

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JEFFERSON DA SILVA BOICZUK

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS NAS PRINCIPAIS
MALHAS DO BRASIL**

CURITIBA

2023

JEFFERSON DA SILVA BOICZUK

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS NAS PRINCIPAIS
MALHAS DO BRASIL**

**Statistical Analysis of Railway Accidents in the Main Railway Networks of
Brazil**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Dra. Cleina Yayoe Okoshi

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JEFFERSON DA SILVA BOICZUK

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS NAS PRINCIPAIS
MALHAS DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 04/Dezembro/2023

Cleina Yayoe Okoshi
Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Magatão
Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Oswaldo Verussa Junior
Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2023

Dedico este trabalho à minha família e amigos, pelo
apoio de sempre.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, Profa. Dra. Cleina Yayoe Okoshi, por sua orientação, paciência e sabedoria durante este processo. Seu apoio e orientação foram indispensáveis e contribuíram imensuravelmente para a minha jornada acadêmica.

Quero expressar também minha gratidão à minha família, cujo amor e apoio incondicional foram a minha força motriz. Sem a sua compreensão e encorajamento, este desafio seria muito mais difícil de superar, e a todos os meus colegas de curso e trabalho, que estiveram ao meu lado, compartilhando conhecimentos e experiências.

Um agradecimento especial à Secretaria do Curso, pela cooperação constante, assistência e profissionalismo em todos os momentos, facilitando assim a minha trajetória acadêmica.

Além disso, gostaria de estender meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram para a minha formação durante minha graduação. Suas lições, conselhos e ensinamentos foram cruciais para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desta pesquisa. Cada um de vocês tem parte no sucesso deste trabalho e agradeço sinceramente por sua valiosa contribuição.

RESUMO

No ano de 2022, 400 acidentes ferroviários foram registrados nas principais malhas ferroviárias do Brasil. Este trabalho propõe uma análise estatística abrangente dos acidentes ferroviários ocorridos de 2015 a 2022, com foco nas malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista, com a finalidade de melhorar a qualidade das informações tratadas e identificar padrões de ocorrência. A metodologia se baseia no desenvolvimento de um processo estruturado, utilizando métodos estatísticos para analisar os dados coletados, tendo como foco as circunstâncias, causas e consequências dos acidentes. Os resultados da análise serviram de base para a criação de um painel de riscos no formato de *dashboard*, que permitiu visualizar as informações de maneira acessível e intuitiva. As visualizações desenvolvidas passaram por testes com usuários finais e por fim, esta ferramenta facilitou a identificação de medidas preventivas, como analisar os melhores horários para circular os trens, com o foco de reduzir a quantidade e a gravidade dos acidentes ferroviários nas regiões estudadas. Este estudo contribuiu para a segurança ferroviária, fornecendo informações essenciais sobre horários críticos, locais de risco e fatores contribuintes para acidentes.

Palavras-chave: análise estatística; acidentes ferroviários; prevenção de acidentes; painel de riscos; segurança ferroviária.

ABSTRACT

In 2022, 400 railway accidents were recorded on Brazil's main railway networks. This work proposes a comprehensive statistical analysis of railway accidents that occurred from 2015 to 2022, focusing on the Southern, Northern, Western, and Paulista networks, intending to enhance the quality of processed information and identify occurrence patterns. The methodology is based on developing a structured process, employing statistical methods to analyze the collected data, and focusing on the accident's circumstances, causes, and consequences. The analysis results served as the basis for creating a risk panel in the form of a dashboard, allowing for accessible and intuitive data visualization. The visualizations developed were tested by the end-users and ultimately, this tool facilitated the identification of preventive measures, such as analyzing the optimal train circulation times, to reduce the quantity and severity of railway accidents in the studied regions. This study has contributed to railway safety by providing essential information on critical times, high-risk locations, and contributing factors to accidents.

Keywords: statistical analysis; railway accidents; accident prevention; risk panel; railway safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Malha ferroviária brasileira.....	14
Figura 2 - Trem da empresa Brado com vagões <i>double stack</i>	14
Figura 3 - Descarrilamento de vagões carregados com carga tóxica em Ohio .	16
Figura 4 - Capa da revista CREA-PR sobre um dos acidentes mais graves na malha ferroviária da região Sul do Brasil.....	17
Figura 5 - Evolução Anual do Acumulado dos Acidentes Ferroviários nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista.....	26
Figura 6 - Pareto com o acumulado das principais causas dos acidentes ferroviários ocorridos nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista	28
Figura 7 - Três conjuntos de dados em que um modelo linear pode ser útil, mesmo que os dados não se alinhem exatamente na linha.....	32
Figura 8 - Distribuição dos acidentes por natureza ao longo dos anos.....	39
Figura 9 - Gráfico de pareto da distribuição de motivos apontados	39
Figura 10 - Computador de bordo da locomotiva.....	40
Figura 11 - Gráfico de rosca da distribuição de abalroamentos e atropelamentos.....	42
Figura 12 - Gráfico de rosca da distribuição de abalroamentos e atropelamentos por dia da semana	43
Figura 13 - Gráficos de distribuição dos abalroamentos.....	43
Figura 14 - Gráficos de distribuição dos atropelamentos	44
Figura 15 - Gráfico de barras da distribuição por intervalos de horas.....	44
Figura 16 - Distribuição por característica do local	45
Figura 17 - Milhões de TKU nas Malhas por ano	46
Figura 18 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos e atropelamentos por ano.....	47
Figura 19 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos e atropelamentos por volume transportado	48
Figura 20 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos por volume transportado	48
Figura 21 - Regressão Linear da quantidade de atropelamentos por volume transportado	49
Figura 22 - <i>Dashboard</i> de acidentes dos tipos abalroamentos e atropelamentos mostrando a evolução	51
Figura 23 - <i>Dashboard</i> de acidentes mostrando distribuições e tempo de interrupção.....	51
Figura 24 - Gráfico mostrando evolução mensal da quantidade de acidentes absoluta e relativa	52
Figura 25 - <i>Dashboard</i> dos registros de apontes	52
Figura 26 - Página mostrando as distribuições, registros e mapa de calor.....	53
Figura 27 - Visual personalizado de mapa de calor de apontes.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes Ferroviários Malha Sul	25
Tabela 2 - Acidentes Ferroviários Malha Paulista	25
Tabela 3 - Acidentes Ferroviários Malha Oeste	25
Tabela 4 - Acidentes Ferroviários Malha Norte.....	25
Tabela 5 - Acidentes Ferroviários Malha Sul por Natureza.....	26
Tabela 6 - Acidentes Ferroviários Malha Paulista por Natureza	27
Tabela 7 - Acidentes Ferroviários Malha Oeste por Natureza	27
Tabela 8 - Acidentes Ferroviários Malha Norte por Natureza.....	27
Tabela 9 - Produção de Transporte Ferroviário.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMV	Aparelho de Mudança de Via
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CBL	Computador de Bordo da Locomotiva
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
PN	Passagem em Nível
TKU	Tonelada quilômetro útil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Problema	15
1.3	Caracterização da oportunidade	17
1.4	Objetivos	17
1.4.1	Objetivo geral	17
1.4.2	Objetivos específicos	18
1.5	Justificativa	18
1.6	Relação com a Engenharia Mecânica	18
1.7	Estruturação do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Definições básicas	20
2.2	Acidentes Ferroviários	20
2.3	Acidentes Ferroviários nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista	24
2.4	Análise Estatística	28
2.4.1	Média Aritmética	30
2.4.2	Mediana	30
2.4.3	Regressão Linear	31
2.5	<i>Dashboards</i>	32
3	METODOLOGIA	35
3.1	Avaliação da Base de Dados	35
3.2	Análise Estatística dos Dados	35
3.3	Avaliação dos Resultados	36
3.4	Desenvolvimento do <i>Dashboard</i>	37
3.5	Sugestões de Melhorias	37
4	APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	38
4.1	Descrição Detalhada dos Dados	38
4.2	Metodologia de Organização dos Dados	38
4.3	Visualização dos Dados	38
4.4	Análise Preliminar dos Dados	39
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	42
5.1	Introdução à Análise Estatística	42
6	DESENVOLVIMENTO DO <i>DASHBOARD</i>	50

6.1	Definição de Requisitos	50
6.2	Design e Arquitetura	50
6.3	Desenvolvimento e Implementação	50
6.4	Funcionalidades do <i>Dashboard</i>	50
6.5	Testes e <i>Feedback</i>.....	54
6.6	Considerações Finais	55
7	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

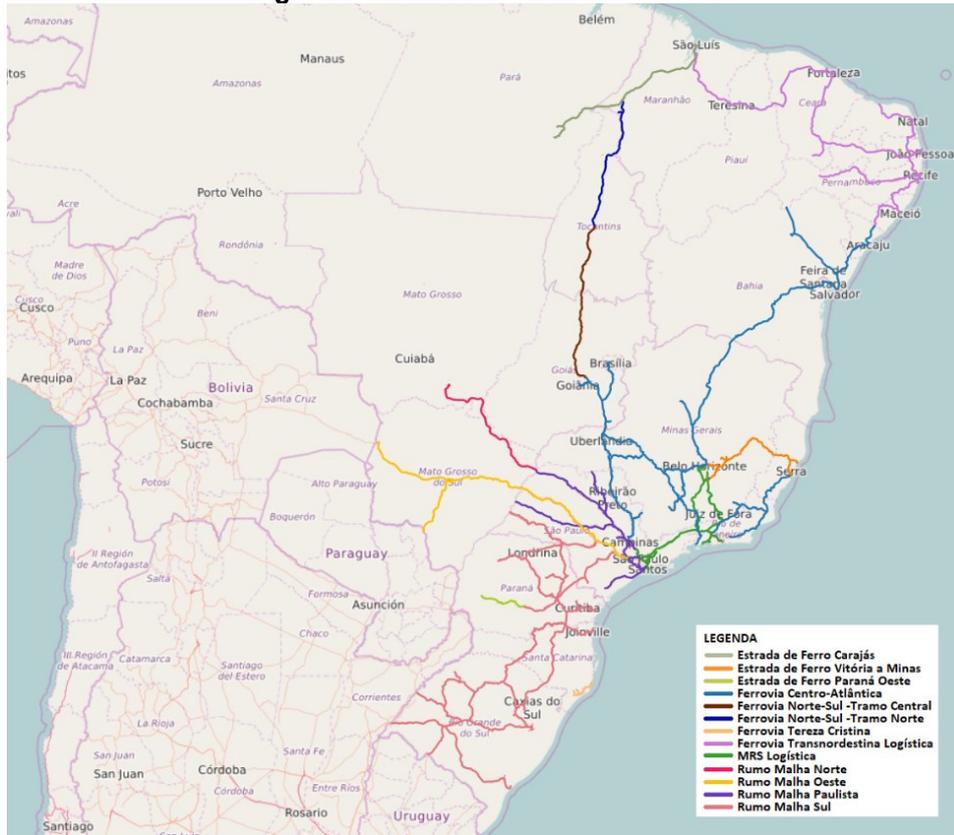
Este estudo propõe uma análise estatística dos acidentes ferroviários ocorridos nas principais malhas do Brasil de 2015 a 2022, visando melhorar a qualidade das informações e identificar padrões de ocorrência. Os dados coletados são estruturados e analisados, focando nas circunstâncias, causas e consequências dos acidentes.

