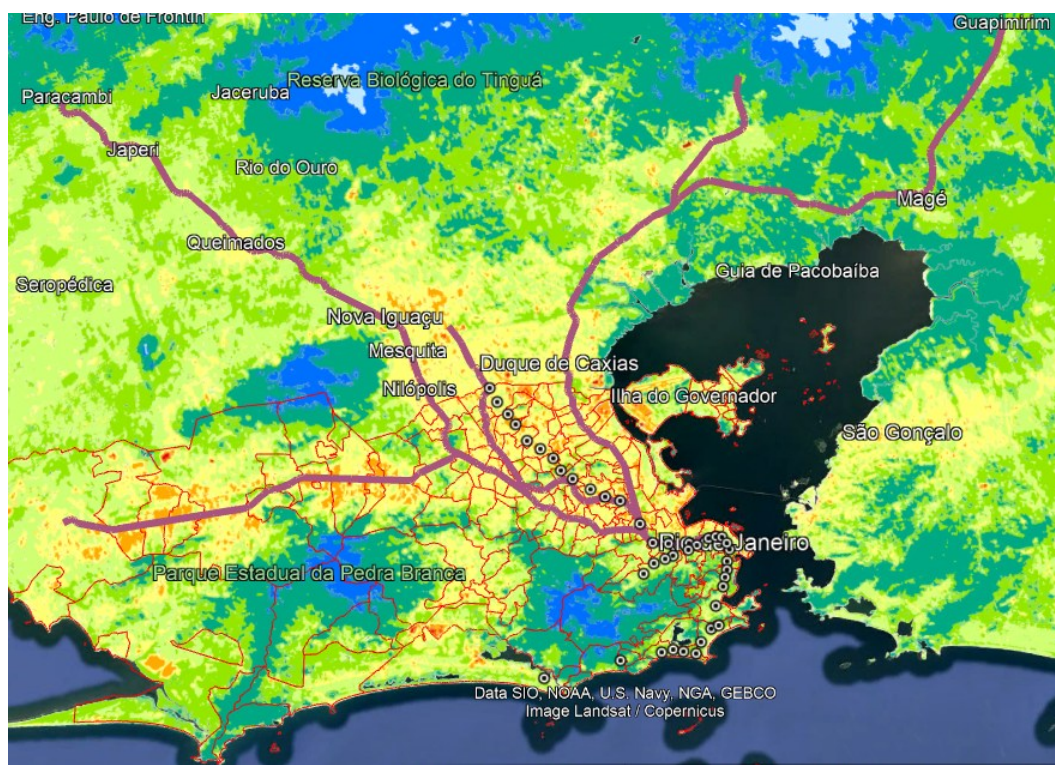
Na tabela 1, é possível perceber que dos 12 (doze) bairros que apresentaram as maiores médias de temperatura, em apenas 4 (quatro) não havia uma estação de metroviária nem ferroviária.

A figura 8 foi elaborada com o objetivo de mapear as faixas de temperaturas registradas no Rio de Janeiro, e comparar com a localização da malha ferroviário do estado do Rio de Janeiro, com a finalidade de analisar a relação entre a linha do trem e do metrô e as temperaturas.

A figura 8 mostra as faixas de temperaturas registradas no ano de 2020 no Rio de Janeiro, a partir dos dados disponíveis no Data Rio (2025) e no Climatologia RJ (2024), e localiza as estações da malha ferroviária e metroviária (figura 8).

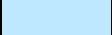
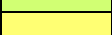
Para explicar as cores visíveis na figura 8, a tabela 2 mostra a relação de cor com as faixas de temperaturas registradas no ano de 2020 no Rio de Janeiro, segundo o Climatologia (2024), tabela 2.

Figura 8: Figura com as temperaturas registradas no Rio de Janeiro e as estações do sistema metroferroviário.



Fonte: Adaptado dos dados disponíveis em Climatologia (2024) e no Data Rio (2024).

Tabela 2 – Legenda de faixa de temperaturas, em °C, registradas no Rio de Janeiro em 2020.

Cor	Faixa de Temperatura (°C)
	< 16,0 °C
	16,1 °C - 20,0°C
	20,1 °C - 25,0°C
	25,1 °C - 28,0°C
	28,1 °C - 31,0°C
	31,1 °C - 34,0°C
	34,1 °C - 37,0°C
	37,1 °C - 40,0°C
	40,1 °C - 44,0°C
	> 44 °C

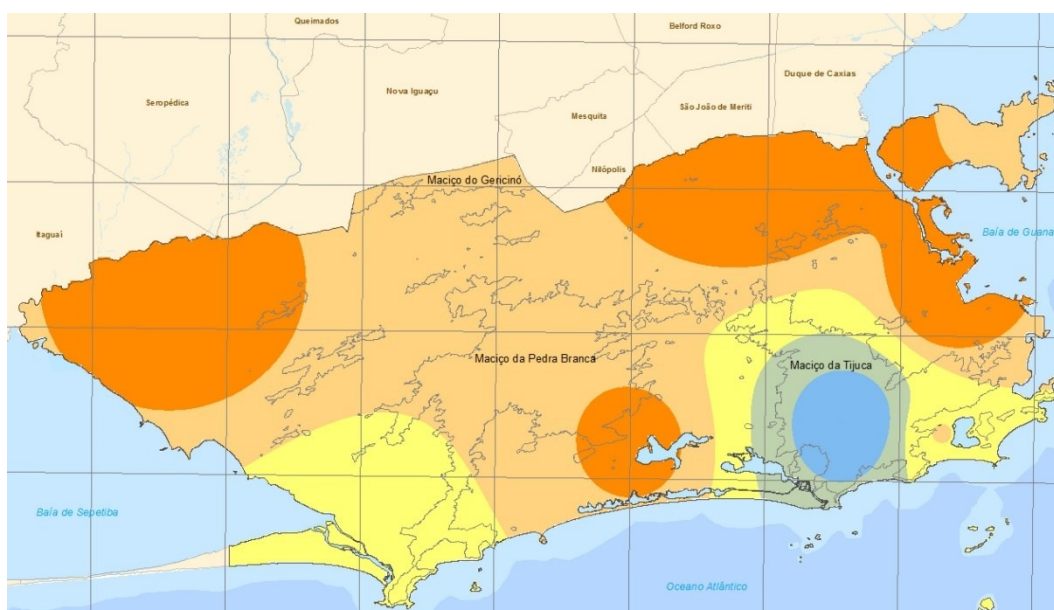
Fonte: Adaptado de Climatologia (2024).

Ao adicionar no google Earth as camadas da malha ferroviária (linhas vermelhas) e metroviária (ícones roxos) do Rio de Janeiro é possível identificar que, no aspecto geral, as temperaturas nas regiões que contemplam as malhas são superiores a 31,1°C.

O estudo realizado por Meireles et al. (2014) analisou a temperatura da superfície da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e concluiu que o fenômeno de ilha de calor existe durante todo o ano, destacando-se na baixada fluminense.

O IPP (2018) publicou a figura da temperatura média anual, no período de 2015 a 2016, do município do Rio de Janeiro. Explicando ainda que, na planície atrelada à Baía de Guanabara, as temperaturas são mais altas, e que nos maciços, com altitude e cobertura vegetal, as temperaturas são mais amenas (figura 9).

Figura 9: Temperatura média anual no município do Rio de Janeiro em 2015/2016



Fonte: IPP (2018)

A tabela 3 apresenta a faixa de temperatura, em °C, da figura 9.

Tabela 3: Legenda de faixa de temperaturas registradas, em °C.

Cor	Faixa de Temperatura (°C)
	> 25,00 °C
	24,67 °C - 25,00°C
	24,04 °C - 24,67°C
	23,00 °C - 24,04°C
	< 23,00 °C

Fonte: Adaptado do IPP (2018)

Diante dos dados, é possível notar que diversas estações do sistema metroferroviário estão localizados em áreas urbanizadas e com registro de temperaturas mais elevadas.

3.1.1.

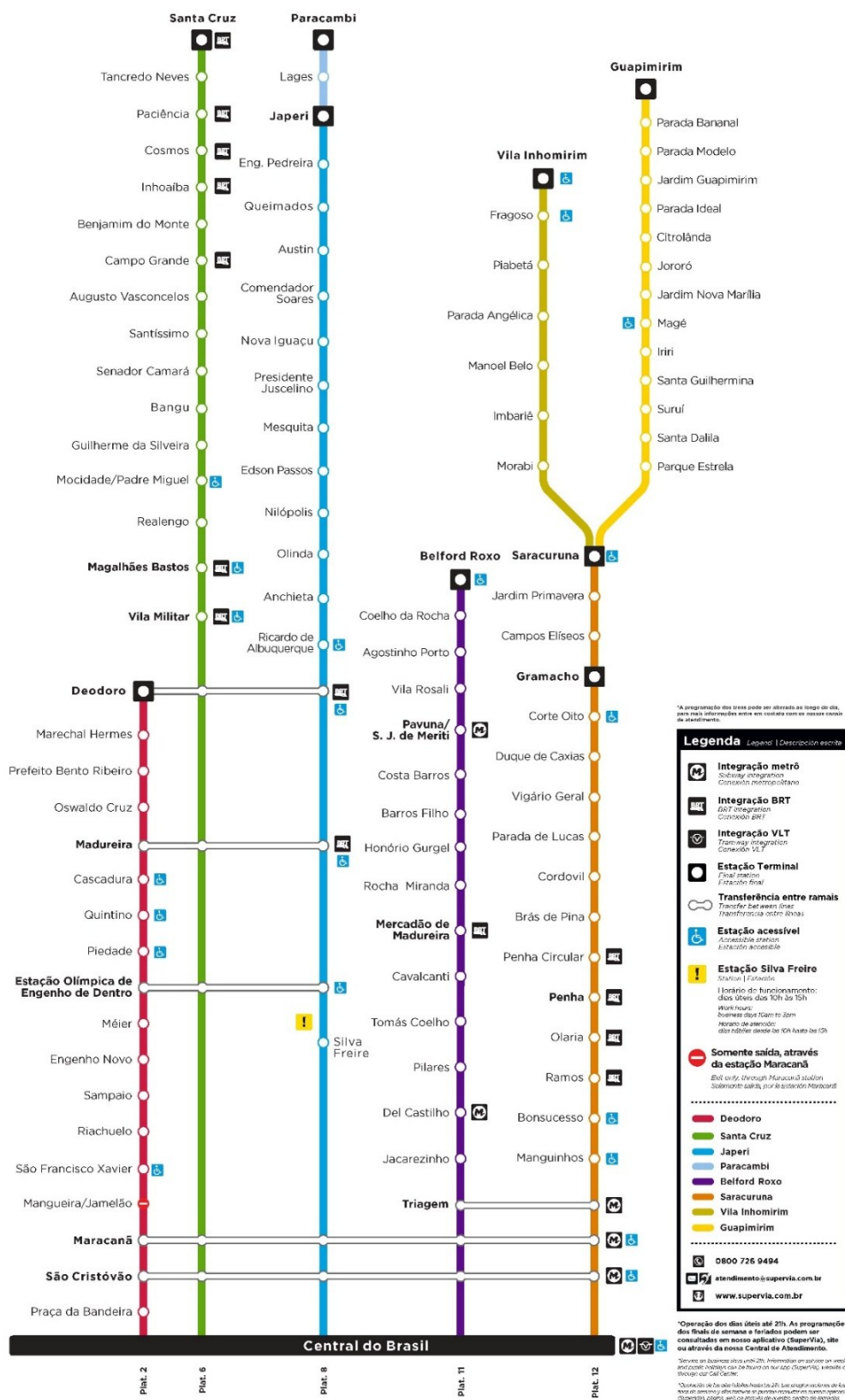
O sistema ferroviário do Rio de Janeiro

A malha ferroviária é um ambiente propício para a retenção de calor, pois sua superestrutura é composta de elementos que permitem aos trens que se desloquem por trilhos, em uma área exposta a radiação solar e com transmissão de calor intensa.

A ferrovia do Rio de Janeiro tem a sua operação concedida à Concessionária SuperVia, que é regulada e fiscalizada pela AGETTRANSP (AGETTRANSP, 2025). A malha ferroviária é composta por 104 (cento e quatro) estações, distribuídas em cinco ramais e três extensões, e integra onze municípios, incluindo a cidade do Rio de Janeiro e região metropolitana (SuperVia, 2024).

A figura 10 mostra a malha ferroviária, com seus ramais (Deodoro, Santa Cruz, Japeri, Belford Roxo e Saracuruna) e suas extensões (Paracambi, Vila Inhomirim e Guapimirim), que compõe os 270km de linha férrea (SuperVia, 2025).

Figura 10 - Sistema ferroviário



Fonte: Site da SuperVia (2025).

A tabela 4 apresenta os ramais do sistema ferroviário e os municípios contemplados.

Tabela 4 – Ramais ferroviários e os municípios que atendem

Ramal	Municípios
Deodoro	Rio de Janeiro
Santa Cruz	Rio de Janeiro
Japeri	Rio de Janeiro, Nilópolis, Mesquita, Nova Iguaçu, Queimados e Japeri
Paracambi	Rio de Janeiro, Nilópolis, Mesquita, Nova Iguaçu, Queimados, Japeri e Paracambi
Belford Roxo	Rio de Janeiro, São João de Meriti e Belford Roxo
Saracuruna	Rio de Janeiro e Duque de Caxias
Vila Inhomirim	Duque de Caxias e Magé
Guapimirim	Duque de Caxias, Magé e Guapimirim

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A malha ferroviária é extensa e corta diversos municípios do Rio de Janeiro. A figura 11 mostra o registro da estação Madureira, em junho de 2024. Nela é possível perceber que, para além da estrutura da via permanente, antes de chegar à estação, a via está completamente exposta a radiação solar. É possível notar que, para além da faixa de domínio, há urbanização do espaço, com moradias. A figura da estação de Madureira (figura 11) e a figura 12, da Estação Maracanã, também segue a mesma organização, assim como a maior parte das estações dos 270km de malha.

Figura 11: Estação Madureira, em junho de 2024.



Fonte: AGETRANS (2025).

Figura 12: Estação Maracanã, em junho de 2024.



Fonte: AGETRANS (2025).

Segundo os dados da AGETTRANSP (2025), a SuperVia transportou 85.253.741 passageiros no ano de 2024.

A via permanente da ferrovia possui cerca de 700.000 dormentes, sendo cerca de 79% dos dormentes de madeira, e o restante de concreto. A via permanente possui aproximadamente 270km e tem aproximadamente 760km de trilhos (AGETTRANSP, 2025). A via permanente está exposta a riscos relacionados à passagem da composição e avarias relacionadas aos agentes atmosféricos (Brina, 1988).

3.1.2.

O sistema metroviário do Rio de Janeiro

O metrô é considerado uma solução eficiente para o transporte de alta demanda nas metrópoles pela sua possibilidade de promover uma interligação entre modais, como ônibus, trem, BRT e outros. Além disso, ao utilizar espaço subterrâneo, não sobrecarrega a infraestrutura viária. Esse transporte causa baixa vibração, emissões e ruídos na superfície, reduzindo a poluição ambiental (PlanMob, 2015).

O metrô do Rio de Janeiro tem a sua operação concedida à Concessionária MetrôRio (linha 1 e 2) e Concessionária RioBarra (linha 4), que é regulada e fiscalizada pela AGETTRANSP. A malha metroviária é composta por 41 (quarenta e uma) estações (AGETTRANSP, 2025).

A figura 13, extraída do site da MetrôRio (2025), mostra a malha metroviária e suas estações, sendo uma boa forma de exemplificar a extensão territorial do sistema.

Figura 13: Sistema metroviário



Fonte: Adaptado do site do MetrôdoRio (2025)

Segundo os dados da AGETTRANSP (2025), em 2024 foram transportados, no total, 183.646.027 passageiros, sendo 155.347.553 passageiros nas linhas 1 e 2 e 28.298.474 passageiros na linha 4.

A via permanente do metrô do Rio de Janeiro possui trechos no qual a via possui lastro, e outros em que não há lastro. Na via são utilizados dormentes de concreto (TR-57) e de madeira. Os dormentes de concreto são do tipo: Monobloco, Bloco único ou Bi bloco. Nas vias sem lastro, os dormentes são bi bloco de concreto VSL, assentados em Radier de Concreto (AGETTRANSP, 2025).

3.2

Atividades de manutenção da via permanente do sistema ferroviário

As atividades de manutenção na via permanente do sistema ferroviário do Rio de Janeiro, segundo informações fornecidas pela AGETRANSP (2025), acontecem através de inspeções do carro controle, por ultrassom e por ronda.

Mensalmente, o carro controle percorre trechos dos ramais e pátios para analisar se os parâmetros de geometria da via permanente respeitam os limites permitidos para a circulação. O resultado dos dados obtidos através do carro controle são usados nas atividades de planejamento da área de manutenção, planejando e executando as intervenções imediatas nos pontos de bitola e torção, que são pontos de maior relevância para a operação. As avarias que podem ser corrigidas sem que se paralise o sistema integram o planejamento e são programadas (AGETRANSP, 2025).

A equipe de manutenção também realiza atividades de correção geométrica da via, através de socadoras/reguladoras de lastro, para nivelar e alinhar a via permanente, conforme detecção do equipamento do carro controle e com periodicidade anual (AGETRANSP, 2025).

A inspeção através do equipamento de ultrassom, na SuperVia, segundo a AGETRANSP (2025), é realizada por equipe treinada, de forma manual e a pé, com o objetivo de detectar pontos de fissura, trincas, pontos vazios em soldas e demais falhas em trilhos, que possam gerar descarrilamentos ou outros danos que podem afetar a operação comercial (AGETRANSP, 2025).

A inspeção é diária, e os resultados gerados alimentam o planejamento de ações corretivas. As avarias, para serem identificadas, são pintadas e classificadas por gravidade. A inspeção por ronda é feita a pé, diariamente, e por duas pessoas com treinamento para atuar de forma imediata na via que está sob análise (AGETRANSP, 2025).

Em relação as orientações de trabalho da via permanente, segundo a AGETRANSP (2025), se em inspeção dos trilhos seja detectado um ângulo próximo ao limite de 33° ou 25% de desgaste, é considerado a necessidade de realizar inspeção com prioridade. Existe também a aferição de temperatura no eixo neutro dos trilhos. Nos casos em que a temperatura ambiente seja de 35°C e a

temperatura do trilho seja de 42°C, é emitido alerta para iniciar plano de inspeções contínuas.

Através dos dados disponibilizados pela AGETRANSP (2025) foi possível identificar qual a velocidade máxima permitida por linha e por ramal, como pode ser observada na tabela 5.

Tabela 5: Velocidade máxima permitida por ramal e por linha (2025)

RAMAL_LINHA	VEL (km/h)
DEODORO_1	80
DEODORO_2	80
DEODORO_3	80
DEODORO_4	80
DEODORO_5	80
GRAMACHO_1	70
GRAMACHO_2	70
JAPERI_1	80
JAPERI_2	80
SANTA CRUZ_1	80
SANTA CRUZ_2	80
SARACURUNA_1	70
SARACURUNA_1	60
BELFORD ROXO_1	70
BELFORD ROXO_2	70
PARACAMBI_1	40

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025)

As linhas 1, 2, 3, 4 e 5 do Ramal Deodoro podem ter trens circulando até a velocidade máxima de 80km/h, e essa velocidade também se aplica às duas linhas dos Ramais Japeri e Santa Cruz. Os Ramais Gramacho (linhas 1 e 2) e Belford Roxo Gramacho (linhas 1 e 2) têm velocidade máxima permitida de 70km/h. No Ramal Saracuruna, na passagem em nível em Gramacho a velocidade máxima permitida é de 70km/h, enquanto nas estações Campos Elíseos, Jardim Primavera e no pátio da

estação Saracuruna a velocidade é de 60km/h. Enquanto na extensão Paracambi e Lajes a velocidade máxima permitida é de 40km/h.

É possível observar que cada trecho e linha possui uma máxima velocidade de circulação. Esse valor é determinado através de um conjunto de fatores, como o projeto da via e vida útil dos ativos.

Ao detectar avarias ou inconsistências na via permanente, a boa prática recomenda que sejam aplicadas restrições de velocidade no trecho. Segundo a AGETRANSP (2025), a Concessionária emite o QRV, que é o Quadro de Restrições de Velocidade, para sinalizar aos maquinistas (quem comanda o trem) qual a velocidade a ser praticada nos trechos com restrição. A restrição de velocidade traz segurança a operação, mesmo com o aumento no intervalo de viagem praticado, e são variáveis, de acordo com a necessidade do trecho.

A partir dos dados disponibilizados pela AGETRANSP (2025) do QRV emitido mensalmente no período entre janeiro de 2022 e junho de 2024, foi possível elaborar a tabela 6, que apresenta a extensão, em metros, de cada linha.

Tabela 6: Extensão em m de cada ramal

RAMAL	Total de m
BELFORD ROXO_1	32.962
BELFORD ROXO_2	32.962
DEODORO_1	22.256
DEODORO_2	22.256
DEODORO_3	22.424
DEODORO_4	22.424
DEODORO_5	5.933
GRAMACHO_1	20.959
GRAMACHO_2	20.959
JAPERI_1	38.954
JAPERI_2	38.954
SANTA CRUZ_1	32.744
SANTA CRUZ_2	32.744
SARACURUNA_1	10.711
PARACAMBI_1	8.608

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

Ao analisar quais as não conformidades que foram registradas em cada ramal e em cada trecho, geradoras de uma restrição de velocidade, foi produzida a tabela 6, que mostra em quantos metros a não conformidade foi identificada e o quanto isso representa percentualmente no trecho inteiro. Ressalta-se que as não conformidades aqui apresentadas são as pertinentes para o escopo do estudo.

A tabela 7 apresenta a extensão em metros (Ext.m) de cada não conformidade identificada em cada trecho e qual a porcentagem dessa não conformidade no trecho total, entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

Tabela 7: Não conformidades por ramal e linha entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

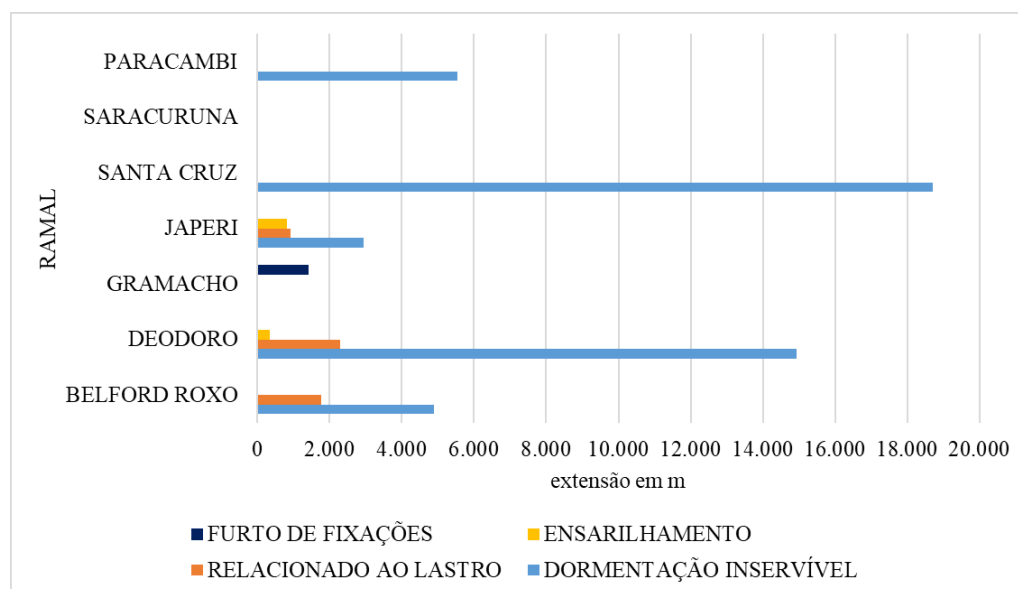
Ramal_Linha	Não Conformidade Identificada	Dormentação Inservível	Relacionado Ao Lastro	Ensarilhamento	Furto De Fixações
Belford Roxo_1	Ext. m	3.205	300	-	-
	%	9,7%	0,9%	-	-
Belford Roxo_2	Ext. m	1.690	1.470	-	-
	%	5,1%	4,5%	-	-
Deodoro_1	Ext. m	3.253	1.300	350	-
	%	14,6%	5,8%	1,6%	-
Deodoro_2	Ext. m	7.710	400	-	-
	%	34,6%	1,8%	-	-
Deodoro_3	Ext. m	2.814	600	-	-
	%	12,5%	2,7%	-	-
Deodoro_4	Ext. m	1.160	-	-	-
	%	5,2%	-	-	-
Deodoro_5	Ext. m	-	-	-	-
	%	-	-	-	-
Gramacho_1	Ext. m	-	-	-	960
	%	-	-	-	4,6%
Gramacho_2	Ext. m	-	-	-	450
	%	-	-	-	2,1%
Japeri_1	Ext. m	2.935	200	400	-
	%	7,5%	0,5%	1,0%	-
Japeri_2	Ext. m	-	720	420	-
	%	-	1,8%	1,1%	-
Santa Cruz_1	Ext. m	7.388	-	-	-
	%	22,6%	-	-	-
Santa Cruz_2	Ext. m	11.320	-	-	-
	%	34,6%	-	-	-
Saracuruna_1	Ext. m	-	-	-	-
	%	-	-	-	-
Paracambi_1	Ext. m	5.530	-	-	-
	%	64,2%	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

As não conformidades pertinentes ao estudo, identificadas na tabela 7, são: a detecção de dormentes fora dos parâmetros estabelecidos (dormentes inservíveis), casos de não conformes em relação ao lastro da via, seja por deficiência ou outros fatores (Relacionado Ao Lastro), casos identificados durante a inspeção de ensarilhamento, e o de furto de fixações, casos nos quais identificou-se ausência de fixação por furto.

O gráfico 1 mostra a extensão em metros de cada não conformidade identificada na tabela por ramal, no período entre janeiro de 2022 e junho de 2024, que acarretou restrição de velocidade no trecho.