1.1 Contextualização

A ferrovia, como meio de transporte, é um conceito muito antigo. Desde seus primórdios nas minas da Europa Central, até a invenção da locomotiva a vapor, que levou a um crescimento exponencial do setor, as ferrovias se desenvolveram rapidamente (LOZANO et al., 2012). Atualmente, é o meio de transporte mais eficiente para médias distâncias, graças ao constante desenvolvimento e aplicação de soluções inovadoras em todas as áreas relacionadas às ferrovias.

Após um longo período de estagnação, o modal ferroviário no Brasil está passando por um momento de significativo crescimento. As concessionárias responsáveis pela operação das ferrovias brasileiras estão ampliando suas redes, implementando novas tecnologias e aumentando tanto a capacidade produtiva quanto a eficiência operacional. A Figura 1 mostra o mapa da malha ferroviária brasileira até 2020, destacando sua extensão e concentração nas regiões sul e litorâneas. Na Figura 2 é mostrada uma composição com vagões do tipo *double stack*, que tem a capacidade de transportar mais de um container empilhado, exemplificando o aumento da eficiência e a diversificação nas formas de transporte ferroviário. Esta evolução não só potencializa a infraestrutura de transporte, mas também promete impactos positivos na economia e sociedade.

Figura 1 - Malha ferroviária brasileira



Fonte: ANTT (2020)

Figura 2 - Trem da empresa Brado com vagões *double stack*



Fonte: Busani (2022)

Os principais fatores que impulsionaram o desenvolvimento da ferrovia, como meio de transporte, são a segurança, a velocidade e a economia. A preocupação com o impacto ambiental também se tornou cada vez mais relevante, e o transporte

ferroviário tem a vantagem de ter um impacto ambiental reduzido comparado ao transporte utilizando veículos movidos a combustíveis fósseis.

Nesse contexto, a segurança no transporte ferroviário emergiu como uma prioridade global devido à sua importância para o transporte de pessoas e mercadorias. No Brasil, a questão é particularmente relevante devido à extensa rede ferroviária que atravessa várias regiões do país, mais de 31 mil quilômetros conforme a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF). Este estudo se concentra em uma análise estatística dos acidentes ferroviários ocorridos nas principais regiões do Brasil - Sul, Norte, Oeste e Paulista - de 2015 a 2022.

1.2 Problema

Os acidentes ferroviários representam um problema grave tanto para as concessionárias quanto para a população. Para as concessionárias, os acidentes podem levar a atrasos significativos na operação, impactando diretamente o *transit time* (tempo médio de percurso). Isso se deve ao fato de que qualquer dano à estrutura da malha ferroviária ou aos veículos demanda tempo para reparos e liberação da linha, retardando as viagens programadas e, conseqüentemente, causando atrasos na entrega das cargas.

Os acidentes também acarretam custos diretos e indiretos significativos. Custos diretos incluem os danos físicos ao material rodante, via permanente e à infraestrutura, bem como despesas com atendimento, limpeza e reparos. Além disso, há custos indiretos decorrentes de interrupções na operação, como perda de receita devido ao atraso na entrega de cargas, custos associados à reposição de mercadorias danificadas ou perdidas e o potencial impacto negativo na reputação da empresa.

Além disso, há o risco à segurança dos operadores e da população em geral. Acidentes ferroviários podem resultar em lesões graves ou até mesmo fatalidades. Moradores próximos à ferrovia também podem ser afetados por derramamentos de cargas perigosas. A Figura 3 mostra um acidente de extrema gravidade ocorrido em 2023, no qual houve vazamento de substâncias tóxicas, no estado de Ohio (EUA).

Figura 3 - Descarrilamento de vagões carregados com carga tóxica em Ohio



Fonte: Equipe do The Guardian e agências (2023)

No aspecto regulatório, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) estabelece metas de segurança que as concessionárias devem cumprir. O não cumprimento destas metas pode levar a sanções da ANTT, como multas, restrições operacionais ou até mesmo a perda da concessão. Isso, além do impacto financeiro direto, pode prejudicar a credibilidade da empresa no mercado, dificultando a obtenção de futuras concessões ou a renovação das existentes. A Figura 4 exibe a capa da edição número 29 da revista oficial do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR), a qual destaca um dos acidentes mais graves já registrados na história da malha ferroviária da região Sul do Brasil, onde 35 vagões carregados despencaram de uma altura de 50 metros sobre a ponte do rio São João, na Estrada de Ferro Curitiba-Paranaguá.

Figura 4 - Capa da revista CREA-PR sobre um dos acidentes mais graves na malha ferroviária da região Sul do Brasil



Fonte: CREA-PR (2004)

Portanto, é de suma importância para as concessionárias e para a sociedade como um todo a realização de estudos que visem à prevenção de acidentes ferroviários, contribuindo assim para a segurança, eficiência e sustentabilidade do transporte ferroviário no Brasil.

1.3 Caracterização da oportunidade

A necessidade de melhorar a qualidade das informações tratadas sobre esses acidentes é essencial para a segurança do transporte ferroviário, assim como a importância de identificar padrões de ocorrência. Tais padrões podem identificar as circunstâncias, causas e consequências dos acidentes, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de prevenção eficazes.

1.4 Objetivos

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os específicos.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral é propor um processo de análise de dados empregando técnicas estatísticas sobre acidentes ferroviários ocorridos nas principais malhas do

Brasil, Sul, Norte, Oeste e Paulista, com a finalidade de melhorar a qualidade das informações tratadas e identificar padrões de ocorrência.

1.4.2 Objetivos específicos

- Coletar e organizar dados referentes aos acidentes ferroviários ocorridos nas regiões mencionadas durante o período estabelecido;
- Aplicar técnicas estatísticas para identificar padrões de ocorrência e determinar fatores de risco associados a esses acidentes;
- Desenvolver um painel de riscos no formato de *dashboard*, com base nos resultados da análise, que permitirá visualizar as informações de maneira acessível e intuitiva, facilitando a identificação de medidas preventivas;
- Sugerir medidas de prevenção eficazes que possam contribuir para a redução da quantidade e da gravidade dos acidentes ferroviários nas regiões estudadas, com base nas descobertas da análise estatística e na visualização do painel de riscos.

1.5 Justificativa

O setor ferroviário é fundamental para o transporte de pessoas e mercadorias, desempenhando um papel crucial na economia e na mobilidade do Brasil. No entanto, acidentes ferroviários representam um problema significativo, causando prejuízos materiais, interrupções operacionais e potenciais danos às pessoas. As estatísticas de acidentes podem ser complexas e difíceis de analisar de maneira eficaz sem a ferramenta apropriada. Este trabalho, portanto, justifica-se pela necessidade de desenvolver um painel de risco eficiente que possa consolidar, apresentar e interpretar esses dados de maneira intuitiva. Tal ferramenta permitirá a identificação de padrões de ocorrência que possam gerar *insights* para tomada de ações que visem reduzir a frequência e o impacto dos acidentes ferroviários.

1.6 Relação com a Engenharia Mecânica

O curso de Engenharia Mecânica possui diversas aplicações no setor ferroviário, desde o projeto e fabricação de componentes mecânicos até a manutenção e melhoria das infraestruturas ferroviárias existentes. Este estudo, especificamente, tem várias conexões com a área.

A análise estatística de dados para identificar padrões de acidentes é um exemplo da aplicação de habilidades quantitativas aprendidas nos cursos de engenharia, como cálculo, física, probabilidade e estatística.

O desenvolvimento de um painel de risco também está relacionado à Engenharia Mecânica. Isso envolve a criação de um sistema que possa processar e exibir informações complexas de maneira clara e útil, um desafio que engenheiros mecânicos costumam enfrentar em suas carreiras.

O foco na segurança é um aspecto crucial da Engenharia Mecânica. Este campo constantemente busca formas de melhorar a segurança de sistemas e equipamentos, e este trabalho é um exemplo desse foco, já que busca entender e prevenir acidentes ferroviários.

Por fim, este trabalho poderia levar a melhorias em aspectos mecânicos do sistema ferroviário. Compreender as causas dos acidentes pode levar a sugestões para melhorar os projetos, a manutenção ou a operação de equipamentos e infraestruturas ferroviárias. Portanto, este estudo está intrinsecamente relacionado ao campo da Engenharia Mecânica.

1.7 Estruturação do trabalho

O trabalho apresentado está estruturado de maneira lógica e abrangente, proporcionando uma compreensão profunda e detalhada do tema abordado. Inicia-se com o Capítulo 2, que oferece uma sólida fundamentação teórica, esclarecendo conceitos essenciais que sustentam os desenvolvimentos subsequentes do estudo. O Capítulo 3 é dedicado à metodologia, descrevendo minuciosamente os métodos e procedimentos utilizados na pesquisa, garantindo assim transparência e replicabilidade. A seguir, o Capítulo 4 apresenta os dados coletados, descrevendo-os de maneira clara e objetiva e mostrando análises preliminares. Nos capítulos 5 e 6, são realizadas as análises pertinentes e é apresentado o resultado do desenvolvimento do *dashboard*. Finalmente, o trabalho conclui com o Capítulo 7, onde são resumidas as principais conclusões, implicando tanto em termos teóricos quanto práticos, e sugerindo direções para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste estudo busca oferecer um panorama abrangente e atualizado da temática de acidentes ferroviários, situando esta pesquisa no contexto dos estudos e discussões já realizados na área.

Iniciou-se discutindo o contexto histórico e atual do setor ferroviário no Brasil e a relevância da segurança neste meio de transporte. Posteriormente, será apresentada uma revisão detalhada da literatura acerca de acidentes ferroviários, explorando causas comuns, consequências e estratégias de prevenção adotadas. Além disso, destaca-se a importância da análise estatística na identificação de padrões e previsão de acidentes, bem como o papel de *dashboards* na visualização de dados e na tomada de decisões.

2.1 Definições básicas

Conforme norma ABNT NBR 15868 (2010):

- Trem: qualquer veículo automotriz ferroviário, com ou sem vagões e/ou carro de passageiros, devidamente licenciado e com indicação “trem completo”;
- Veículo ferroviário: todo material ferroviário rodante de tração, de transporte e de utilização especial utilizado na operação ferroviária.

2.2 Acidentes Ferroviários

Considerando a Resolução ANTT nº 1.431 (2006), acidente ferroviário é caracterizado como um evento em que há a participação direta de um veículo ferroviário, resultando em danos a este, a pessoas, a outros veículos, a instalações, a obras-de-arte, à via permanente, ao meio ambiente e a animais (desde que ocorra paralisação do tráfego).

Os acidentes ferroviários apresentam distintas classificações, que abordam a natureza e as causas dos eventos. A norma ABNT NBR 15868 (2010) classifica os acidentes ferroviários como:

- Abalroamento: Colisão de veículos ferroviários ou trens, circulando ou manobrando, com qualquer obstáculo, exceto outro veículo ferroviário. Esses eventos são mais comuns nas Passagens em Nível (PN), que são pontos onde a via férrea cruza com uma via rodoviária;

- Atropelamento: Acidente que ocorre com um trem ou veículo ferroviário com pessoas e/ou animais, provocando lesão ou morte;
- Choque: Colisão de veículos ferroviários ou trens, circulando no mesmo sentido, na mesma via, podendo um deles estar parado;
- Colisão: Acidente ferroviário resultante do impacto indevido de veículo ferroviário contra um obstáculo à sua livre circulação, desde que não seja um veículo rodoviário;
- Descarrilamento: Acidente em que uma ou mais rodas do veículo ferroviário saltam do boleto do trilho;
- Disparo de trem: Irregularidade caracterizada pela perda de controle da velocidade do trem;
- Encontro: Colisão de veículos ferroviários ou trens, circulando em sentidos opostos na mesma via, podendo um deles estar parado;
- Esbarro: Colisão de veículos ferroviários ou trens, circulando ou manobrando em vias distintas, podendo um deles estar parado;
- Explosão: Acidente ferroviário ocorrido por explosão em trem ou veículo ferroviário;
- Incêndio: Acidente ferroviário ocorrido por incêndio em trem ou veículo ferroviário;
- Semitombamento: Adernamento, descarrilamento que resulte na inclinação lateral parcial do veículo ferroviário;
- Tombamento: Descarrilamento que resulta na inclinação lateral total do veículo ferroviário.

Em relação às causas, os acidentes podem ser vinculados a falhas humanas, problemas na via permanente, deficiências no material rodante, falhas nos sistemas de telecomunicação, sinalização e energia, atos de vandalismo e situações classificadas como casos fortuitos ou de força maior. Desta forma, as causas dos acidentes ferroviários são classificadas pela ABNT NBR 15868 (2010) conforme segue:

- Operação: Acidentes ocasionados devido a falhas na operação dos trens e veículos ferroviários e/ou descumprimento de procedimentos operacionais, podendo ter como principais causas:

- Transposição de Aparelho de mudança de via (AMV) com chave ao contrário;
 - Deslocamento de carga;
 - Carregamento irregular;
 - Excesso de velocidade;
 - Corrida do veículo;
 - Falha funcional;
 - Disparo de trem;
 - Fracionamento de trem;
 - Choque interno (galope ou estirão);
 - Outras.
- Via permanente: Descarrilamentos ocasionados devido a falha nos equipamentos que compõem a via permanente ferroviária, tendo como principais causas:
 - Fratura de trilho;
 - Trilho desgastado;
 - Caminhamento de trilho;
 - Dormentação deficiente;
 - Dormentação em mau estado;
 - Pregação deficiente;
 - Pregação insuficiente;
 - Socaria imperfeita;
 - Linha desbitolada;
 - Junta arriada;
 - Tala solta ou partida;
 - Abatimento de plataforma;
 - Agulha defeituosa;
 - Jacaré (coração) desgastado;
 - Agulha fraturada;
 - Aparelho de mudança de via (AMV) destravado (sem travamento);
 - Agulha do AMV mal montada;
 - AMV com chave entreaberta;
 - Deslizamento de aterro;
 - Deslizamento de corte;

- Superelevação mal dimensionada;
 - Superlargura mal dimensionada;
 - Via mal locada;
 - Rotura ou desmoronamento de obras de arte;
 - Fratura de solda;
 - Fratura de AMV;
 - Boleto esmagado;
 - Empeno de trilhos;
 - Empeno de agulhas;
 - Deslocamento de via;
 - Outras.
- Material rodante: Descarrilamentos ocasionados devido a falhas nos veículos ferroviários e podem ser causados por:
 - Fratura de eixo;
 - Fratura de roda;
 - Fratura de friso da roda;
 - Aluimento do aro ou da roda;
 - Friso no rejeito (fino, alto, vertical);
 - Fratura de peças;
 - Peças em arrasto;
 - Folga indevida na manga de eixo;
 - Folga indevida entre a caixa e o pedestal (cadeira);
 - Folga indevida no ampara-balanço (apoio lateral);
 - Queda de peças;
 - Fratura do pino de pião e/ou do prato de pião;
 - Travessa de freio arriada;
 - Fratura e/ou desgaste de peças de truque;
 - Outras.
- Sinalização: Sinistros ocasionados devido a falhas nos sistemas de sinalização e/ou licenciamento:
 - Avanço de sinal;
 - Sinalização incorreta;
 - Sinal com má visibilidade;
 - Licenciamento incorreto;

- Entrada em linha ocupada;
 - Falta de marco;
 - Veículo fora de marco;
 - Desrespeito ao gabarito de segurança do material rodante;
 - Desrespeito ao sinal;
 - Outras.
- Atos de vandalismo: Sinistros ocasionados por ações de terceiros com a intenção de causar algum dano ao patrimônio pertencente à ferrovia;
 - Casos fortuitos: Sinistros que não são diretamente controlados pela concessionária das ferrovias, como por exemplo atropelamentos e abalroamentos em que houve imperícia ou imprudência da(s) vítima(s) envolvida(s).

2.3 Acidentes Ferroviários nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista

De acordo com o Anuário do Setor Ferroviário divulgado pela ANTT (2023), com informações atualizadas até o final do ano de 2022, ocorreram 4576 acidentes ferroviários nas malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista no período entre 2011 e 2022. Isso resulta em uma média anual de 381 acidentes ao longo desses anos, entre as principais causas estão os acidentes envolvendo Terceiros, Casos Fortuitos ou de Força Maior e Via permanente. As Tabelas de 1 a 4 a seguir apresentam detalhes quantitativos dos acidentes ocorridos nas malhas mencionadas, utilizando as seguintes siglas:

- FH: Falha Humana;
- MR: Material Rodante;
- STE: Sinalização Tele. Eletro;
- VP: Via Permanente;
- VD: Atos Vandalismo;
- CF: Casos Fortuitos ou de Força Maior;
- IF: Infraestrutura;
- TR: Terceiros;
- OC: Outras Causas.

Tabela 1 - Acidentes Ferroviários Malha Sul

Acidentes Graves de Transporte Ferroviário RMS										
Ano	Total	FH	MR	STE	VP	VD	CF	IF	TR	OC
2011	195	11	15	1	49	1	1	0	37	80
2012	183	4	2	0	58	0	0	0	115	4
2013	207	2	5	0	59	1	0	0	137	3
2014	194	2	6	2	66	2	0	0	114	2
2015	288	14	18	0	116	6	35	0	93	6
2016	184	6	23	1	44	0	100	0	10	0
2017	201	3	7	0	48	1	142	0	0	0
2018	217	2	9	0	31	2	173	0	0	0
2019	276	2	14	0	61	0	199	0	0	0
2020	233	5	11	0	17	1	199	0	0	0
2021	214	2	3	1	14	0	134	0	60	0
2022	266	1	5	0	22	0	2	0	235	1

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 2 - Acidentes Ferroviários Malha Paulista

Acidentes Graves de Transporte Ferroviário RMP										
Ano	Total	FH	MR	STE	VP	VD	CF	IF	TR	OC
2011	136	4	19	0	66	2	0	1	18	26
2012	144	2	11	0	46	3	0	0	80	2
2013	123	3	11	0	36	0	0	0	71	2
2014	108	5	14	0	34	1	0	0	52	2
2015	130	5	16	2	38	1	0	0	68	0
2016	79	4	5	0	6	1	59	0	4	0
2017	74	5	4	0	12	0	53	0	0	0
2018	100	1	6	0	9	1	83	0	0	0
2019	102	0	6	0	13	1	82	0	0	0
2020	92	2	3	0	9	1	77	0	0	0
2021	78	0	2	0	10	0	42	0	24	0
2022	105	0	3	0	6	0	0	0	95	1

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 3 - Acidentes Ferroviários Malha Oeste

Acidentes Graves de Transporte Ferroviário RMO										
Ano	Total	FH	MR	STE	VP	VD	CF	IF	TR	OC
2011	68	4	9	0	30	1	0	0	7	17
2012	75	1	6	0	47	1	0	0	16	4
2013	49	0	11	0	24	0	0	0	14	0
2014	45	1	8	0	21	3	0	0	12	0
2015	51	2	7	0	28	3	0	0	10	1
2016	18	0	4	0	4	1	7	0	2	0
2017	28	0	2	0	19	1	6	0	0	0
2018	36	1	0	0	20	1	14	0	0	0
2019	38	0	0	0	25	0	13	0	0	0
2020	14	0	0	0	10	0	4	0	0	0
2021	23	0	0	0	15	1	5	0	2	0
2022	20	1	1	0	10	0	0	0	3	5

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 4 - Acidentes Ferroviários Malha Norte

(continua)

Acidentes Graves de Transporte Ferroviário RMN										
Ano	Total	FH	MR	STE	VP	VD	CF	IF	TR	OC
2011	15	1	5	0	4	0	0	0	2	3
2012	16	2	2	0	9	0	0	0	3	0
2013	20	0	5	0	9	0	0	0	5	1

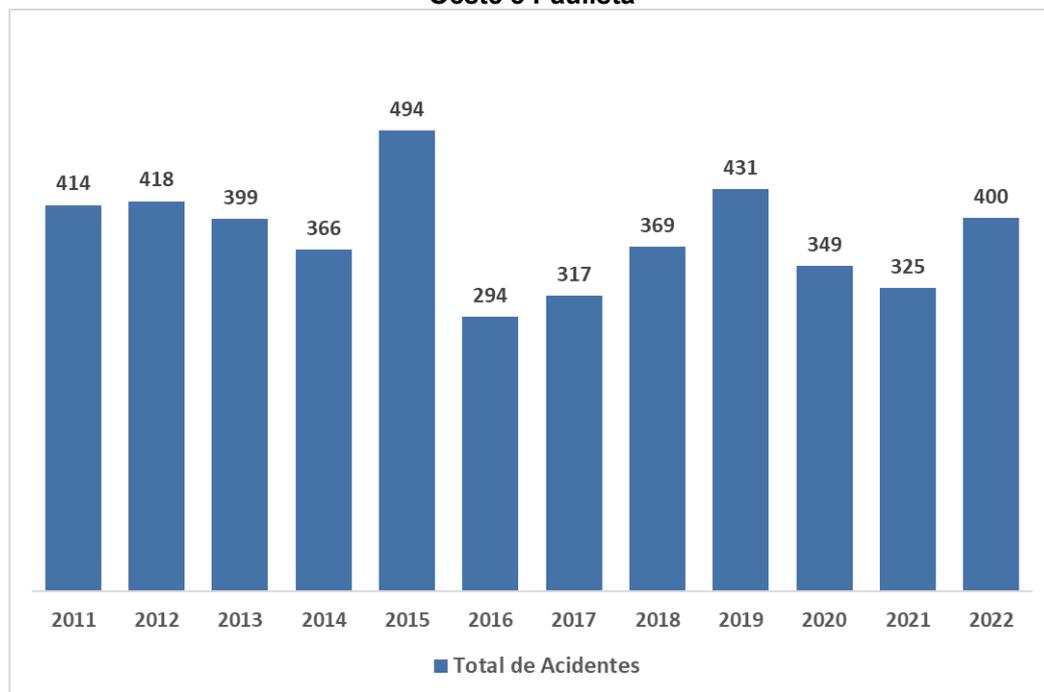
Tabela 4 - Acidentes Ferroviários Malha Norte

(continuação)

Acidentes Graves de Transporte Ferroviário RMN										
Ano	Total	FH	MR	STE	VP	VD	CF	IF	TR	OC
...
2014	19	1	4	0	6	0	0	0	8	0
2015	25	2	11	0	7	1	0	0	4	0
2016	13	0	4	0	5	0	3	0	1	0
2017	14	1	5	0	3	0	5	0	0	0
2018	16	0	2	0	4	2	8	0	0	0
2019	15	0	2	0	3	0	10	0	0	0
2020	10	0	0	0	2	3	5	0	0	0
2021	10	0	1	0	2	0	6	0	1	0
2022	9	0	0	0	1	0	0	0	8	0

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Na Figura 5 é possível observar a evolução anual do acumulado de acidentes ferroviários ocorridos nas malhas estudadas neste trabalho.