Gráfico 1: Não conformidades por ramal entre janeiro de 2022 e junho de 2024.



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETTRANSP (2025).

Na SuperVia, as maiores extensões em metros, com dormentes inservíveis, foram identificadas nos rama: Santa Cruz e Deodoro. O Ramal Japeri é o que apresenta maior diversidade de não conformidades identificadas.

Ainda analisando as atividades periódicas de manutenção da via permanente da SuperVia, é possível observar, na tabela, a análise dos dados de atividades de manutenção encaminhados mensalmente a AGETTRANSP (2025), apresentando a extensão, em metros, de cada atividade realizada pela equipe de manutenção, em cada ramal do sistema ferroviário, entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

A tabela 8, segundo os dados encaminhados mensalmente pela SuperVia a AGETTRANSP (2025), apresenta a extensão em metros (Ext. m), percorrida pelo

carro controle, em cada ramal do sistema ferroviário, entre janeiro de 2022 e junho de 2024. Ainda apresenta as atividades de manutenção corretiva, e qual a extensão inspecionada que necessitou de restrição de velocidade, que incluem a correção de bitola, atividades para estabilizar a via permanente, atividades de socaria, realização de correção geométrica e nivelamento da via, no período analisado.

Tabela 8: Registro das atividades de manutenção, entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

Ramal_Linha		Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva				
		Carro Controle	Correção De Bitola	Estabilização De Via	Atividade De Socaria	Correção Geométrica	Nivelamento
Belford Roxo_1	Ext. m	4.973	280	1.160	-	-	-
	%	15,1%	0,8%	3,5%	-	-	-
Belford Roxo_2	Ext. m	6.045	-	560	2.630	200	-
	%	18,3%	-	1,7%	8,0%	0,6%	-
Deodoro_1	Ext. m	4.547	-	-	8.280	990	-
	%	20,4%	-	-	37,2%	4,4%	-
Deodoro_2	Ext. m	5.924	-	-	8.158	-	-
	%	26,6%	-	-	36,7%	-	-
Deodoro_3	Ext. m	1.570	-	-	3.130	400	750
	%	7,0%	-	-	14,0%	1,8%	3,3%
Deodoro_4	Ext. m	-	-	-	14.100	1.200	-
	%	-	-	-	62,9%	5,4%	-
Deodoro_5	Ext. m	800	-	-	6.631	-	-
	%	13,5%	-	-	111,8%	-	-
Gramacho_1	Ext. m	4.110	-	-	11.910	-	-
	%	19,6%	-	-	56,8%	-	-
Gramacho_2	Ext. m	2.040	-	-	5.490	-	-
	%	9,7%	-	-	26,2%	-	-
Japeri_1	Ext. m	2.472	-	1.560	36.270	400	-
	%	6,3%	-	4,0%	93,1%	1,0%	-
Japeri_2	Ext. m	8.410	-	-	19.310	-	-
	%	21,6%	-	-	49,6%	-	-
Santa Cruz_1	Ext. m	2.983	-	-	10.500	-	-
	%	9,1%	-	-	32,1%	-	-
Santa Cruz_2	Ext. m	1.930	-	-	21.461	-	-
	%	5,9%	-	-	65,5%	-	-
Saracuruna_1	Ext. m	720	-	-	7.150	-	-
	%	6,7%	-	-	66,8%	-	-
Paracambi_1	Ext. m	17.042	-	-	-	-	-
	%	198,0%	-	-	-	-	-

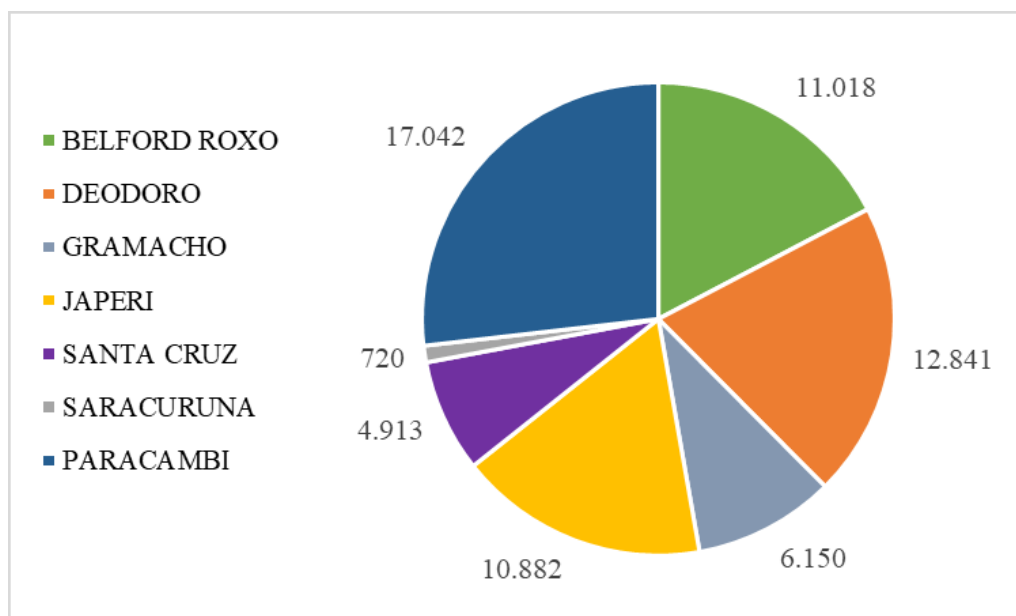
Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

Os dados apresentam % superiores a 100% pois, como se trata do registro de anos, alguns trechos são contabilizados mais de uma vez, pois tal atividade apresentou repetição no período analisado.

O gráfico 2 apresenta a quantidade de metros, por ramal, que foram inspecionados pelo carro controle no período entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

No período analisado, os ramais Deodoro e Paracambi foram os que tiveram maior registro de inspeções.

Gráfico 2: Extensão em m, por ramal, da inspeção do carro controle, entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

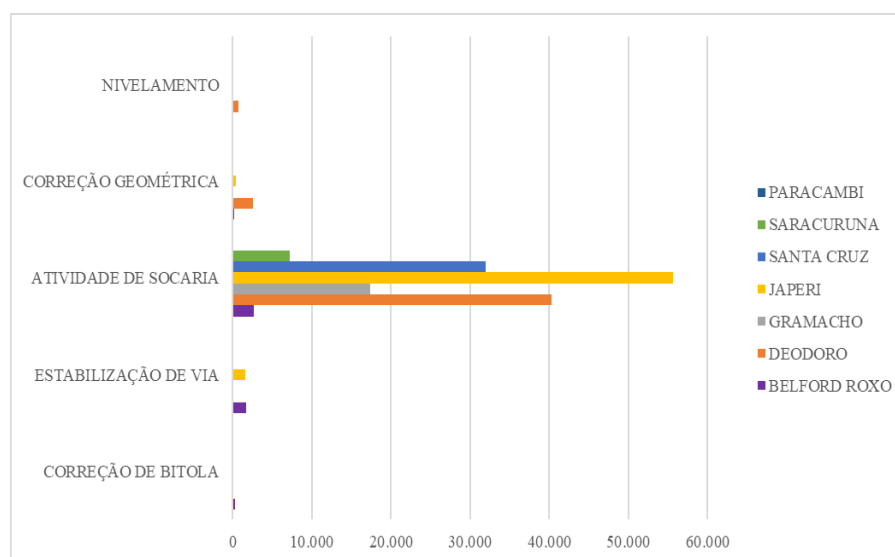


Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETTRANSP (2025).

O ramal que teve a maior extensão (em m) inspecionada através do carro controle foi o Paracambi, seguido por Deodoro.

O gráfico 3 mostra a extensão em metros de cada atividade de manutenção corretiva realizada pela equipe de manutenção da ferrovia carioca.

Gráfico 3: Extensão em metros, por ramal, da manutenção corretiva, entre jan./22 e jun./24.



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETTRANSP (2025).

Entre as atividades de manutenção corretiva, identifica-se que as atividades de socaria são as que foram mais realizadas, em todos os ramais, no período analisado. No escopo de atividades de manutenção preventiva, realizada na via permanente, no ano de 2024, baseado nos dados encaminhados pela AGETRANSP (2025), foi quantificado o número de atividade realizadas, por ramal e atividade, não associados com restrição na via (tabela 9). Os trechos referentes a Guapimirim, Magé e Vila Inhomirim são referentes aos trechos com bitola estreita.

Tabela 9: Atividade realizadas na via permanente em 2024, por ramal.

Atividade	Japeri	Belford Roxo	Saracuruna	Deodoro	Guapimirim	Magé	Santa Cruz	Vila Inhomirim	Total
Alívio de tensão	10	4	6	0	0	0	0	0	20
Intervenção na fixação	0	16	9	16	2	0	0	0	43
Correção de bitola	277	286	218	292	20	21	119	0	1.233
Correção de superelevação	0	24	0	0	0	0	0	0	24
Correção geométrica	0	0	10	0	0	0	0	0	10
Ensarilhamento	6	0	3	9	0	0	6	2	26
Furto de fixação	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Inspeção do Carro Controle	12	14	8	21	0	0	0	0	55
Inspeção por ultrassom	48	42	0	394	0	0	97	0	581
Manutenção de superestrutura de via perm.	75	52	27	291	0	0	154	0	599
Regulagem de lastro	4	0	0	20	0	0	0	0	24
Ronda de linha	387	449	419	727	176	0	487	0	2.645
Socaria	155	67	0	159	2	0	213	0	596
Substituição de trilho	17	6	0	94	0	0	10	0	127
Substituição de dormentes	464	420	281	578	43	72	460	0	2.318
Trilho não conforme	15	3	0	4	0	0	11	0	33
Total	1.470	1.383	984	2.605	243	93	1.557	2	8.337

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

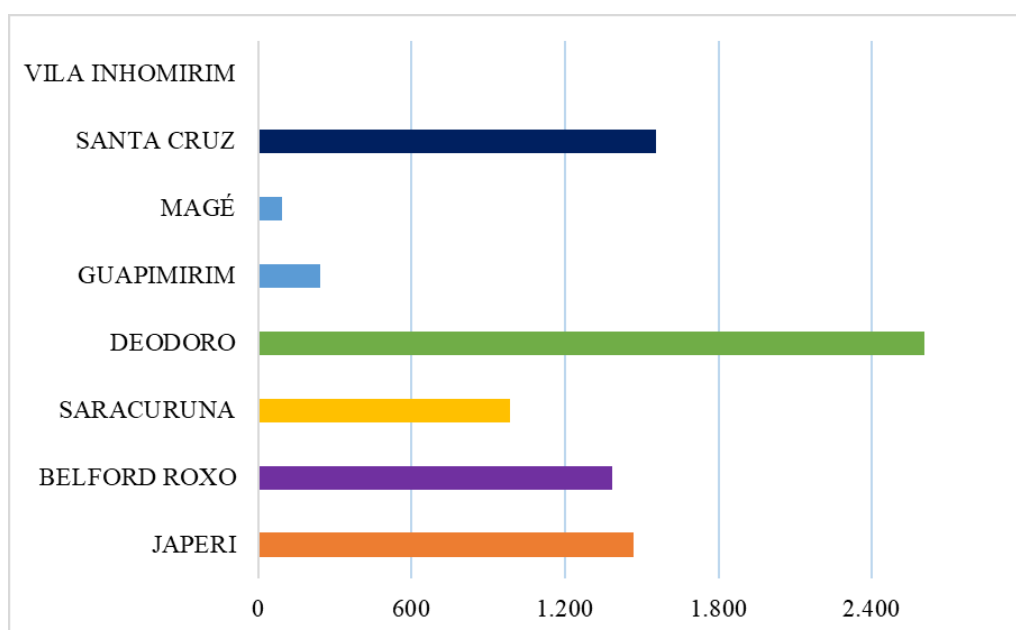
Entre as atividades que estão no escopo de manutenção da ferrovia podemos citar: alívio de tensão da via, intervenção na fixação para reparar alguma não

conformidade, correção de bitola, correção de superelevação, correção geométrica, casos de ensarilhamento, correção na fixação decorrente do furto de fixação, a inspeção do carro controle, a inspeção por ultrassom, a atividade de manutenção de superestrutura de via permanente, a regulagem de lastro, a realização de ronda de linha, a atividade de socaria, a substituição de trilho, a substituição de dormentes e o trilho não conforme.

O Ramal Deodoro foi o que mais recebeu intervenções da área de manutenção de via permanente da SuperVia. As maiores quantidades de atividades realizadas foram para correção de bitola, substituição de dormentes e ronda de linha.

O gráfico 4 mostra o total de atividades de manutenção realizada em 2024, por ramal. Nota-se que o Ramal Deodoro foi o que mais recebeu intervenções da área de manutenção de via permanente da SuperVia.