Figura 5 - Evolução Anual do Acumulado dos Acidentes Ferroviários nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

A seguir são apresentadas as Tabelas de 5 a 8 contendo o histórico anual de acidentes por natureza:

Tabela 5 - Acidentes Ferroviários Malha Sul por Natureza

(continua)

Histórico anual de acidentes por natureza							
Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
2011	195	89	32	2	72	0	0
2012	183	82	36	2	63	0	0
2013	207	91	47	2	64	0	3
2014	194	85	27	1	80	0	1
2015	288	99	32	7	150	0	0

Tabela 5 - Acidentes Ferroviários Malha Sul por Natureza

(continuação)

Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
...
2016	184	77	34	1	69	0	3
2017	201	106	36	1	56	0	2
2018	217	135	38	1	43	0	0
2019	276	144	55	0	77	0	0
2020	233	143	57	0	33	0	0
2021	214	150	43	1	20	0	0
2022	266	165	69	1	31	0	0

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 6 - Acidentes Ferroviários Malha Paulista por Natureza

Histórico anual de acidentes por natureza

Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
2011	136	20	20	0	96	0	0
2012	144	42	40	3	59	0	0
2013	123	42	30	3	37	0	11
2014	108	25	27	1	45	0	10
2015	130	35	33	2	49	0	11
2016	79	25	37	1	12	0	4
2017	74	18	34	4	17	0	1
2018	100	25	57	0	17	0	1
2019	102	31	51	0	20	0	0
2020	92	27	50	0	15	0	0
2021	78	26	39	0	13	0	0
2022	105	40	54	0	10	0	1

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 7 - Acidentes Ferroviários Malha Oeste por Natureza

Histórico anual de acidentes por natureza

Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
2011	68	13	4	0	50	0	1
2012	75	15	3	1	53	0	3
2013	49	11	3	0	25	0	10
2014	45	10	3	0	24	0	8
2015	51	9	0	0	34	0	8
2016	18	6	3	1	5	0	3
2017	28	4	2	0	19	0	3
2018	36	12	2	0	22	0	0
2019	38	11	1	1	25	0	0
2020	14	2	2	0	10	0	0
2021	23	5	2	0	16	0	0
2022	20	4	0	0	16	0	0

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

Tabela 8 - Acidentes Ferroviários Malha Norte por Natureza

(continua)

Histórico anual de acidentes por natureza

Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
2011	15	3	2	1	9	0	0
2012	16	3	0	1	12	0	0
2013	20	5	0	0	11	1	3
2014	19	7	1	1	8	0	2
2015	25	1	3	2	13	0	6
2016	13	3	1	0	8	0	1
2017	14	5	0	0	8	0	1

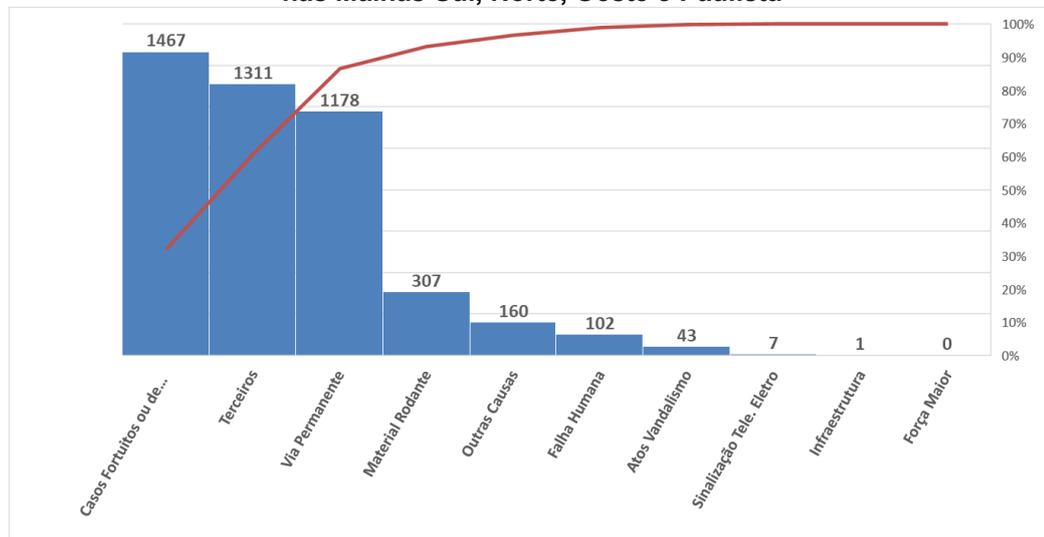
Tabela 8 - Acidentes Ferroviários Malha Norte por Natureza

(continuação)

Histórico anual de acidentes por natureza							
Ano	Total	Abalroamento	Atropelamento	Colisão	Descarrilamento	Explosão	Incêndio
...
2018	16	7	1	0	8	0	0
2019	15	10	0	0	5	0	0
2020	10	5	0	0	5	0	0
2021	10	7	0	0	3	0	0
2022	9	8	0	1	0	0	0

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

A Figura 6 mostra o Pareto do acumulado das causas dos acidentes ferroviários nas malhas estudadas neste trabalho.

Figura 6 - Pareto com o acumulado das principais causas dos acidentes ferroviários ocorridos nas Malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista

Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2022)

Analisando as tabelas e gráficos anteriormente apresentados, constata-se que as regiões analisadas sofrem com uma média de 381 acidentes ferroviários anuais, tendo como principal ofensor os acidentes com causa Casos Fortuitos ou de Força Maior.

2.4 Análise Estatística

Entender a natureza e as causas dos acidentes ferroviários, é um passo fundamental para efetivamente tratar a questão da segurança no setor. Porém, sem uma análise sistemática e quantitativa desses acidentes, corre-se o risco de implementar medidas preventivas inadequadas ou ineficazes. É nesse contexto que a análise estatística se mostra imprescindível. Através dela, é possível identificar

padrões, correlações e tendências nos dados de acidentes, fornecendo *insights* valiosos para a tomada de decisão e a implementação de políticas de segurança mais efetivas e direcionadas às necessidades específicas das malhas ferroviárias em questão.

Conforme Sampaio, Assumpção e Fonseca (2018), a Estatística é uma subdivisão da Matemática que utiliza métodos científicos para reunir, organizar, exibir e analisar dados. Eles enfatizam que, para extrair conclusões significativas e fundamentar decisões a partir da análise desses dados, é crucial seguir critérios bem definidos. Além disso, é necessário utilizar métodos específicos para obter e organizar os dados em tabelas e gráficos que viabilizem uma análise efetiva. Essa metodologia estruturada proporciona uma visão clara e precisa dos dados, potencializando sua utilidade em diversas aplicações.

Sampaio, Assumpção e Fonseca (2018) dividem a estatística em quatro frentes:

- Estatística Descritiva: é aquela que tem por finalidade o fenômeno estatístico onde há coleta, organização e apresentação dos dados obtidos;
- Estatística Indutiva: é também chamada Estatística Amostral. É aquela que a partir de algumas informações e mediante métodos adequados estima, induz e conclui possíveis resultados sobre o fenômeno estudado;
- Probabilidade: é o ramo da estatística utilizado na análise de situações em que envolvam o acaso;
- Inferência Estatística: é a área que diz respeito à análise e interpretação de dados amostrais – constitui o conjunto de métodos para tomar decisões em situações em que há incerteza ou variação.

Embora as diversas áreas da Estatística sejam interligadas, neste trabalho, o foco estará voltado principalmente para a Estatística Descritiva e Inferência Estatística. No entanto, é essencial esclarecer alguns termos frequentemente empregados neste contexto, de acordo com Sampaio, Assumpção e Fonseca (2018):

- População: coleção completa de todos os elementos (valores, pessoas, medidas etc.) a serem estudados;
- Amostra: é um subconjunto não vazio da população, uma subseleção de elementos extraídos de uma população;
- Censo: é o estudo estatístico realizado em toda a população;

- Parâmetro: é uma medida numérica que descreve uma característica de uma população;
- Variável: é o conjunto de resultados possíveis de um fenômeno;
- Dado: É um valor numérico ou atributo qualitativo assumido em determinado momento pela variável.

Conforme Devore (2005), os resumos gráficos de dados são excelentes ferramentas para obter impressões e ideias iniciais. Uma análise mais formal de dados frequentemente exige o cálculo e a interpretação de medidas-resumo numéricas simples. Isto é, a partir dos dados, buscamos extrair diversos números simples, que servem para caracterizar o conjunto de dados e indicar algumas informações consideráveis.

2.4.1 Média Aritmética

Segundo Devore (2005), para um determinado conjunto de números x_1, x_2, \dots, x_n , a medida mais familiar e útil do centro é a média do conjunto.

A média amostral \bar{x} das observações x_1, x_2, \dots, x_n , é dada por:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

2.4.2 Mediana

Devore (2005) caracteriza mediana como sinônimo de “metade” e a mediana amostral é o valor do centro quando as observações são ordenadas da menor para a maior.

Devore (2005) salienta que informar somente a medida de tendência central fornece apenas informações parciais sobre um conjunto de dados ou uma distribuição. Diferentes amostras ou populações podem ter medidas de tendência central idênticas e apresentar diferenças entre si em outros aspectos cruciais. Por isso a importância de também analisar medidas de dispersão, sendo a mais simples a amplitude, a diferença entre o valor mais alto e o mais baixo da amostra.

Entretanto para Devore (2005), nossa principal medida de dispersão envolve os desvios em relação à média, $x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, \dots, x_n - \bar{x}$. Em outras palavras, os desvios da média são determinados pela subtração do valor médio de cada uma das n observações da amostra. Um desvio terá um valor positivo se a observação for maior que a média (à direita da média no eixo das medidas) e terá um valor negativo se a

observação for menor que a média. Se todos os desvios apresentarem baixos valores absolutos, todas as observações x_i estarão próximas à média, sugerindo uma dispersão mínima. No entanto, se houver desvios de grandes magnitudes, algumas observações x_i estarão significativamente distantes do valor médio, apontando uma maior dispersão. Dessa forma a variância amostral é dada por:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

E o desvio padrão amostral, representado por s :

$$s = \sqrt{s^2}$$

Na esfera da segurança ferroviária, além das análises descritivas simples, a análise de regressão surge como uma poderosa ferramenta estatística para examinar a relação entre as variáveis.

Situada no campo da Estatística Inferencial, que se dedica à geração de conclusões a partir de dados sujeitos a variações aleatórias, a regressão possibilita a extrapolação para a população geral com base em uma amostra e a predição de fenômenos futuros. Nesse sentido, a regressão linear é uma modelagem preditiva que busca entender a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, permitindo prever resultados futuros, entender quais variáveis influenciam o resultado e testar hipóteses de pesquisa.

Através da quantificação da relação entre os acidentes ocorridos e diversas variáveis preditoras, como volume de produção, datas, horários e locais, a regressão pode revelar padrões e tendências não aparentes em análises descritivas simples. Portanto, ao aplicar essas técnicas, é possível extrair *insights* valiosos para a formulação de estratégias eficazes de prevenção de acidentes, bem como realizar previsões mais precisas para o futuro.