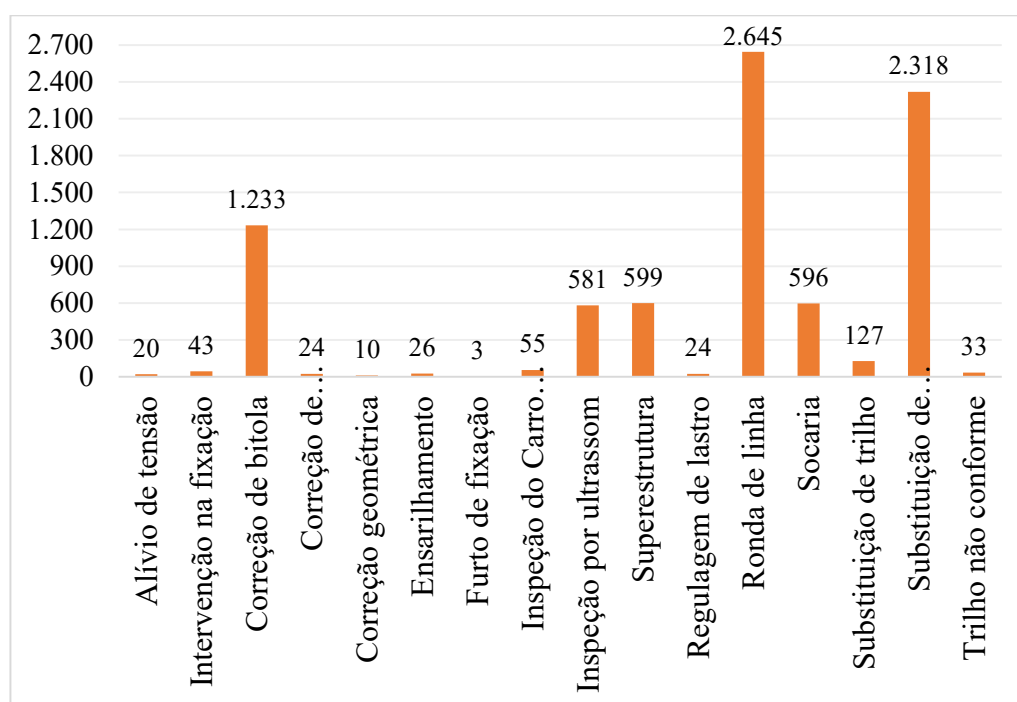
Gráfico 4: Total de Atividades de manutenção, em 2024, por Ramal.



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

O gráfico 5 mostra o total de atividades de manutenção realizado em 2024, por tipo de atividade realizada. Nota-se que a inspeção com o maior número de realizações foi a ronda de linha.

Gráfico 5: Atividades de manutenção, em 2024, por atividade realizada.



Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETRANSP (2025).

3.3

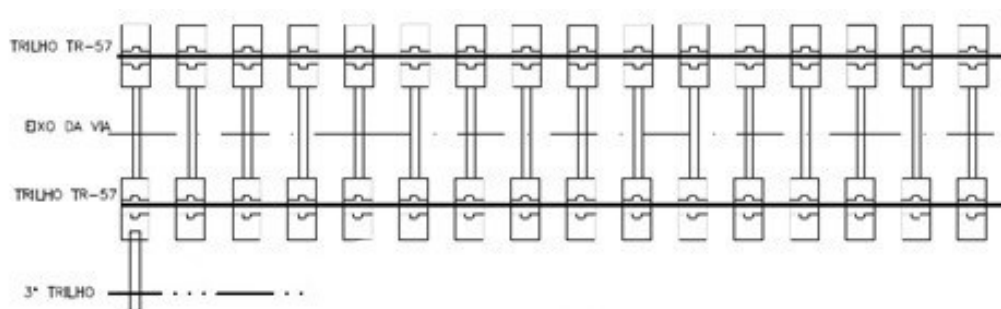
Atividades de manutenção da via permanente do sistema metroviário

O sistema metroviário do Rio de Janeiro, que atende a população através das linhas 1, 2 e 4, possui planejamento e execução de atividades de manutenção preventiva e corretiva, relativos ao seu sistema. A primeira diferença acontece no fato de que, no metrô, existem trechos em que a via não possui lastro e trechos com lastro.

A via permanente do metrô do Rio de Janeiro possui trechos no qual a via possui lastro e outros em que não há lastro. Na via são utilizados dormentes de concreto e de madeira. Nas vias sem lastro, os dormentes são bi bloco de concreto VSL, assentados em Radier de Concreto e sua manutenção segue critérios de criticidade (AGETRANSP, 2025).

Na linha 4 do sistema metroviário, os trilhos são do tipo bi-bloco TR-R7, na via sem lastro, como pode ser observado na figura 14, extraída do manual (AGETRANSP, 2025).

Figura 14: Via sem lastro com dormente do tipo bi-bloco, na linha 4



Fonte: AGETRANSP (2025).

Com o objetivo de entender quais são as atividades estabelecidas pela equipe de manutenção de via permanente, apresentou-se os tipos de manutenção programadas para o ano de 2025 na malha metroviária (AGETRANSP, 2025).

A tabela 10 apresenta a lista de manutenções planejadas para serem executadas ao longo do ano de 2025 e qual a periodicidade de cada uma.

Tabela 10: Atividade de manutenção de via permanente programada para 2025

Linha	Descrição	Periodicidade
1 e 2	Inspeção Dinâmica De Via Na Cabine Do Trem	2 anos
1 e 2	Prev Aferição Torque Em Trefão	104 sem
1 e 2	Prev Aparelho Dilatação	8 sem
1 e 2	Prev Inspeção Carro Controle	26 sem
1 e 2	Prev Prospecção Via - Dormente	52 sem
1 e 2	Prev Prospecção Via - Lastro	52 sem
1 e 2	Prev Ultrassom - Manobra	48 sem
1 e 2	Prev Ultrassom - Trecho P	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 1 - ESA 2	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 1 - Trecho G	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 1 - Trecho P	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 2 - ESA 2	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 2 - Trecho G	16 sem
1 e 2	Prev Ultrassom Via 2 - Trecho P	16 sem
1 e 2	Preventiva Trilho Com Perfilometro	48 sem
1 e 2	Ronda De Via	8 sem
4	Prev Aparelho De Dilatação - L4	4 sem; 24 sem; 48 sem
4	Prev Inspeção Carro Controle	26 sem
4	Prev Prospecção Via - Dormente	52 sem
4	Prev Ultrassom - Manobra	48 sem
4	Prev Ultrassom Via 1 - Trecho G	16 sem
4	Prev Ultrassom Via 1 - Trecho P	16 sem
4	Prev Ultrassom Via 2 - Trecho G	16 sem
4	Prev Ultrassom Via 2 - Trecho P	16 sem
4	Ronda De Via	8 sem

Fonte: AGETRANSP (2025).

A tabela 10 mostra as diversas atividades de manutenção programadas pela equipe de manutenção de via permanente do sistema metroviário. Entre as atividades de manutenção preventiva, referentes ao escopo de estudo, estão, para as linhas 1 e 2: a inspeção da dinâmica de via na cabine do trem, aferir o torque em Tirefão (parte da fixação), aparelho dilatação, inspeção carro controle, atividade de prospecção via analisando dormente e lastro, inspeção por ultrassom em diversos trechos, a preventiva para o trilho com Perfilometro e a inspeção de ronda de via.

Na linha 4 são realizadas inspeção através do carro controle, inspeção por ultrassom em diversos trechos, inspeção de ronda de via, atividade de prospecção via analisando dormente e atividade preventiva por aparelho de dilatação.

Em casos de necessidade de correção geométrica do lastro, é realizada a socaria semimecanizada, em pequenos trechos, e a socaria mecanizada em tensões maiores. O aparelho de ultrassom utilizado no metrô é aferido e utilizado para inspeção da peça, para detectar descontinuidades internas à seção transversal dos trilhos (boleto, alma e patim). Essa inspeção é manual e, ao identificar descontinuidades, elas são classificadas de acordo com a criticidade, para serem tratadas pela equipe de manutenção (AGETRANSP, 2025).

Segundo a AGETRANSP (2025), a troca de brita acontece quando os ângulos se arredondam pelo choque entre grãos, perdendo a capacidade de desempenhar suas funções.

As inspeções realizadas por carro controle, ultrassom e por ronda são praticadas no sistema ferroviário e metroviário. Entretanto, cada malha possui sua especificidade, e mesmo tendo o mesmo princípio, cada via tem planejamento, gestão e execução própria.

3.4

Análise de dados referentes ao fenômeno de ensarilhamento ou flambagem

Com o objetivo de pesquisar a frequência do aparecimento de ensarilhamento, que acontece quando há variação de temperatura do trilho, solicitou-se a AGETRANSP (2025) que disponibilizasse a quantidade de ocorrências relevantes

de ensarilhamento, ou seja, o número de registros de ensarilhamento que tiveram repercussão na operação comercial, no período entre 2019 e 2024.

A tabela 11 quantifica os registros de ocorrência originados por ensarilhamento da via, no sistema ferroviário, entre os anos de 2019 e 2024. O ano de 2023 apresentou o maior número de registros de ensarilhamento.

Tabela 11: Quantidade de Ensarilhamento registrados, na SuperVia, entre 2019 e 2024.

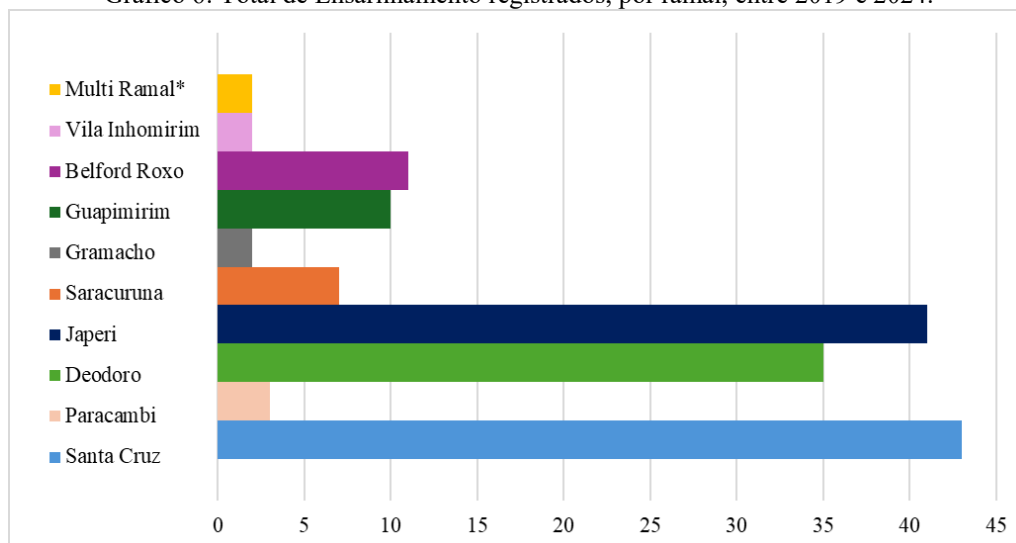
Local	Ano do Ensarilhamento							Porcentagem
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL	
Santa Cruz	1	1	1	8	23	9	43	28%
Paracambi	1	0	0	0	1	1	3	2%
Deodoro	0	2	1	1	22	9	35	22%
Japeri	0	1	1	9	23	7	41	26%
Saracuruna	0	0	0	2	4	1	7	4%
Gramacho	0	0	0	1	0	1	2	1%
Guapimirim	0	0	0	0	10	0	10	6%
Belford Roxo	0	0	0	0	8	3	11	7%
Vila Inhomirim	0	0	0	0	0	2	2	1%
Multi Ramal*	0	0	0	2	0	0	2	1%
TOTAL	2	4	3	23	91	33	156	100%

Fonte: AGETRANSP (2025)

*Multi ramal indica que a ocorrência ocorreu em trecho que afeta mais de um ramal.

O gráfico 6 apresenta a quantidade de total de Ensarilhamento registrados por ramal, na SuperVia, entre 2019 e 2024.

Gráfico 6: Total de Ensarilhamento registrados, por ramal, entre 2019 e 2024.



Fonte: Adaptado dos dados da AGETRANSP (2025)

Nota-se que os ramais com maior número de registros são o Santa Cruz (28%), Japeri (26%) e Deodoro (22%). A figura 15 apresenta um caso de ensarilhamento registrado em fevereiro de 2017, na superior da estação Oswaldo Cruz, Ramal Deodoro, na ferrovia.

Figura 15: Ensarilhamento, em fevereiro de 2017.



Fonte: AGETRANSP (2025)

Entre os anos de 2019 e 2024, segundo a AGETTRANSP (2025), houve registro de uma ocorrência operacional causada pelo fenômeno do ensarilhamento no sistema metroviário. As imagens 16 e 17 são um caso de ensarilhamento no sistema metroviário no trecho entre as estações Triagem e Maracanã, em dezembro de 2023 (AGETTRANSP, 2025)

Figura 16: Via ensarilhada em dezembro de 2023, sistema metroviário.



Fonte: AGETTRANSP (2025)

Figura 17: Via ensarilhada em dezembro de 2023, sistema metroviário.



Fonte: AGETRANSP (2025)

É possível observar no registro fotográfico que o trilho, tanto no sistema ferroviário, quanto no sistema metroviário, sofreu uma deformação que não permite que o material rodante circule no local de forma usual. Para que a rotina operacional seja reestabelecida, é preciso intervenção da equipe de manutenção.

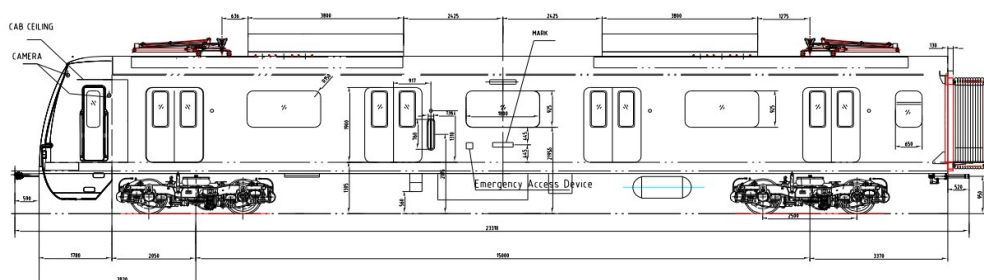
3.5

Atuação da manutenção no material rodante do sistema ferroviário

A Concessionária SuperVia opera uma frota composta por 201 TUE's (um TUE possui 4 carros) e 03 locomotivas, distribuídas por série. O sistema ferroviário possui 15 TUE's da série 500, 25 TUE's da série 700, 09 TUE's da série 900, 20 TUE's da série 2005, 100 TUE's da série 3000, 20 TUE's da série 4000 e 12 TUE's da série 5000. Os TUE's operam em todos os ramais, e cada viagem é realizada por dois TUE's (8 carros) ou por um TUE (4 carros). As locomotivas são alocadas nas extensões Guapimirim e Vila Inhomirim (AGETRANSP, 2025).

Cada carro dos trens da série 3000, que é a maior parte da frota atualmente, é composto por seis portas e seis janelas, de acordo com figura 18 (AGETRANSP, 2025).

Figura 18: Desenho de carro da série 3000



Fonte: AGETRANSP, 2025.

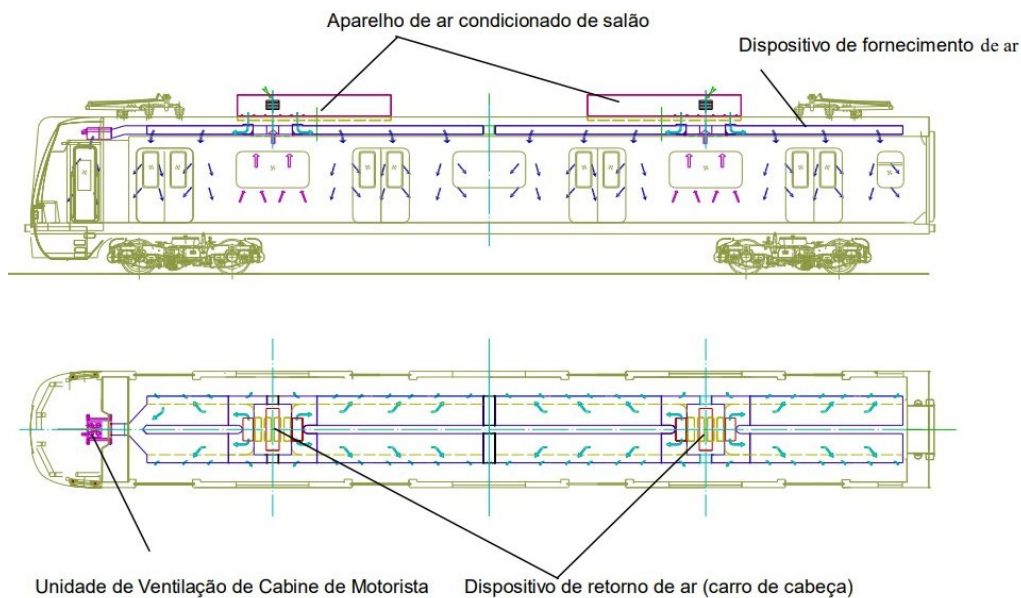
As ações de manutenção preventiva existem para que os itens inspecionados passem por manutenções periódicas, de acordo com as especificações do fabricante, e com objetivo de manter os equipamentos performando dentro dos parâmetros estabelecidos e de maneira a garantir a segurança da operação.

O escopo de manutenção preventiva dos trens inclui os sistemas elétricos, mecânicos e pneumáticos, com periodicidade de 45 dias, e outras manutenções, que são consideradas como boas práticas de manutenção, com periodicidade variada. Cada modelo de trem tem necessidade de periodicidades diferentes, e segue os parâmetros estabelecidos pelos fabricantes (AGETRANSP, 2025).

Em relação ao sistema de refrigeração dos carros que compõem o TUE, cada carro possui dois aparelhos de ar-condicionado. O aparelho de ar-condicionado de

salão permite a entrada de ar fresco na composição que transporta os passageiros. O ar fresco então se mistura com o ar de salão. Ocorre também a desumidificação e refrigeração do carro. A figura 19 mostra o fluxo de ar no carro da série 3000 (AGETRANSP, 2025).

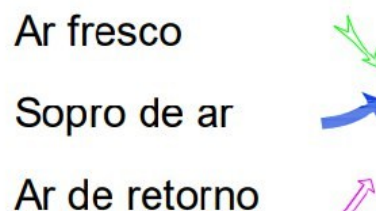
Figura 19: Fluxo de ar no carro da série 3000



Fonte: AGETRANSP (2025)

A seguir, a legenda do fluxo de ar no TUE 3000, de acordo com seu manual (figura 20).

Figura 20: Legenda do Fluxo de ar no carro da série 3000



Fonte: AGETRANSP (2025)

A AGETRANSP (2025) explica que, em cada carro, são instalados dois aparelhos de ar-condicionado de salão. As setas da figura indicam o fluxo de ar dentro da composição.

No cenário do carro da série 3000, é possível observar que existem três portas que irão abrir e fechar em todas as estações, trocando calor com o ambiente. Inclusive, o posicionamento do passageiro em relação as portas e janelas afeta a percepção de conforto individual, que está sujeito a variáveis biológicas e ambientais.

O sistema de ar-condicionado permite a circulação de ar entre o ambiente externo e interno, resfriando o ar que chega ao carro e realizando a filtragem e renovação do ar no carro de passageiros (Costa, 1974; AGETTRANSP, 2025; Çengel, 2009).

Existe a temperatura de projeto, desenhada para o sistema de ar-condicionado entregue ao carro, que depende do correto funcionamento do aparelho.

Entretanto, a partir do momento que o ar resfriado começa a circular dentro da composição, a temperatura entregue não é mesma temperatura de circulação, pois acontecem as trocas de calor e a interação entre o ar fornecido pelo ar-condicionado (sopro de ar), o ar que está dentro do carro e retorna ao aparelho (ar de retorno), e o ar que está na área externa (ar fresco).

Para além das questões de conforto térmico, que estão associados a experiência do passageiro, inclui-se a radiação solar sobre o trem, troca de calor entre os equipamentos, funcionamento dentro do carro, interação roda-trilho, e troca de calor entre a superestrutura da via e o carro.

Com o objetivo de entender qual a temperatura vivenciada nos trens que circulam na ferrovia, analisou-se a temperatura registrada em TUE's na parte interna do carro e na parte externa, segundo os dados da AGETTRANSP (2025).

A AGETTRANSP (2025) realizou aferição de temperatura na parte interna e externa dos carros de passageiros nos anos de 2016, 2018 e 2019. A média de temperaturas registradas na parte interna e externa da composição está exposta na tabela 12.

Tabela 12: Temperatura do TUE's

Trem	Temperatura média do TUE (°C)	
SÉRIE	Externa	Interna
500	23,8	19,3
700	23,5	19,4
900	23,7	19,5
2000	22,5	19,9
3000	21,7	16,9
4000	23,0	17,0
5000	23,8	18,9

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETTRANSP (2025).

Em todo o período de análise foi registrada uma temperatura interna inferior à temperatura externa do carro de passageiros.

O conforto térmico na SuperVia depende de fontes distintas, pois a quantidade de pessoas no carro, a temperatura externa e o modelo do material rodante e do respectivo aparelho de ar-condicionado que funciona no mesmo influenciam o conforto térmico.

3.6

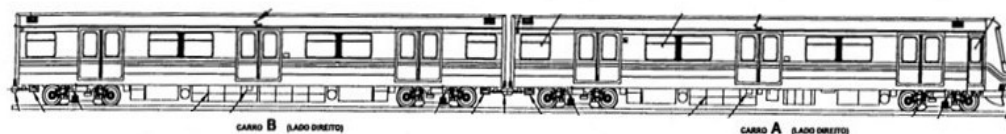
Atuação da manutenção no material rodante do sistema metroviário

A frota que circula atualmente no sistema metroviário é composta por 30 trens (cada trem com seis carros) Alstom/Mafersa de 1979, e 33 trens (cada trem com seis carros) da frota CRC, adquiridos a partir de 2012 (AGETTRANSP, 2025).

A manutenção do material rodante tem periodicidade estabelecida por quilometragem percorrida. Os MR da frota Alstom/Mafersa têm seis grupos de atividades de manutenção, com periodicidade de 10.000km, 30.000km, 60.000km, 180.000km, 360.000km e 720.000km. (AGETTRANSP, 2025).

Os MR da frota CRC têm seis grupos de atividades de manutenção, com periodicidade de 10.000km, 20.000km, 30.000km, 60.000km, 120.000km e 240.000km (AGETTRANSP, 2025). A figura 21 mostra o desenho de carros da frota Alstom/Mafersa, um com a cabine de condução e o segundo sem a cabine de condução.

Figura 21: Carros da frota Alstom/Mafersa

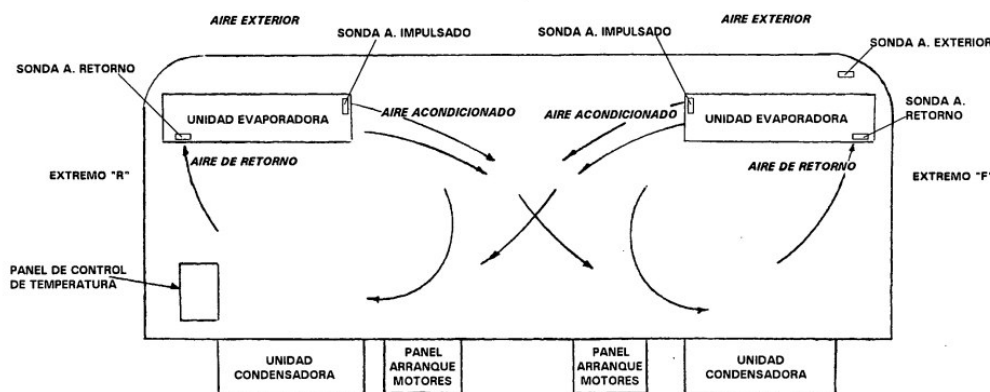


Fonte: AGETRANSP (2025).

Sobre o sistema de refrigeração dos trens da frota Alstom/Mafersa, cada carro possui o sistema sob estrado. Sobre o controle de temperatura no carro de passageiros, caso exista indicação para o condutor de que a temperatura de pelo menos um carro está em 28°C ou superior, é procedimento tratar como possível falha de ar-condicionado, e encaminhar para a equipe responsável (AGETRANSP, 2025).

A figura 22 mostra o fluxo de ar baseado no funcionamento do sistema de ar-condicionado, de acordo com o manual do MR, mostrando o fluxo de ar em seu interior, segundo a AGETRANSP (2025).

Figura 22: Sistema de ar-condicionado, frota Alstom/Mafersa



Fonte: AGETRANSP (2025).

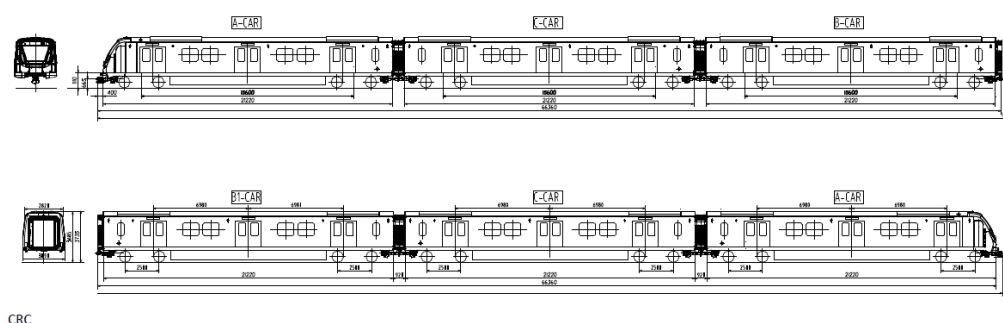
Segundo a AGETRANSP (2025), a tecnologia utilizada em tal aparelho mantém a temperatura de referência (t_r), interior do carro, em 23°C, caso a temperatura externa seja inferior ou igual a 23°C. Caso a temperatura externa (t_{ext})

seja superior a 23°C, a temperatura de referência para passa a ser calculada a partir da fórmula: $t_r = 23^{\circ}\text{C} + 0,25 \cdot (t_{\text{ext}} - 23)$.

É necessário, para entender as particularidades de cada frota, analisar também os carros da frota CRC.