2.4.3 Regressão Linear

A regressão linear é uma técnica estatística muito poderosa, segundo Diez, Barr e Çetinkaya-Rundel (2015) a regressão linear pressupõe que a relação entre duas variáveis, x e y , pode ser modelada por uma linha reta:

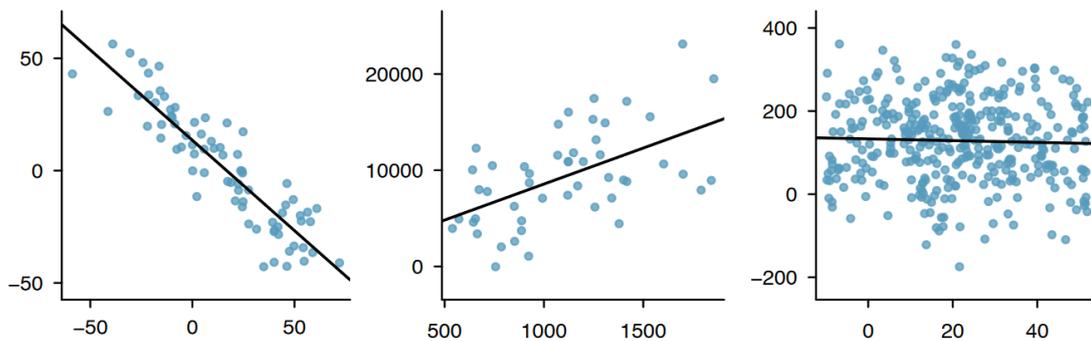
$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

onde β_0 e β_1 representam dois parâmetros do modelo. Esses parâmetros são estimados usando dados, e escrevemos suas estimativas de ponto como b_0 e b_1 .

Quando usamos x para prever y , geralmente chamamos x de variável explicativa ou preditora, e chamamos y de resposta.

Como resultado, podemos gerar gráficos que mostram diferentes correlações entre dados, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Três conjuntos de dados em que um modelo linear pode ser útil, mesmo que os dados não se alinhem exatamente na linha



Fonte: OpenIntro Statistics (2015)

Ainda segundo Diez, Barr e Çetinkaya-Rundel (2015), conforme percebe-se nos exemplos da Figura 7, é raro que todos os dados se alinhem exatamente a uma linha reta. Em cada situação, os dados se agrupam em torno de uma linha reta, mesmo que nenhuma das observações se encontre exatamente sobre a linha. Em cada um dos exemplos teremos alguma incerteza em relação às nossas estimativas dos parâmetros do modelo. E nesse contexto podemos empregar critérios para ajuste de linha.

2.5 Dashboards

A análise estatística se mostra como uma ferramenta fundamental na compreensão e controle de acidentes ferroviários, permitindo que os dados brutos sejam transformados em informação significativa. Essas informações, quando apresentadas de forma adequada, têm o poder de transformar a maneira como tomamos decisões na segurança ferroviária. Neste cenário, a criação de um *dashboard* emerge como uma necessidade. O *dashboard*, com sua habilidade para apresentar dados complexos de maneira simples e intuitiva, torna-se um componente importante para uma gestão eficaz, fornecendo uma visão clara dos padrões de acidentes e ajudando a direcionar as medidas preventivas.

De acordo com Wexler, Shaffer e Cotgreave (2017), um *dashboard* é uma exibição visual de dados utilizada para monitorar condições e/ou facilitar a compreensão.

Segundo Buchsbaum (2012), os *dashboards* representam uma visão global expressa em uma única tela com múltiplas e poderosas possibilidades de interação. Eles funcionam como ponto de partida para as principais informações da organização ou de uma determinada área.

Para Few (2006) um *dashboard* é uma exibição visual das informações mais importantes necessárias para atingir um ou mais propósitos; consolidadas e organizadas em uma única tela para que as informações possam ser monitoradas de relance. Few (2006) equipara um *dashboard* empresarial, também conhecido como painel de *Business Intelligence* (BI), ao painel de um veículo; assim como o painel de um carro fornece informações críticas necessárias para operar o veículo de relance, um painel de BI serve a um propósito similar, seja você empregando-o para tomar decisões estratégicas para uma grande corporação, gerenciar as operações diárias de uma equipe ou realizar tarefas que envolvem apenas você mesmo.

E seguindo o objetivo deste trabalho, as ideias de Few (2006) vão ao encontro com o que está sendo proposto. Para ele, *dashboards* exibem as informações necessárias para atingir objetivos específicos. Para atingir até mesmo um único propósito, frequentemente é preciso consultar uma compilação de informações que de outra forma não estariam conectadas, comumente originárias de diversas fontes vinculadas a várias funções corporativas. Não se trata de uma categoria específica de informação, mas sim de qualquer espécie de informação que seja necessária para executar uma tarefa.

E o mais importante para Wexler, Shaffer e Cotgreave (2017) é compreender como combinar diferentes elementos (por exemplo, gráficos, texto, legendas, filtros etc.) em um todo coeso e coordenado que permita às pessoas visualizarem e entenderem seus dados. Eles ainda enfatizam que antes de se colocar os números em um gráfico, é necessário considerar suas propriedades estatísticas. Dessa forma, descobre-se que as propriedades estatísticas de cada grupo de números são muito semelhantes. “Se a tabela não mostra nada e as estatísticas não revelam muito, o que acontece quando traçamos os números?” indagam Wexler, Shaffer e Cotgreave (2017). Visualizar os números em um gráfico mostra algo que tabelas e algumas

medidas estatísticas não conseguem. Visualiza-se dados para aproveitar o incrível poder do nosso sistema visual para identificar conexões e tendências.

Dada a natureza complexa e multidimensional dos dados relacionados aos acidentes ferroviários, é essencial sintetizar essas informações de maneira acessível e intuitiva. Aqui, a utilidade de um *dashboard* se torna evidente. Os *dashboards*, com sua capacidade de consolidar a visualização dos dados de diversas fontes em um formato unificado, facilitam a interpretação e a tomada de decisões. Ao permitir uma visualização clara das tendências, padrões e anomalias dos acidentes, um *dashboard* pode ser uma ferramenta fundamental para identificar áreas de risco, orientar a implementação de medidas preventivas e, em última análise, aprimorar a segurança no setor ferroviário.

Com essa base sólida na compreensão dos *dashboards* e sua relevância na gestão de informações, a transição para a próxima seção do trabalho torna-se fundamental. Esta seção será dedicada à exploração da metodologia empregada nas análises, construção e implementação de *dashboards* eficientes no contexto de segurança ferroviária. A metodologia abordará aspectos cruciais como a seleção de dados relevantes, técnicas de análise estatística, técnicas de visualização de dados, e a integração de informações de múltiplas fontes. Além disso, serão discutidos os princípios de design e usabilidade que garantem que os *dashboards* não apenas apresentem informações, mas também facilitem *insights* acionáveis e decisões informadas. Através desta abordagem metodológica, será elucidado como a análise e apresentação eficaz de dados podem transformar o gerenciamento da segurança no transporte ferroviário.

3 METODOLOGIA

Na seção de metodologia, são descritas claramente as etapas do processo que serão seguidas para atingir os objetivos do trabalho.

3.1 Avaliação da Base de Dados

Para a análise estatística deste estudo, serão consultadas duas bases de dados, a primeira contém informações detalhadas sobre os 2979 acidentes comunicados nas malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista entre os anos de 2015 e 2022. Esses dados são de extrema importância para compreender o panorama da segurança ferroviária nesses locais ao longo deste período.

A análise aprofundada desses acidentes, levando em consideração múltiplas variáveis e circunstâncias, permitirá extrair *insights* relevantes, identificar padrões e tendências, e formular estratégias eficazes para prevenção de acidentes futuros no setor ferroviário.

Cada acidente conta com cerca de 140 variáveis únicas, para o trabalho em questão serão consideradas 55 variáveis que são relevantes para as análises propostas, sendo algumas delas: data, horário, local, coordenadas geográficas, posição quilométrica, ativos envolvidos, tempo de interdição da via, condições do local do acidente, entre outras informações relevantes.

A segunda fonte de dados a ser analisada consiste em observações feitas pelos maquinistas (Apontes dos maquinistas), registrando situações de potencial risco à operação ferroviária. Com mais de um milhão de entradas, esses registros apontam data, horário e local onde identificou-se situações de risco como: quase abalroamento, quase atropelamento, atos suspeitos próximos a via, problemas de sinalização, falta de supressão de vegetação no gabarito da via, entre outros.

3.2 Análise Estatística dos Dados

Utilizando as fontes de dados descritas, serão empregados métodos de estatística descritiva para identificar os aspectos que necessitam de maior atenção. Buscando determinar os locais de maior incidência de acidentes, datas e/ou horários mais críticos, os eventos que mais impactam a operação, os tipos de acidentes que geram custos mais elevados e aqueles que apresentam maior risco para terceiros, dentre outros aspectos relevantes.

Adicionalmente, serão utilizadas técnicas de regressão linear com o objetivo de discernir as relações existentes entre as variáveis associadas aos acidentes e entre os registros feitos pelos maquinistas e os próprios acidentes do histórico.

Para viabilizar tanto o tratamento quanto a análise dos dados, será feito uso dos *softwares* Microsoft Excel e Microsoft Power BI, ferramentas que auxiliarão no alcance dos objetivos propostos.

3.3 Avaliação dos Resultados

A partir dos resultados obtidos aplicando os métodos estatísticos, pretende-se utilizar os seguintes modelos de gráficos para avaliar os resultados e posteriormente construir as visualizações pertinentes ao *dashboard*:

- 1) Gráficos de barras: Úteis para comparar quantidades ou frequências entre diferentes categorias;
- 2) Gráficos de linhas: Utilizados para representar a evolução de uma variável em função do tempo, sendo bastante úteis para visualizar tendências e padrões ao longo do tempo;
- 3) Gráficos de dispersão (*scatter plots*): Utilizados para representar a relação entre duas variáveis numéricas, sendo frequentemente utilizados na análise de correlações;
- 4) Histogramas: Os histogramas são gráficos de barras que mostram a distribuição de uma variável numérica;
- 5) *Box plots*: Os *box plots* oferecem uma visão resumida da distribuição dos dados, exibindo valores como o quartil inferior, mediana, quartil superior e possíveis *outliers*;
- 6) Mapa de calor: Representação gráfica de dados, onde variadas intensidades de cores indicam diferentes valores, facilitando a identificação de padrões, tendências e correlações;
- 7) Gráficos de área: Utilizados para comparar duas ou mais quantidades e observar como elas se modificam em função de outra variável.

Por meio destas ferramentas de visualização gráfica, almeja-se destacar as informações mais relevantes que conduzirão ao cumprimento do objetivo central deste trabalho.

3.4 Desenvolvimento do *Dashboard*

Para o desenvolvimento do *dashboard* final, será utilizado o software Microsoft Power BI, pois o mesmo permite uma integração consistente com as bases de dados em Excel e oferece uma gama satisfatória de ferramentas visuais.

A partir dos gráficos obtidos na etapa anterior, serão avaliados quais terão maior potencial de agregar valor às análises, seguindo o princípio de que um *dashboard* deve exibir as principais informações consolidadas e organizadas em uma única tela para que as mesmas possam ser monitoradas de relance.

3.5 Sugestões de Melhorias

A partir de todas as etapas realizadas, será possível identificar oportunidades de melhoria, visando à redução dos acidentes ferroviários. A avaliação da base de dados permitirá entender a natureza e as circunstâncias dos acidentes ocorridos, enquanto a análise estatística proporcionará *insights* relevantes sobre as correlações e padrões emergentes desses eventos. Com o desenvolvimento do *dashboard*, será possível visualizar esses padrões de maneira mais clara e intuitiva. Combinando esses elementos, pode-se identificar áreas problemáticas e propor medidas preventivas específicas para cada situação. As sugestões de melhorias podem incluir a revisão de protocolos e procedimentos de segurança, aprimoramento na formação e treinamento dos operadores, investimento em tecnologias de segurança, entre outras. Cada recomendação será baseada em dados concretos e objetivará o aumento da segurança e a diminuição de acidentes no setor ferroviário.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Este segmento do trabalho dedica-se à apresentação dos dados coletados referentes aos acidentes ferroviários nas principais malhas do Brasil, abrangendo o período de 2015 a 2022. A seleção dos dados foi realizada com o objetivo de analisar as tendências em acidentes ferroviários e identificar fatores críticos para intervenção.