Os carros da frota CRC são divididos em carros com cabine de condução e carros sem cabine de condução. A figura 23 mostra o desenho de um material rodante da frota CRC, com dois carros com cabine de condução (carro A) e quatro sem cabine de condução, totalizando seis carros.

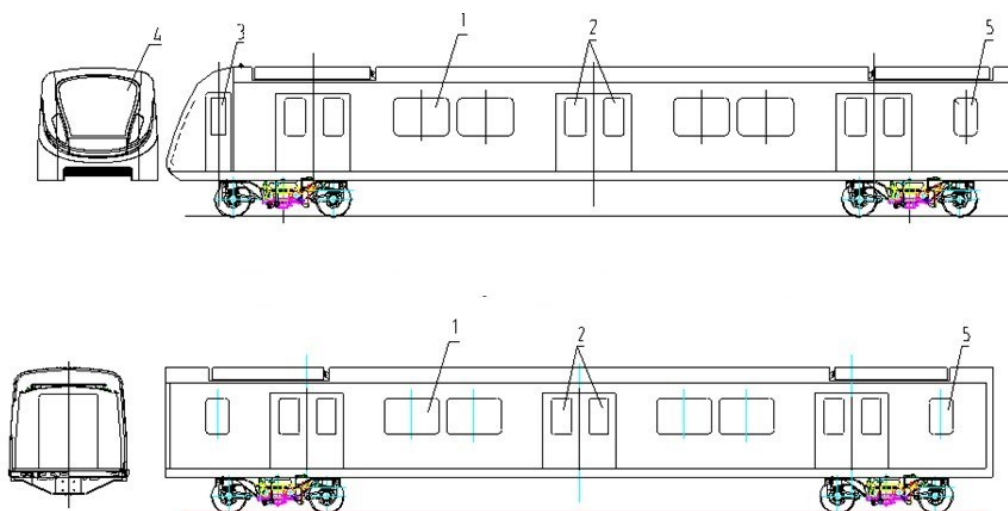
Figura 23: Carros da frota CRC, com cabine de condução e sem.



Fonte: AGETRANSP (2025).

A figura 24 mostra as disposições de janelas em um carro com cabine de condução da frota CRC e sem cabine de condução.

Figura 24: Carros da frota CRC, com cabine de condução e sem.



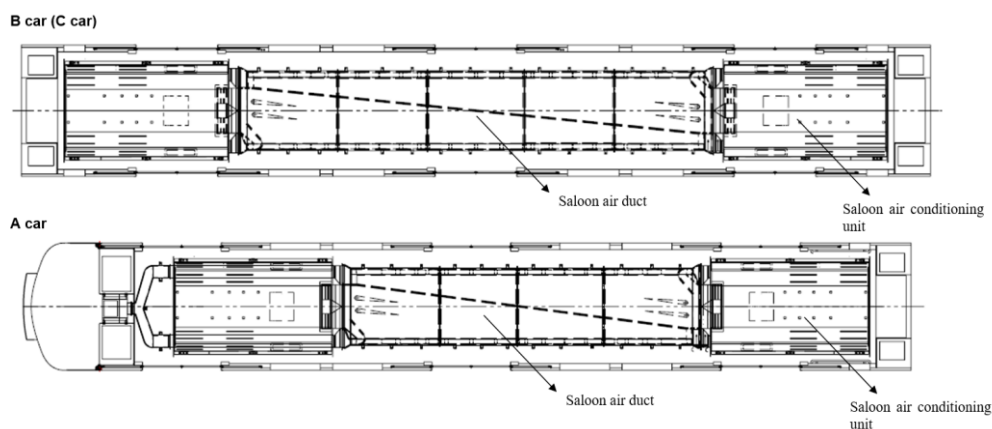
Fonte: AGETRANSP (2025).

Segundo a AGETRANSP (2025), o esquema da figura indica:

- (1) As janelas laterais, que são oito por carro (lado direito e esquerdo)
- (2) As janelas que estão em cada folha de cada porta, totalizando doze por carro (lado direito e esquerdo)
- (3) A janela lateral da porta do condutor, que são duas por carro (lado direito e esquerdo), exclusivamente nos carros com cabine de condução
- (4) O para-brisa do carro que possui cabine de condução
- (5) Quando há cabine de condução, existe uma janela de porta lateral de passageiro equipada em cada lado, totalizando duas janelas (lado direito e esquerdo). Caso seja o carro sem cabine de condução, são duas janelas de porta lateral de passageiro equipada em cada lado, totalizando quatro janelas (lado direito e esquerdo).

A figura 25 mostra a localização do sistema de ar-condicionado nos trens da frota CRC.

Figura 25: Carros da frota CRC, com cabine de condução e sem, indicando o ar-condicionado.



Fonte: AGETRANSP (2025).

Ao analisar o desenho da frota Alstom/Mafersa e da frota CRC, é possível observar que os projetos das duas frotas possuem diferenças. O maior número de janela e disposição dos sistemas de ar-condicionado, somado ao fato de serem projetos diferentes, guardam particularidades quanto as transmissões de calor. Cada frota vai interagir com a via e com os passageiros de forma única e, consequentemente, precisam de ciclos de manutenção que respeitem suas particularidades.

A AGETTRANSP (2025) realizou aferição de temperatura na parte interna e externa dos carros de passageiros nos anos 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022 e 2023. A partir dos dados encaminhados, produziu-se a tabela 13, com a média de temperatura aferida na parte interna dos carros e externa, no sistema metroviário.

Tabela 13: Média da Temperatura Interna e externa, por ano

Temperatura Média do Carro (°C)		
Ano	Externa	Interna
2010	28,2	22,8
2013	27,0	24,1
2014	27,6	23,7
2015	28,9	24,9
2016	27,9	23,4
2017	28,2	29,2
2018	28,0	22,4
2019	28,4	23,0
2020	29,4	23,0
2022	26,6	21,7
2023	28,3	22,0

Fonte: Elaborada pela autora a partir dos dados da AGETTRANSP (2025).

Em todo o período de análise foi registrada uma temperatura interna inferior à temperatura externa do carro de passageiros, com exceção de 2017.

No sistema metroviário do Rio de Janeiro, a disposição da malha é diferente da malha da ferrovia. No metrô, a maior parte das vias estão enclausuradas, sem exposição direta a radiação solar. Entretanto, os fenômenos de troca de calor se mantêm, e existem trechos com exposição solar direta, como na estação Cinelândia.

4

Melhores práticas e propostas para o desenvolvimento sustentável do sistema metroferroviário do Rio de Janeiro

Este capítulo traz as melhores práticas que fomentam ações adaptativas para o transporte de trilhos, assim como mostra as práticas de manutenção atualmente adotadas no sistema metroferroviário do Rio de Janeiro. Apresenta também quais as melhores práticas que podem ser incorporadas aos processos de manutenção.

4.1

Melhores práticas adotadas

O estudo buscou entender quais são as melhores práticas adotadas para fomentar o desenvolvimento de ferrovias e outros sistemas de infraestrutura, para promover a adaptabilidade dos sistemas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

O UIC - International Union of Railways é uma instituição internacional que realiza estudos relacionados à mobilidade e desenvolvimento sustentável de ferrovias. No Relatório elaborado pela QUINN et al. (2017), da UIC, sobre a adaptação de ferrovias para o futuro, destaca-se que a ferrovia se adapta ao clima quando operada por instituições com capacidade adaptativa, que compreendem as atuais e futuras condições climáticas, e como há a necessidade de levar isso em conta no planejamento da operação.

QUINN et al. (2017) define adaptação como o processo em que mudanças são implementadas com o objetivo de tornar o serviço prestado mais resiliente. Essas mudanças podem ser aplicadas tanto na infraestrutura quanto na organização.

Entre as iniciativas aplicadas está a desenvolvida pelo Manual De Infraestrutura Verde Para A Faixa Ferroviária (2024), que analisou a malha ferroviária da CPTM, propondo adoção de técnicas para seleção adequada de espécies, nas áreas livres adjacentes, para melhoria do ecossistema da ferrovia.

O trabalho desenvolvido pela equipe de manutenção de via da operadora das linhas 8 e 9 da capital São Paulo consistiu em aplicar tinta branca comum na alma e patim do trilho, com o auxílio de um veículo rodoferroviário. A iniciativa brasileira teve por objetivo mitigar o risco de ensarilhamento na via e os resultados mostram redução de cerca de 6°C, na temperatura dos trilhos pintados com a tinta branca (CNN, 26/02/2025).

Como exemplo de ferramenta, há o estudo realizado por Passo (2021), que investigou redes neurais artificiais para aprender a identificar defeitos em trilho. A GIZ (2021) realizou o estudo de caso da infraestrutura rodoviária do Vietnã, que incluiu investimentos para a modernização dos dados meteorológicos.

Nas ferrovias do Egito, acontecem tempestades de areia toda primavera. Com o objetivo de reduzir os danos a infraestrutura associados a areia, segundo GIZ (2021), foi realizada a remodelação aerodinâmica da ferrovia do Qena, para minimizar o acúmulo da areia.

O serviço de transporte de passageiros necessita se adaptar as mudanças climáticas, fortalecendo sua capacidade de organização. É preciso ter capacidade de identificar as ameaças climáticas, identificando as fontes de danos, que geram risco a operação e aos usuários e que podem afetar a infraestrutura da ferrovia, tornando-se fundamental identificar as ameaças de progressão lenta (aumento de temperatura) e as ameaças mais rápidas (onda de calor e tempestade tropical). É necessário analisar os riscos aos quais os sistemas estão vulneráveis, qual o nível de sensibilidade do sistema e a capacidade do sistema de lidar com a adversidade. Essas análises permitem ampliar a capacidade adaptativa e resiliência da ferrovia (GIZ, 2021).

O estudo da ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE (2021) identificou como ameaça climática ao transporte ferroviário as altas temperaturas e ondas de calor, que podem vir a impactar a infraestrutura ferroviária através de flambagem dos trilhos e causar defeitos de geometria de via.

Realizou-se uma avaliação dos riscos climáticos em uma ponte na Costa Rica, segundo GIZ (2021), que foi baseada nos dados climatológicos, tipo de construção e variáveis socioeconômicas. As principais avaliações de risco climático incluíram: revisão das políticas de operação e manutenção, melhoria do monitoramento e avaliação das ferramentas de manutenção, melhorias no acesso à informação e coleta de dados úteis, mapeamento de perigos, realização de estudos de riscos de

inundação, revisão do sistema de drenagem para chuvas intensas, adaptação de protocolos e realização de trabalho de conscientização de entidades responsáveis pelo uso do solo.

O planejamento de adaptação do transporte urbano nos países baixos, segundo GIZ (2021), incluiu identificar e caracterizar as opções para adaptação, estabeleceu os critérios e determinou pesos e medidas de pontuação.

4.2

Análise dos dados e rotina de manutenção praticada

No sistema de transporte de passageiros, que transportam milhões de passageiros anualmente, especificamente no transporte metroviário e ferroviário, que possuem capacidade de atender alta demanda, estudou-se as estruturas de via permanente e o material rodante, por serem vulneráveis às mudanças climáticas, especialmente ao aumento de temperatura.

Os fenômenos que geram não conformidades na via permanente se apresentam como um risco à segurança da operação, como o descarrilamento (o trem sai dos trilhos), se não forem corrigidos.

A ferrovia do Rio de Janeiro tem a sua operação concedida à Concessionária SuperVia, que é regulada e fiscalizada pela AGETRANSP (AGETRANSP, 2025). A malha ferroviária é composta por 104 (cento e quatro) estações, distribuídas em cinco ramais e três extensões, e integra onze municípios, incluindo a cidade do Rio de Janeiro e região metropolitana (SuperVia, 2024).

A maior parte das estações dos 270 km de malha tem a via exposta ao ambiente, estando a cobertura presente no espaço das estações. É possível notar que, para além da faixa de domínio, há a urbanização do espaço, com moradias, como a exemplo da estação Madureira. Segundo os dados da AGETRANSP (2025), a SuperVia transportou 85.253.741 passageiros no ano de 2024. A via permanente da ferrovia possui cerca de 700.000 dormentes, sendo cerca de 79% dos dormentes de madeira e o restante de concreto. A via permanente possui aproximadamente 270km e tem aproximadamente 760km de trilhos.

O sistema de metrô, segundo os dados da AGETRANSP (2025), transportou, no total, 183.646.027 passageiros em 2024. A via permanente do metrô do Rio de Janeiro possui trechos no qual a via possui lastro, e outros em que não há lastro. Na

via são utilizados dormentes de concreto (TR-57) e de madeira. Os dormentes de concreto são do tipo: Monobloco, Bloco único ou Bi bloco. Nas vias sem lastro, os dormentes são bi bloco de concreto VSL, assentados em Radier de Concreto (AGETRANSP, 2025).

As atividades desenvolvidas pelas equipes de manutenção na via permanente, tanto da ferrovia quanto do sistema metroviário, no Rio de Janeiro, baseiam-se em inspeções do carro controle, por ultrassom e por ronda (AGETRANSP, 2025).

De acordo com a AGETRANSP (2025), os dados obtidos através da inspeção por carro controle, são usados pela equipe de planejamento de manutenção, priorizando as intervenções de maior relevância para a manter a segurança operacional. A equipe de manutenção também realiza atividades de correção geométrica da via, através de socadoras/reguladoras de lastro.