4.1 Descrição Detalhada dos Dados

Os dados coletados dos acidentes englobam o número de acidentes, tipos de acidentes, localizações geográficas, período em que ocorreram, e apontamentos de eventos potenciais que possam gerar acidentes. E suas variáveis foram descritas na seção Avaliação da Base de Dados.

Para os acidentes, foi observado um total de 2.979 registros de acidentes, que foram categorizados conforme causa e natureza informada à agência reguladora.

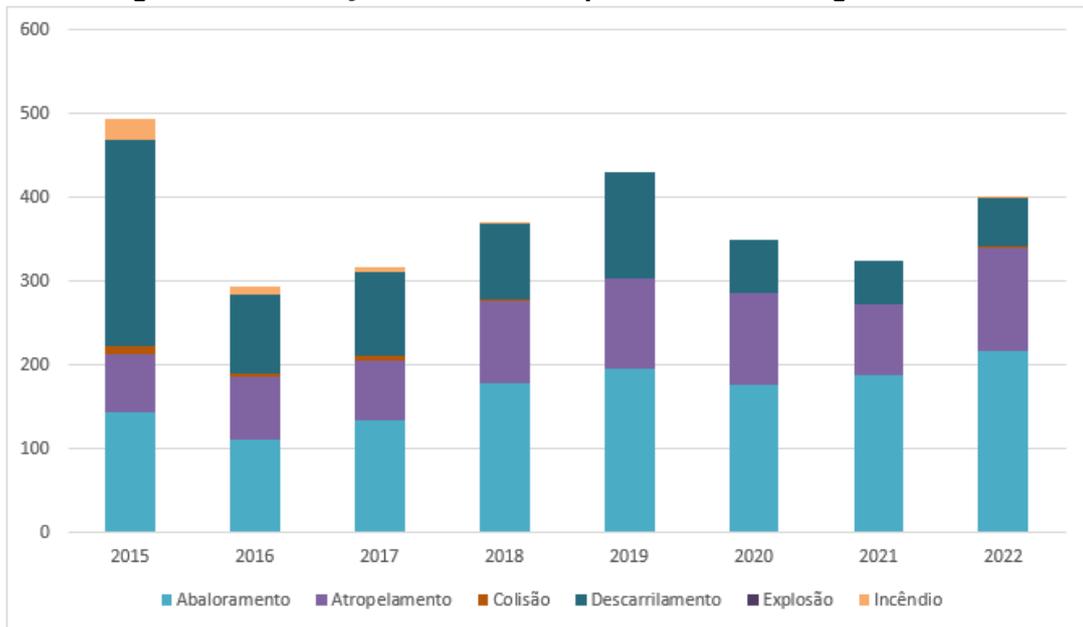
Em relação aos apontamentos foi usada uma base com 134.601 registros do ano de 2022, contendo motivo, local, data e hora da ocorrência.

4.2 Metodologia de Organização dos Dados

Para a análise subsequente, os dados foram organizados em tabelas usando a ferramenta do Microsoft Excel. Esta organização visa facilitar a identificação de padrões e facilitar a interpretação estatística. Estas tabelas também servirão de consulta para o *Dashboard* ao final do trabalho.

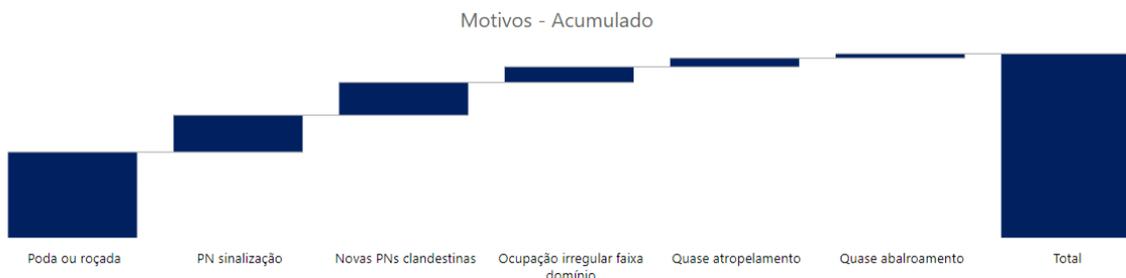
4.3 Visualização dos Dados

As seguintes tabelas e figuras oferecem uma visualização inicial dos dados coletados. Na Figura 8, pode-se observar o acumulado e distribuição anual dos acidentes por natureza. A análise detalhada da Figura 8 foi realizada na seção Análise Preliminar dos Dados.

Figura 8 - Distribuição dos acidentes por natureza ao longo dos anos

Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 9, é possível observar a distribuição dos apontamentos dos maquinistas. A análise detalhada da Figura 9 foi realizada na seção Análise Preliminar dos Dados.

Figura 9 - Gráfico de pareto da distribuição de motivos apontados

Fonte: Autoria própria (2023)

4.4 Análise Preliminar dos Dados

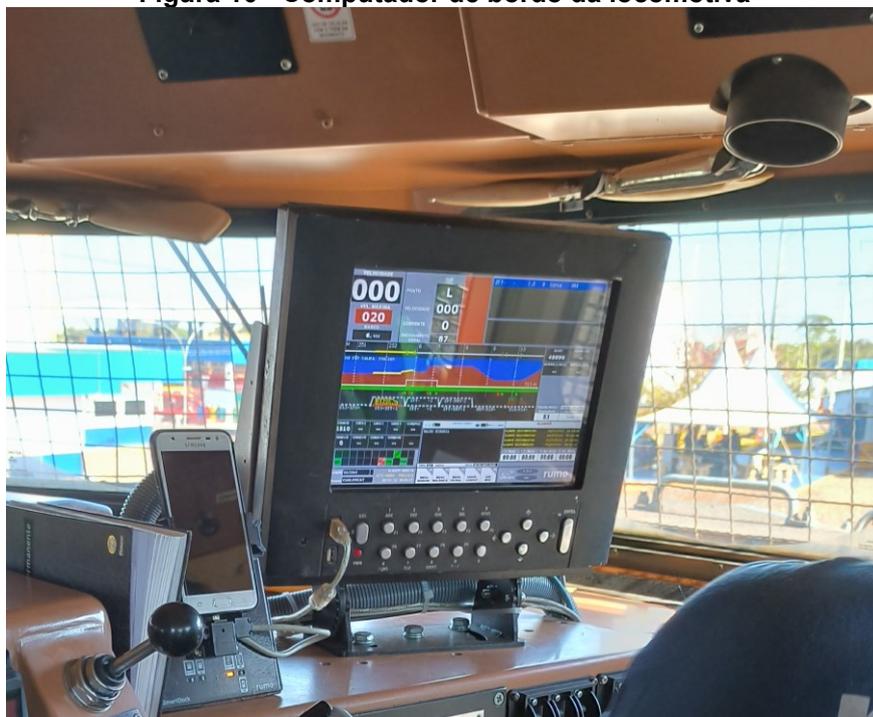
Uma análise preliminar detalhada dos dados indica uma tendência significativa ao longo dos anos na dinâmica dos acidentes ferroviários. Notadamente na Figura 8, observa-se uma redução substancial nos acidentes de descarrilamento, que em 2015 constituíam 49,8% do total de acidentes, diminuindo para 14,3% em 2022. Esta mudança sugere uma melhoria efetiva nas operações e manutenção das malhas ferroviárias.

Por outro lado (Figura 8), ao focar nos acidentes de natureza abaloramento ou atropelamento, emerge um padrão inverso. Há um aumento progressivo na frequência destes acidentes ao longo dos anos, refletindo uma crescente

preocupação. Em 2022, do total de 400 acidentes registrados, 54,3% foram abalroamentos e 30,8% atropelamentos, representando uma parcela majoritária e preocupante no conjunto total de ocorrências.

Durante a condução do trem, o maquinista tem a oportunidade de interagir com o Computador de Bordo da Locomotiva (CBL), como ilustrado na Figura 10. No CBL existe uma ferramenta onde o condutor tem a possibilidade de apontar uma entre dez anomalias que podem representar riscos para a operação ferroviária. Essas anomalias incluem eventos como quase abalroamentos, quase atropelamentos, problemas de sinalização, entre outros. Os registros dessas anomalias são enviados para um banco de dados que inclui informações como motivo, data, hora, local e coordenadas geográficas. Esses registros são de grande importância, pois podem indicar potenciais riscos associados à operação. Como pode ser observado na Figura 9, os problemas de poda ou roçada e sinalização são as principais anomalias apontadas, o que ressalta sua relevância, já que esses problemas podem contribuir para a ocorrência de acidentes.

Figura 10 - Computador de bordo da locomotiva



Fonte: Autoria própria (2023)

Esta evolução dos dados ressalta a necessidade de um enfoque mais direcionado nas naturezas de abalroamento e atropelamento. Torna-se evidente que, embora as medidas implementadas pela operadora das respectivas malhas ferroviárias tenham sido bem-sucedidas na redução dos acidentes de origem interna,

como descarrilamentos, os acidentes envolvendo terceiros apresentam uma tendência de aumento ano a ano. Esta constatação justifica o redirecionamento do foco do trabalho para estas duas categorias específicas de acidentes, buscando compreender e mitigar os fatores que contribuem para este crescente desafio na segurança ferroviária.

Com base na análise preliminar dos dados, que revelou uma notável mudança na natureza e frequência dos acidentes ferroviários ao longo dos anos, prossegue-se agora para uma exploração mais profunda e metodológica dessas tendências através da Análise Estatística dos Dados. Esta próxima fase do estudo irá aplicar técnicas rigorosas de análise estatística, como a regressão linear, para desvendar as relações subjacentes entre diferentes variáveis e a incidência de acidentes, especialmente abalroamentos e atropelamentos. Com a progressão para esta análise quantitativa detalhada, busca-se não apenas confirmar as tendências observadas na análise preliminar, mas também identificar fatores chave e padrões específicos que possam informar estratégias efetivas de prevenção e melhoria na segurança ferroviária.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

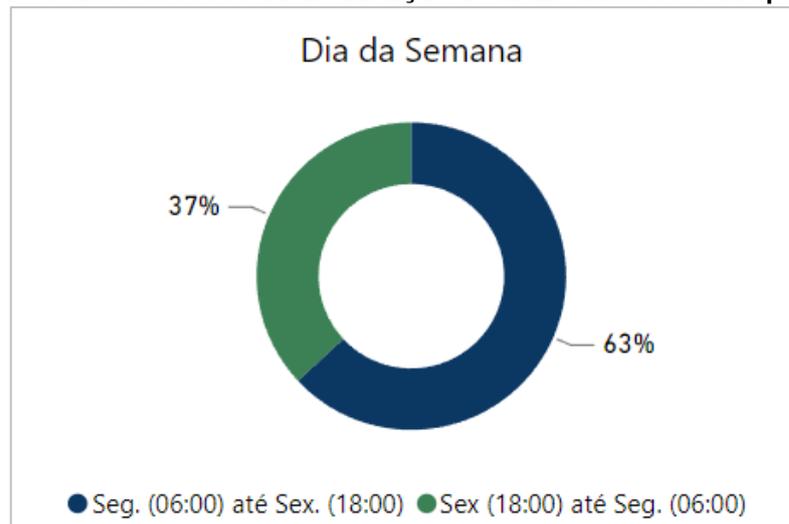
Nesta seção, o foco foi na análise estatística dos acidentes ferroviários envolvendo terceiros, especificamente abalroamentos e atropelamentos, que foram identificados como os mais frequentes na análise inicial, representando quase 70% do total.