A inspeção através do equipamento de ultrassom na SuperVia, segundo a AGETRANSP (2025), é realizada por equipe treinada, de forma manual e a pé, com o objetivo de detectar pontos de fissura, trincas, pontos vazios em soldas e demais falhas em trilhos que possam gerar descarrilamentos ou outros danos que podem afetar a operação comercial. A inspeção por ronda é feita a pé, diariamente, por duas pessoas com treinamento para atuar de forma imediata na via que está sob análise (AGETRANSP, 2025).

Ao detectar avarias ou inconsistências na via permanente, a boa prática recomenda que sejam aplicadas restrições de velocidade no trecho. A partir dos dados disponibilizados pela AGETRANSP (2025), identificou-se que, na ferrovia, as não conformidades pertinentes ao estudo são: a detecção de dormentes fora dos parâmetros estabelecidos (dormentes inservíveis), casos de não conformes em relação ao lastro da via, seja por deficiência ou outros fatores (Relacionado Ao Lastro), casos identificados durante a inspeção de ensarilhamento (Ensarilhamento) e o de Furto De Fixações, casos nos quais identificou-se ausência de fixação por furto. Na SuperVia, as maiores extensões em metros com dormentes inservíveis foram identificadas nos ramais Santa Cruz e Deodoro.

Entre as atividades de manutenção corretiva, inclui-se as atividades de: correção de bitola, estabilização da via permanente, atividades de socaria, correção geométrica e nivelamento da via. No período entre janeiro de 2022 e junho de 2024, o ramal que teve a maior extensão (em metros) inspecionada através do carro controle foi o de Paracambi, seguido por Deodoro. As atividades de socaria são as

que foram mais realizadas, em todos os ramais, entre janeiro de 2022 e junho de 2024.

Ao analisar o escopo do planejamento de atividades de manutenção a serem executadas em 2024, baseado nos dados encaminhados pela AGETRANSP (2025), é possível citar: alívio de tensão da via, intervenção na fixação para reparar alguma não conformidade, correção de bitola, correção de superelevação, correção geométrica, casos de ensarilhamento, correção na fixação decorrente do furto de fixação, inspeção do carro controle, inspeção por ultrassom, atividade de manutenção de superestrutura de via permanente, regulagem de lastro, realização de ronda de linha, atividade de socaria, substituição de trilho, substituição de dormentes e trilho não conformes.

Já no sistema metroviário, as atividades estabelecidas pela equipe de manutenção de via permanente, programadas para o ano de 2025, na malha metroviária (AGETRANSP, 2025) possuem periodicidades determinadas pela equipe de manutenção. Entre as atividades de manutenção preventiva, referentes ao escopo de estudo, estão, para as linhas 1 e 2: a inspeção da dinâmica de via na cabine do trem, aferir o torque em tirefão (parte da fixação), aparelho dilatação, inspeção carro controle, atividade de prospecção via analisando dormente e lastro, inspeção por ultrassom em diversos trechos, a preventiva para o trilho com Perfilometro e a inspeção de ronda de via. Na linha 4, são realizadas inspeção através do carro controle, inspeção por ultrassom em diversos trechos, inspeção de ronda de via, atividade de prospecção via analisando dormente e atividade preventiva por aparelho de dilatação.

A via permanente, exposta a altas temperaturas, sofre com fenômenos como o ensarilhamento. Conforme os dados da AGETRANSP (2025), foi quantificada a frequência de ensarilhamento na malha metroferroviária que resultou em repercussão na operação comercial. Os registros de ocorrência originados por ensarilhamento da via, no sistema ferroviário, entre os anos de 2019 e 2024, mostram que os ramais com maior número de registros são o Santa Cruz (28%), Japeri (26%) e Deodoro (22%). Entre os anos de 2019 e 2024, segundo a AGETRANSP (2025), houve registro de uma ocorrência operacional causada pelo fenômeno do ensarilhamento no sistema metroviário.

Até o momento, sabe-se quais são as principais inspeções realizadas na via permanente, de acordo com o planejamento das atividades de manutenção no

sistema metroferroviário, e como cada não conformidade identificada é tratada e corrigida. A partir desse ponto, é possível explorar opções e práticas que tornam a atividade de manutenção de via mais efetiva e a ferrovia mais resiliente. A resiliência da ferrovia, segundo QUINN et al. (2017), é definida como a capacidade de manter a prestação do serviço de forma sustentável à medida que o clima muda, com capacidade de se recuperar rapidamente após a interrupção do serviço.

Em relação a ação de manutenção preventiva para o material rodante, para cada item inspecionado, há uma periodicidade a ser seguida, de acordo com as especificações do fabricante.

O escopo de manutenção preventiva dos trens do sistema ferroviário, inclui os sistemas elétricos, mecânicos e pneumáticos, com periodicidade de 45 dias, e outras manutenções, que são consideradas como boas práticas de manutenção, com periodicidade variada. Cada modelo de trem tem necessidade de periodicidades diferentes e segue os parâmetros estabelecidos pelos fabricantes. Em relação ao sistema de refrigeração dos carros que compõem o TUE, cada carro possui dois aparelhos de ar-condicionado. O aparelho de ar-condicionado de salão permite a entrada de ar fresco na composição que transporta os passageiros (AGETRANSP, 2025).

A frota que circula atualmente no sistema metroviário é composta por 30 trens (cada trem com seis carros) Alstom/Mafersa de 1979 e 33 trens (cada trem com seis carros) da frota CRC, adquiridos a partir de 2012 (AGETRANSP, 2025). A manutenção do material rodante tem periodicidade estabelecida por quilometragem percorrida. Os MR da frota Alstom/Mafersa têm seis grupos de atividades de manutenção, com periodicidade de 10.000km, 30.000km, 60.000km, 180.000km, 360.000km e 720.000km. Os MR da frota CRC têm seis grupos de atividades de manutenção, com periodicidade de 10.000km, 20.000km, 30.000km, 60.000km, 120.000km e 240.000km (AGETRANSP, 2025).

Sobre o sistema de refrigeração dos trens da frota Alstom/Mafersa, segundo a AGETRANSP (2025), cada carro possui o sistema sob estrado. Ao analisar o desenho da frota Alstom/Mafersa e CRC é possível observar que o maior número de janelas e disposição dos sistemas de ar-condicionado, guardam particularidades quanto as transmissões de calor. Cada frota vai interagir com a via e com os passageiros de forma única e, conseqüentemente, precisam de ciclos de manutenção que respeitem suas particularidades.

A manutenção preventiva do material rodante precisa incluir itens ligados à segurança do ativo para circular. Inclusive, em relação a manutenções relacionadas à temperatura dentro do carro de passageiros, ela está associada com o melhor desempenho possível do sistema de ar-condicionado instalado nos trens.

A manutenção que atua com soluções sustentáveis contribui para que os ciclos de manutenção sejam mais eficientes e a vida dos equipamentos seja estendida, tornando o processo mais eficiente, sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

Vale ressaltar que cada material rodante começa a circular em data própria, podendo fatores como fim de vida útil influenciar quais são as soluções próprias de cada ativo. É o caso do MR do sistema metroviário, cuja quase metade da frota é de 1979, e a outra é de 2012. Naturalmente, o ciclo de vida de cada frota vai depender de manutenção preventiva eficiente. Aumentar a vida útil do ativo contribui para um processo sustentável para todo o sistema.

Sendo assim, no cenário de emergência climática, no qual a tendência é atingir temperaturas cada vez mais altas no Rio de Janeiro, entender, acompanhar e aplicar soluções de monitoramento associadas às atividades regulares de manutenção preventiva será fundamental para mitigar os riscos a operação comercial.

4.3

Proposição de ações para o desenvolvimento sustentável

Compreendendo que o sistema metroferroviário está, no tempo presente e futuro, sujeito a ameaças climáticas, faz-se necessário atuar em um plano de manutenção que priorize o aumento gradual da temperatura das vias e que tenha planos para clima extremos, no caso de ondas de calor. Essa adaptação das atividades de manutenção torna-se mais eficiente quando os métodos tradicionais (inspeção a pé, por carro controle e ultrassom) são aliados a novas ferramentas e tecnologias.

Aliar as ferramentas disponíveis no mercado a um banco de dados integrado, baseado no que foi coletado ao longo do sistema e que passe por uma análise de

riscos climáticos, é fundamental para ter um planejamento de manutenção que catalise a ferrovia mais sustentável.

A adaptação a mudanças climáticas parte do ajuste do sistema humano ou natural para redução do impacto dos efeitos adversos de mudanças climáticas (MENDES et al., 2020). Os cenários de mudança climática projetam que, ao final do século XXI, o sudeste brasileiro terá aumento de temperatura, aumento de chuvas e mais ondas de calor (MENDES et al., 2020).

Ao analisar os dados quantificados disponíveis sobre a operação metroferroviária do Rio de Janeiro, as práticas de manutenção de via permanente e material rodante em conjunto com as melhores práticas adotadas globalmente, foi possível elaborar a tabela 14, com as ações que podem ser implementadas no sistema metroferroviário do Rio de Janeiro.

Tabela 14: Ações a serem aplicadas no sistema metroferroviário.

Ações a serem aplicadas no sistema metroferroviário
Identificar Avaria
Alimentar a base de dados
Avaliar os riscos climáticos
Identificar pontos de maior risco
Rever os processos já praticados
Analisar a viabilidade de implementar novas tecnologias
Atualizar o plano de manutenção
Viabilizar práticas mais sustentáveis

Fonte: Elaborada pela autora.

Entre as ações propostas a serem aplicadas no sistema metroferroviário, o primeiro inclui identificar as avarias recorrentes no sistema e em seguida alimentar, continuamente, uma base de dados que seja integrada e acessível para todas as partes interessadas, para que exista clareza e rastreamento de não conformidades identificadas nos sistemas.

Tendo o mapeamento de avarias sido realizado, é sugerido que se avalie quais riscos climáticos o sistema está exposto e quais das avarias identificadas podem estar relacionadas com fenômenos associados às mudanças climáticas.

A partir da avaliação dos riscos climáticos sugere-se a análise de dados adquiridos em campo, na primeira etapa, em conjunto com os riscos identificados para mapear quais são os pontos de maior risco, otimizando o processo de manutenção.

Considerando que a base de dados tem atualização contínua e que as vulnerabilidades estão mapeadas, é viável rever como os processos são praticados e planejar melhores práticas a serem integradas as dinâmicas de manutenção.

Nesse ponto de maturidade de análise crítica das manutenções sugere-se o estudo de viabilidade de implantação de novas tecnologias, disponíveis no mercado ou que são criadas pela própria operadora do sistema, para contribuir para um trabalho mais sustentável e alinhado para desenvolver a resiliência do sistema metroferroviário e práticas mais sustentáveis.

As ações de manutenção preventiva existem para que os itens inspecionados passem por manutenções periódicas, de acordo com as especificações do fabricante e com objetivo de manter os equipamentos performando dentro dos parâmetros estabelecidos e de maneira a garantir a segurança da operação.

Mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o sistema metroferroviário contribui para o desenvolvimento sustentável do espaço urbano. O papel das atividades de manutenção, tanto na via permanente, quanto no material rodante, precisa ser prioridade para administrar e prevenir fenômenos associados com o aumento de temperatura, uma vez que o cenário que se apresenta envolve temperaturas cada vez mais altas.

5

Considerações finais

Este trabalho teve por objetivo investigar os impactos na manutenção preventiva em materiais rodantes e na via permanente de sistemas metroferroviários localizados no Rio de Janeiro, no cenário das cidades lidando com os impactos das mudanças climáticas, especificamente com o aumento de temperatura.

Considerando que o desenvolvimento sustentável do espaço urbano precisa incluir parâmetros que contemplem o transporte de passageiros, especialmente o transporte metroferroviário, esse trabalho se propôs a estudar as avarias que podem acontecer quando os equipamentos e sistemas estão expostos a altas temperaturas, e entender como a manutenção preventiva pode atuar para mitigar os riscos aos quais o sistema está vulnerável.

No sistema de transporte de passageiros, especificamente no transporte metroviário e ferroviário, de alta demanda, escolheu-se analisar as vulnerabilidades aos quais os sistemas de via permanente e material rodante estão sujeitos, devido as mudanças climáticas, especificamente ao aumento de temperatura.

A forma como a manutenção de via permanente e material rodante são, atualmente, feitas no Rio de Janeiro foram analisadas e buscou-se entender quais são as melhores práticas adotadas para promover a adaptabilidade dos sistemas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

O processo de manutenção preventiva deve investir em um acompanhamento mais criterioso da temperatura dos trilhos para mitigar os riscos de avarias. Existem tecnologias e soluções inovadoras que podem ser empregadas no combate à não conformidades na malha. Todos os componentes da via precisam estar saudáveis para que o sistema da via também esteja e proporcione uma viagem segura.

Ao analisar os dados quantificados e qualitativos, disponíveis sobre o transporte metroferroviária, em conjunto com as melhores práticas adotadas globalmente, foi possível sugerir ações que podem ser implementadas no sistema metroferroviário do Rio de Janeiro.

Entre as ações propostas a serem aplicadas no sistema metroferroviário, inclui-se a identificação das avarias recorrentes no sistema e alimentação contínua

de uma base de dados que seja integrada e acessível para todas as partes interessadas, para rastreamento de não conformidades identificadas nos sistemas.

Tendo o mapeamento de avarias sido realizado, é sugerido que se avalie quais os riscos climáticos o sistema está exposto e quais das avarias identificadas podem estar relacionadas com fenômenos associados às mudanças climáticas.

As ferrovias precisam ser operadas fomentando a capacidade adaptativa. A manutenção que atua com soluções sustentáveis contribui para que os ciclos de manutenção sejam mais eficientes e vida dos equipamentos seja estendida. Tornando o processo mais eficiente, sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

Compreendendo que o sistema metroferroviário está exposto a ameaças climáticas, faz-se necessário um plano de manutenção que se adapte a clima extremos, como nos casos de ondas de calor. Essa adaptação das atividades de manutenção torna-se mais eficiente quando os métodos tradicionais, são aliados a novas ferramentas e tecnologias.

Como contribuição para as futuras pesquisas, entende-se que seria importante estudar:

- a) Como viabilizar socioeconomicamente a aplicação de novas tecnologias às atividades de manutenção desenvolvidas atualmente.
- b) Como outros fenômenos da mudança climática, como as chuvas e os ventos fortes, que impactam o sistema metroferroviário.

A ampliação do estudo contribui para um panorama mais completo sobre os efeitos do clima, no transporte de passageiros.

6

Referências Bibliográficas

AGETRANSP. **Site oficial da AGETRANSP.** Disponível em: <<https://www2.AGETRANSP.rj.gov.br>>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ALMEIDA, Sergio Antonio da Silva; SILVA, Luiz Roberto Arueira da; MANDARINO, Felipe Cerbella. **Mudanças climáticas e as ilhas de calor:** estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro. Nº 20161201. Rio de Janeiro: Casa Civil/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro; IPP/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, dez. 2016. Disponível em: <<https://estudoscariocas.rio/index.php/ojs/article/view/60/58>>. Acesso em: 02 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO GITEC/COPPE. **Contratação de serviços de consultoria para o levantamento de impactos e riscos climáticos sobre a infraestrutura federal de transporte terrestre (rodoviário e ferroviário) existente e projetada:** Produto 1 – Plano de trabalho e revisão bibliográfica. Relatório técnico. Maio de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/1.2PRODUTO1_ParteII_RevisaoBibliografica_V1.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2025.

Atlas escolar da Cidade do Rio de Janeiro, 2018. Instituto Pereira Passos. Secretaria Municipal de Educação. Edição 2018. Disponível em: <<https://www.data.rio/apps/5539cb3f3eea4b06b6d4fd6b52ae650b/explore.>>> Acesso em: 02 mar. 2025

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm> Acesso em: 17 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012.** Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm>. Acesso em: 17 nov. 2024.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 19 nov. 2024.

BRINA, H. L. **Estradas de Ferro V1.** Belo Horizonte. Editora UFMG, 1988.

CASSARO, Luciano. **Análise da influência da temperatura na ocorrência de flambagem em trechos da Estrada de Ferro Vitória-Minas.** 2017. Monografia

(Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18715/1/CT_CEECVIT_1_2016_17.pdf> Acesso em: 18 fev. 2025

CASTELLO BRANCO, José Eduardo Saboia; FERREIRA, Ronaldo (Ed.). **Tratado de Estradas de Ferro: Prevenção e Investigação de Descarrilamentos**. Rio de Janeiro: Os Editores, 2002. 534 p. ISBN 85-901545-2-1.

CLIMATOLOGIA. **Clima**. Disponível em: <<http://www.climatologia.com.br/clima>> Acesso em: 16 set. 2024.

COSTA, Ennio Cruz da. **Física aplicada a construção- Conforto Térmico**. 3ª Ed. São Paulo, Blucher, 1974.

FRANÇA, Túlio De Faria. Ferrovias. Módulo 1- Superestrutura ferroviária. INGEA.2016. Disponível em: < <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-sao-joao-del-rei/engenharia/apostila-engea-ferrovias-superestrutura-modulo-i/20424748>> Acesso em:01 mar. 2025

GIZ. **Adapting Urban Transport to Climate Change. Module 5f: sustainable transport: a sourcebook for policy-makers in developing cities**. Bonn: GIZ, 2014. 118 p. 2021. Disponível em: <https://www.transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/03/SUTP_Sourcebook5f-2_AdaptingTransport-to-ClimateChange-lgQCOl.pdf> Acesso em: 26 fev. 2025

GRASSO, Marianna. **Trilhos são pintados de branco em SP para reduzir temperatura; entenda**. CNN, São Paulo, 26/02/2025. Disponível em:<<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sudeste/sp/trilhos-sao-pintados-de-branco-em-sp-para-reduzir-temperatura-entenda/#:~:text=A%20ViaMobilidade%20come%C3%A7ou%20a%20pintar,pod e%20causar%20interrup%C3%A7%C3%B5es%20no%20servi%C3%A7o.>> Acesso em:01 mar. 2025

IBGE. **Atlas geográfico escolar**.2025. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/glossario/metropole.html#:~:text=Cidade%20de%20grandes%20dimens%C3%B5es%20e,e%2Fou%20de%20seu%20pa%C3%A Ds>> Acesso em: 26 fev. 2025

IBGE. **Regiões de influência das cidades: 2018**. IBGE, 2020. Rio de Janeiro. Disponível em:<<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&i d=2101728>> Acesso em: 06 mar. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101973_informativo.pdf.>Acesso em: 10 nov. 2024.

IPCC. **Sumário para formuladores de políticas públicas**. Relatório especial sobre o aquecimento global de 1,5°C. Versão em português, publicada pelo MCTIC, 2019. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>> Acesso em: 26 fev. 2025

IPCC. **Mudança do clima e terra. Tradução não oficial realizada pelo Governo do Brasil**, 2020. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>> Acesso em: 26 fev. 2025

Manual de infraestrutura verde para a faixa ferroviária 30ª semana de tecnologia metroferroviária. 11º Prêmio Tecnologia E Desenvolvimento Metroferroviários.2024. Disponível em: <https://semanadetecnologia.com.br/30semana/files/artigos/804_artigo_manualdeinfraestruturaverde.pdf> Acesso em: 09 mar. 2025

MEIRELES, Victor Hugo Pezzini de; De Almeida França, José Ricardo; Peres, Leonardo F. **Um estudo do fenômeno da Ilha de Calor urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ)**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 37, n. 2, p. 180-194, 2014. Disponível em: <<https://ppegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/1974/62428/6010-7152-1-PB.pdf>> Acesso em: 16 set. 2024

MENDES, Thiago de A.; MUNIZ, Eagles; SANTOS DA CONCEIÇÃO, Mônica. **Conceitos básicos sobre mudança do clima: causas, mitigação e adaptação**. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento, Divisão de Mudança do Clima e Sustentabilidade, 2020. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/pt/conceitos-basicos-sobre-mudanca-do-clima-causas-mitigacao-e-adaptacao>> Acesso em: 6 mai. 2025.

METRODORIO. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <<https://metroitorio.info/mapa/>>. Acesso em: 24 mar. 2025

METRÔRIO. Site oficial da METRÔRIO. Disponível em: <<https://www.metroitorio.com.br>> Acesso em: 09 mar. 2025

MIGUEL, Daniel; Vinhal, Silvio et al. **Manual De Fiscalização Do Transporte Ferroviário**. 3ª Ed. Brasília - DF, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/manuais-das-ferrovias/arquivos/manual-de-fiscalizacao-do-transporte-ferroviario-4a-edicao.pdf>> Acesso em: 04 set. 2024.

MORETTI, Laura; Loprencipe, Giuseppe. **Climate Change and Transport Infrastructures: State of the Art**. MDPI, Rome, Italy 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/mvalim/AGETRANSP/Downloads/sustainability-10-04098.pdf>> Acesso em: 09 mar. 2025

NABAIS, Rui José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária**. São Paulo, Oficina de Textos, 2014.

NAVA, Eduardo. **Thermal Instability of Railways**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Escola de Tecnologia e Gestão de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. Orientadores: Prof. Dr. Paulo Piloto, Prof. Dr.

Manuel Minhoto, Prof. Dr. Diego Rossetto. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstreams/dd8dec5-5e9a-4f2e-858e-2caee5b23897/download>> Acesso em: 09 mar. 2025

ONU-Habitat. **World Cities Report 2024: Towards a More Equitable Urban Future**. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2024. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf> Acesso em: 10 nov. 2024.

OKE, T. R. (1982). **"The energetic basis of the urban heat island"**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.

PASSOS, Rebeca Alves da Silva Lemos. Ben-Hur de A. S.; Lopes, Luiz A. S. **Identificação De Defeitos Em Trilhos Ferroviários Usando redes Neurais Artificiais**. INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < <https://transportes.ime.eb.br/informa%C3%A7%C3%B5es-acad%C3%A4micas/disserta%C3%A7%C3%B5es>> Acesso em: 05 out. 2024

PLANMOB. Caderno de Referência para elaboração de plano de mobilidade urbana. Ministério das Cidades. 2015. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf>> Acesso em: 17 fev. 2025

QUINN, A.; JACK, A.; HODGKINSON, S.; FERRANTI, E.; BECKFORD, J.; DORA, J. **RAIL ADAPT: Adapting the railway for the future**. International Union of Railways (UIC) - Paris, 2017. Disponível em: < https://uic.org/IMG/pdf/railadapt_final_report.pdf> Acesso em: 09 mar. 2025

RIO DE JANEIRO (Estado). Agência Reguladora de Serviços Públicos Concedidos de Transportes Aquaviários, Ferroviários, Metroviários e de Rodovias do Estado do Rio de Janeiro – AGETRANSP. **Resposta ao pedido de acesso à informação Protocolo 20250220730378, via sistema OUVÉRJ**. Rio de Janeiro, 10/03/2025. Disponível em: < <https://www.ouverj.rj.gov.br>> Acesso em: 10 mar. 2025

RIO DE JANEIRO (Município). Dados públicos sobre o município do Rio de Janeiro. Portal Data.Rio. Disponível em: <<https://www.data.rio/search?groupIds=cbe84df2333a463b9d4e20aca5177936>> Acesso em: 09 set. 2024

RIO DE JANEIRO (Município). **Decreto nº 48.610, de 15 de março de 2021**. Cria as Coordenadorias Especiais dos Bairros (Subprefeituras) e reorganiza as áreas de abrangência na forma como menciona, e dá outras providências. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/2021/4861/48610/decreto-n-48610-2021-cria-as-coordenadorias-especiais-dos-bairros-subprefeituras-e-reorganiza-as-areas-de-abrangencia-na-forma-como-menciona-e-da-outras-providencias>> Acesso em: 7 abr. 2025.

SANTOS, Guilherme Leone. Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos. **Ilhas de Calor: Análise e estratégias para mitigação dos efeitos no estacionamento do BarraShopping na cidade do Rio de Janeiro, Brasil**. PUC-

RIO.2021. Disponível em:< <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/66499/66499.PDF>> Acesso em: 25 fev. 2025

SANTOS, Jean Carlos dos; Vincenzi, Decio; Becel, Pedro Marcelo; Ribeiro, Camila Amaral Bolzan. **SISTEMP – Sistema de Monitoramento da Temperatura da Via Permanente**. Encontro ANTF de Ferrovias. 2021.

SHINZATO, Paula. Duarte, Denise H. S. o **Impacto Da Vegetação Nos Microclimas Urbanos**. FAUUSP. São Paulo.2009. Disponível em: < https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-26032010-160951/publico/versao_final_impressao.pdf> Acesso em: 10nov. 2024.

SILVA, Luiz Francisco Muniz da. **Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente**. COOPE, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:< https://www.munizspada.com.br/pdfs/tese_muniz.pdf. >Acesso em: 23 out. 2024

SILVA, Maria Inês Cunha Ferreira da. **O Papel das Infraestruturas Verdes na Ilha de Calor e Poluição Atmosférica Urbana**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade do Minho, outubro de 2021. Disponível em:< <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/86267/1/Maria%20Ines%20Cunha%20Ferreira%20da%20Silva.pdf> >Acesso em: 01 jun. 2025

SILVA, Natália Moraes. **Vulnerabilidade do sistema de transporte à mudança climática: uma análise a partir dos planos de mobilidade urbana**. Orientadora: Maria Fernanda Campos Lemos. Rio de Janeiro, 2022. 94p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/2011630_2022_completo.pdf. >. Acesso em: 09 mar. 2025

SOUSA, Amanda Fátima Ferreira e; Pinto, Rafael Martinelli. **Otimização da Periodicidade de Manutenção Preventiva de Ativos Ferroviários**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:< https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/2112229_2023_completo.pdf Acesso em: 07 de março de 2025

SUPERVIA. Site oficial da SuperVia. Disponível em: <<https://www.supervia.com.br>> Acesso em: 19 nov. 2024.

STEFFLER, Fábio. **Via permanente aplicada: Guia teórico e prático**. Rio de Janeiro: LCT, 2013.

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 3. ed. Tradução de Luiz Felipe Mendes de Moura. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.