5.1 Introdução à Análise Estatística

Com o intuito de revelar alguns direcionamentos, a seguir serão apresentadas algumas análises considerando tempo.

Como pode ser observado na Figura 11, 37% dos acidentes de natureza abalroamento e atropelamento ocorrem nos fins de semana (sexta-feira a partir das 18 horas até segunda-feira as 06 horas).

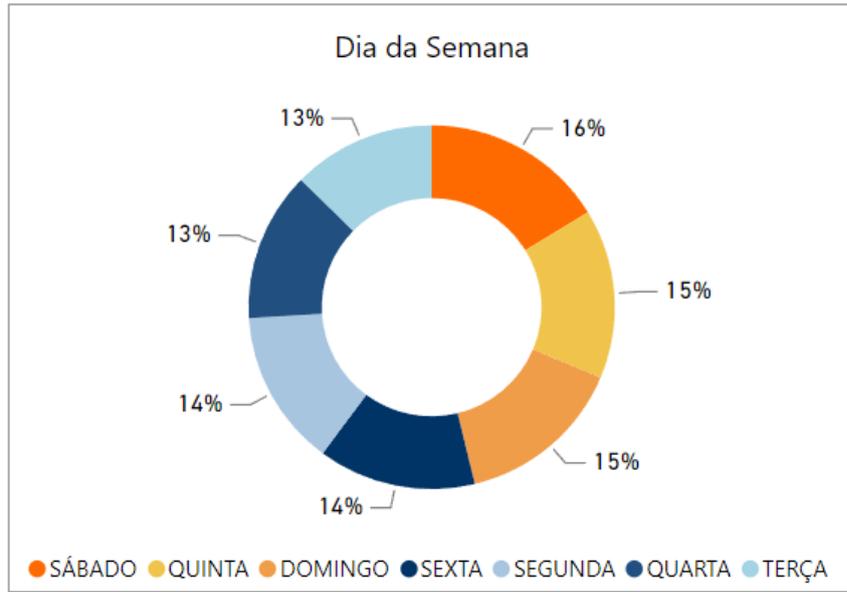
Figura 11 - Gráfico de rosca da distribuição de abalroamentos e atropelamentos



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 12 tem-se a distribuição por dia da semana, nela observa-se uma ocorrência maior dos casos nos dias do fim de semana e na quinta-feira.

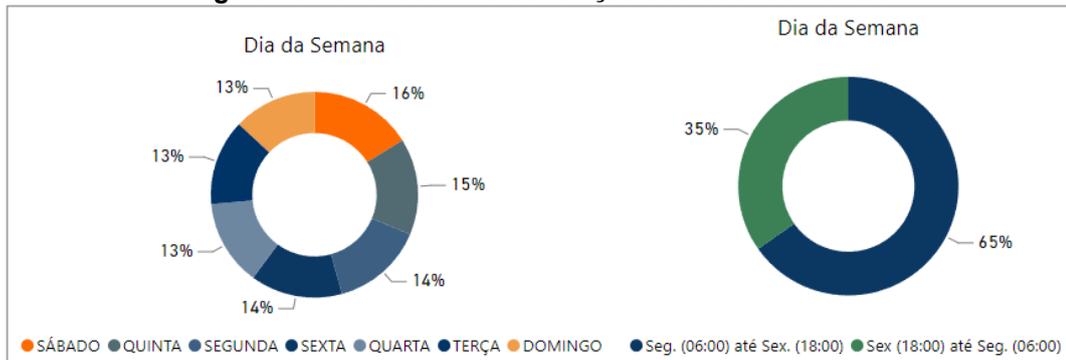
Figura 12 - Gráfico de rosca da distribuição de abalroamentos e atropelamentos por dia da semana



Fonte: Autoria própria (2023)

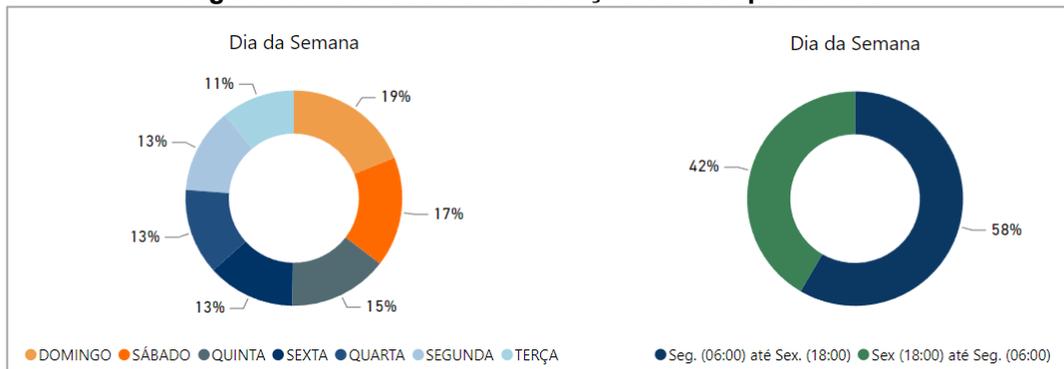
Segregando entre abalroamentos e atropelamentos, o primeiro segue uma tendência similar a apresentada anteriormente, porém mais próximo da distribuição normal, como observa-se na Figura 13, com 35% dos eventos ocorrendo no fim de semana, tendo como dias mais críticos as quintas-feiras e sábados.

Figura 13 - Gráficos de distribuição dos abalroamentos



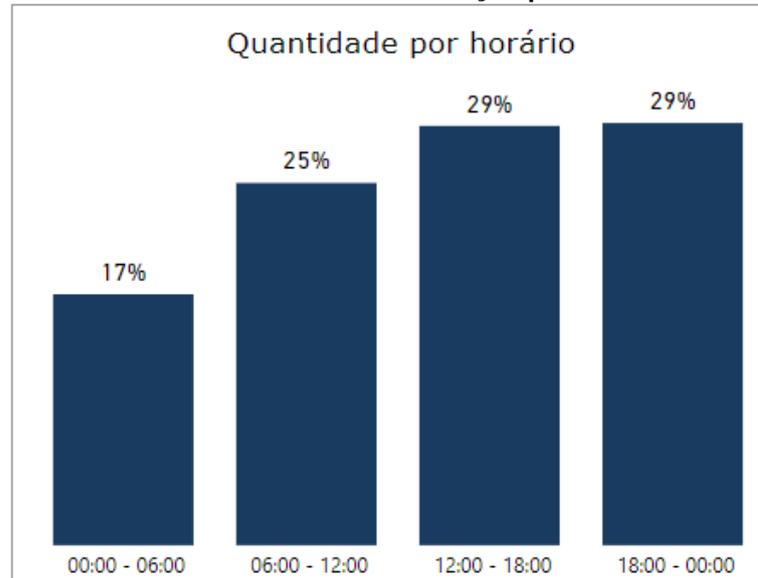
Fonte: Autoria própria (2023)

Para os atropelamentos é notável uma representatividade maior de ocorrências nos fins de semana com 42% dos casos. A Figura 14 a seguir mostra a maior incidência de atropelamentos nos fins de semana, especialmente nos domingos.

Figura 14 - Gráficos de distribuição dos atropelamentos

Fonte: Autoria própria (2023)

Olhando para os horários das ocorrências, observa-se que grande parte acontece entre o fim da tarde e a noite, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Gráfico de barras da distribuição por intervalos de horas

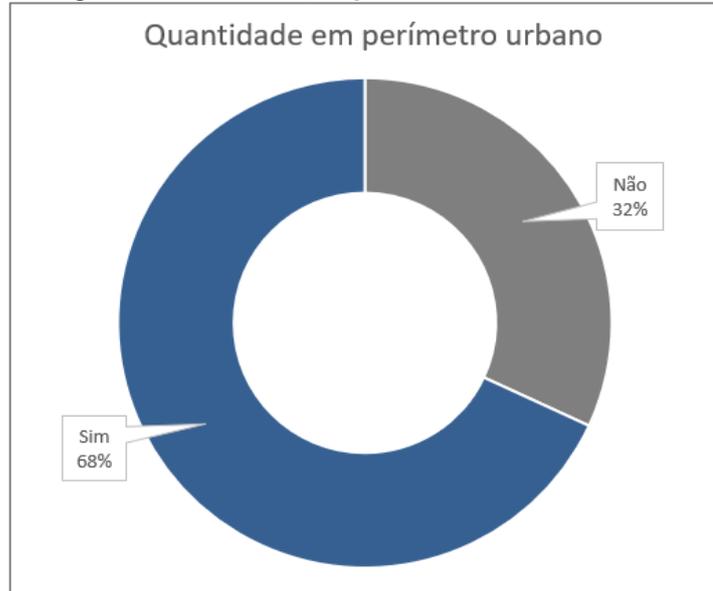
Fonte: Autoria própria (2023)

A análise aprofundada dos dados temporais revela um padrão distintivo nos acidentes ferroviários de abalroamentos e atropelamentos, com uma ocorrência desproporcionalmente alta nos fins de semana, especialmente no período que vai do fim da tarde até a noite. Este padrão pode estar intrinsecamente ligado a vários fatores comportamentais e ambientais característicos desses períodos. Nos fins de semana, é possível que haja um aumento no número de pedestres e veículos nas proximidades das ferrovias, devido às atividades de lazer ou mudanças nas rotinas habituais. Além disso, o período de fim de tarde e noite, frequentemente associado a uma visibilidade reduzida e, em alguns casos, possível aumento do consumo de álcool, pode contribuir para um risco elevado de incidentes. Esta correlação temporal e comportamental

sugere a necessidade de um olhar mais atento às dinâmicas sociais e urbanas que influenciam a segurança nas ferrovias durante esses momentos específicos.

Observando questões relacionadas ao local, a Figura 16 mostra uma predominância de eventos em perímetros urbanos.

Figura 16 - Distribuição por característica do local



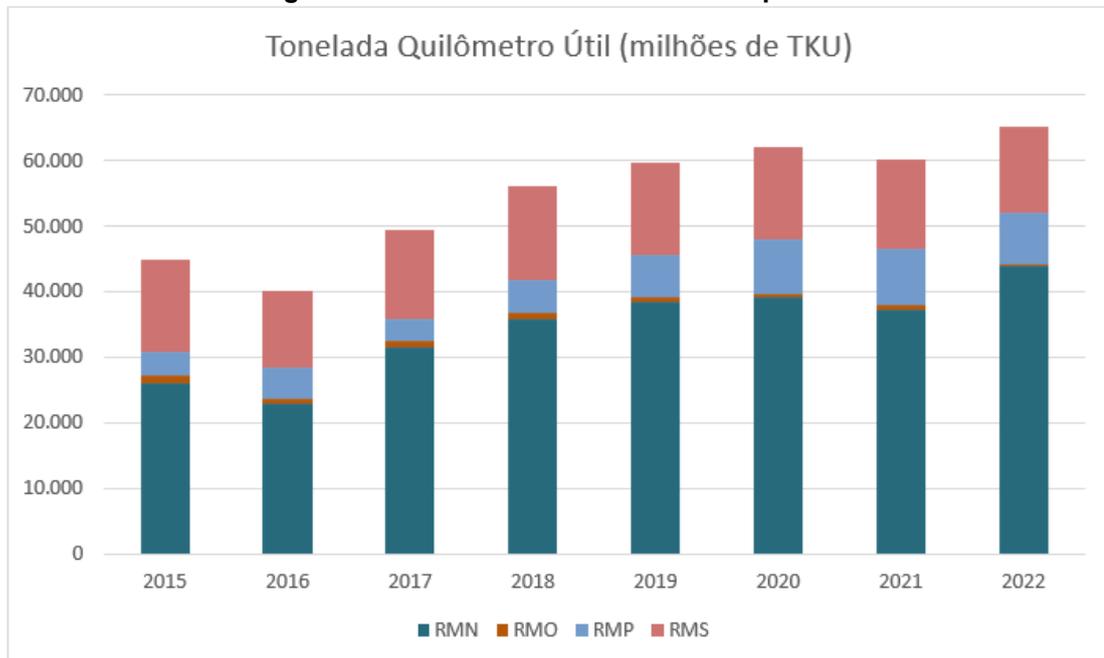
Fonte: Autoria própria (2023)

Além do padrão temporal observado, a análise dos acidentes de abalroamentos e atropelamentos revela outra dimensão crítica: mais de um terço desses incidentes ocorrem em perímetros urbanos. Esta prevalência em áreas urbanas pode estar intrinsecamente relacionada às características desses ambientes, como a maior densidade populacional e a consequente maior interação entre pedestres, veículos e a infraestrutura ferroviária. A combinação desses fatores com os picos de atividade nos fins de semana, especialmente no fim da tarde e à noite, pode criar um cenário propício para o aumento dos acidentes nessas regiões. O contexto urbano, muitas vezes caracterizado por cruzamentos ferroviários mais frequentes e maior tráfego de pessoas e veículos, potencializa o risco de acidentes, reforçando a necessidade de uma análise mais aprofundada das interações entre o ambiente urbano e a segurança ferroviária.

O aumento significativo do volume de carga transportada, conforme ilustrado na Figura 17 e Tabela 9, pode ser um fator contribuinte para o padrão de acidentes observado, especialmente nos perímetros urbanos, considerando que RMN representa a Malha Norte, RMO a Malha Oeste, RMP a Malha Paulista e RMS a Malha Sul. À medida que a produção do transporte ferroviário cresceu, conforme evidenciado

peelo incremento na tonelada quilômetro útil (TKU) de 2015 a 2022, a frequência e a complexidade das operações ferroviárias também se intensificaram. Esta expansão na atividade pode resultar em uma maior interseção entre as operações ferroviárias e a vida urbana, levando a um aumento na probabilidade de interações que resultam em abalroamentos e atropelamentos. Conseqüentemente, o crescimento do transporte de cargas pode estar diretamente relacionado com o aumento dos riscos de acidentes nos fins de semana e nos períodos de fim de tarde e noite, quando há um pico na movimentação de pessoas e veículos nas cidades.

Figura 17 - Milhões de TKU nas Malhas por ano



Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 9 - Produção de Transporte Ferroviário

		Tonelada Quilômetro Útil (milhões de TKU)							
Ano		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
RMN		26.110	22.998	31.663	35.919	38.496	39.209	37.333	43.976
RMO		1.067	797	858	879	820	469	578	184
RMP		3.667	4.556	3.444	4.980	6.283	8.414	8.778	7.834
RMS		14.058	11.831	13.556	14.358	14.125	13.962	13.576	13.096
Total		44.902	40.182	49.520	56.137	59.723	62.054	60.266	65.090

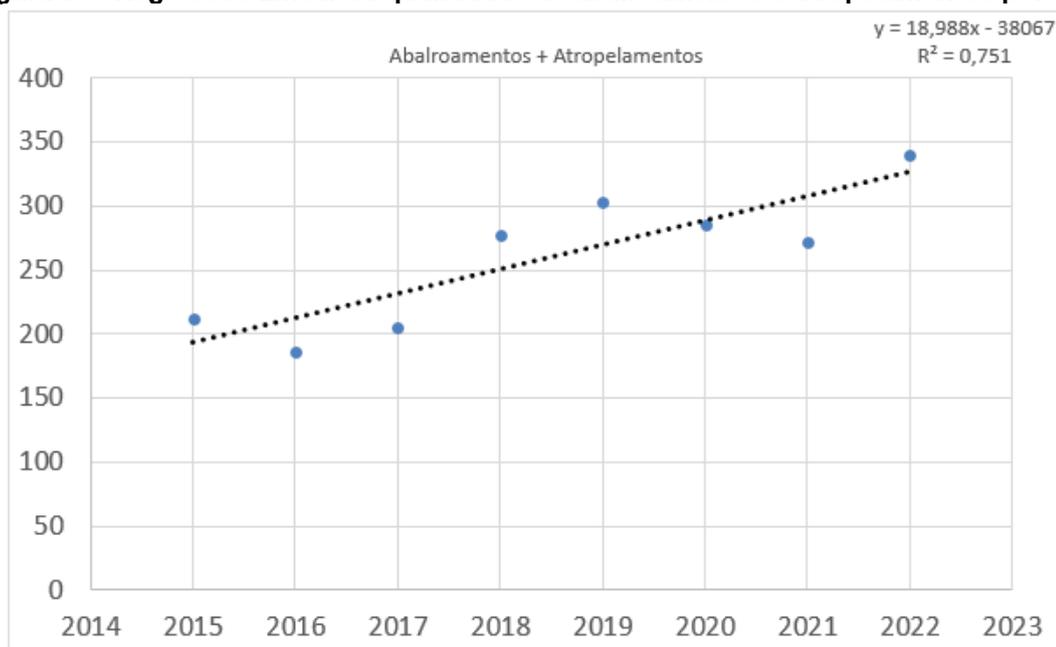
Fonte: Anuário do Setor Ferroviário – ANTT (2023)

O exame dos dados de transporte ferroviário evidencia uma correlação aparente entre o aumento da produção, mensurado em tonelada quilômetro útil (TKU), e a elevação na quantidade de acidentes ferroviários, particularmente abalroamentos e atropelamentos em zonas urbanas. A progressão no volume de carga transportada ao longo dos anos sugere uma relação proporcional com a frequência de acidentes, uma dinâmica que ressalta a interdependência entre a intensidade das operações

ferroviárias e a segurança pública. A seguir, esta hipótese será examinada quantitativamente através de gráficos de regressão linear, os quais têm o propósito de fornecer uma comprovação estatística mais robusta desta correlação. Através de uma análise meticulosa, pretende-se elucidar até que ponto o crescimento na produção de transporte ferroviário pode ser considerado um preditor significativo para o aumento dos acidentes, reforçando a premissa com evidências visuais e estatísticas.

A Figura 18 mostra o gráfico de regressão linear indicando a relação entre os anos e a quantidade de abalroamentos e atropelamentos. Um R^2 de 0,751 em um modelo de regressão linear que examina a relação entre os anos e a quantidade de abalroamentos e atropelamentos é bastante promissor, indicando que aproximadamente 75,1% da variabilidade na quantidade desses acidentes pode ser explicada pelo modelo de regressão em relação aos anos. Isso sugere que o tempo é um forte preditor da frequência desses tipos de acidentes. Em termos estatísticos, um R^2 desta magnitude revela um bom ajuste do modelo aos dados, permitindo previsões razoavelmente confiáveis e fornecendo uma base sólida para a compreensão dos padrões temporais associados a abalroamentos e atropelamentos. Ou seja, se as circunstâncias não mudarem a quantidade de acidentes tende a aumentar com o passar dos anos.

Figura 18 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos e atropelamentos por ano

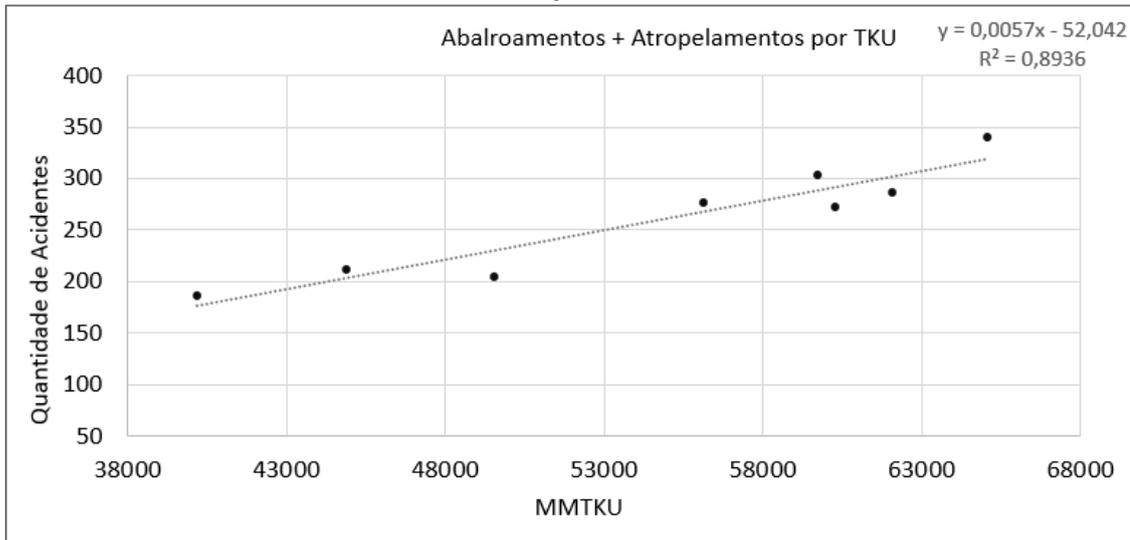


Fonte: Autoria própria (2023)

Aplicando a equação gerada na regressão da Figura 18, projeta-se cerca de 350 eventos para 2023 somando abalroamentos e atropelamentos.

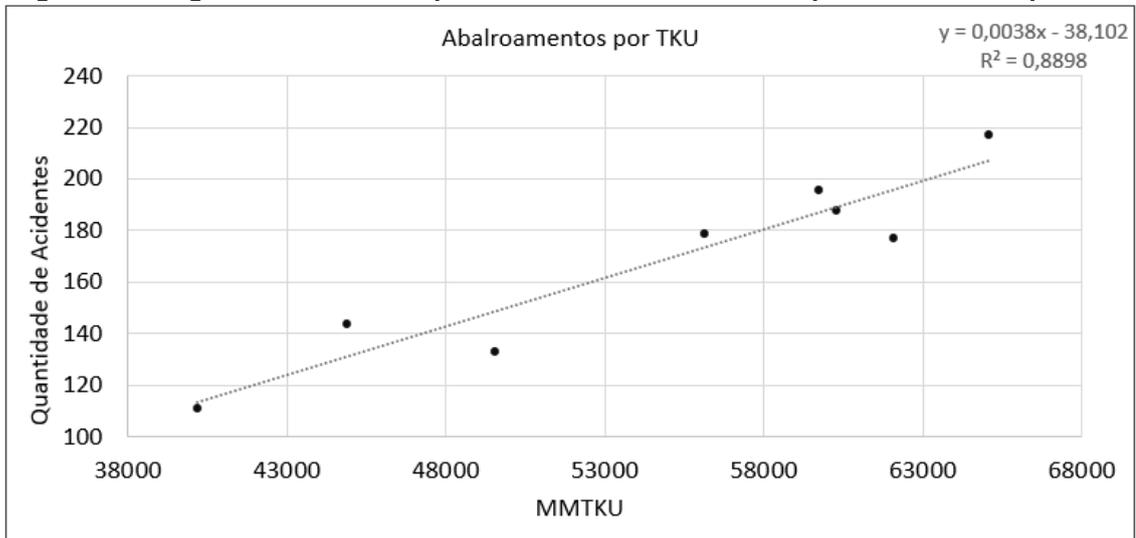
Nos próximos três gráficos, Figuras 19, 20 e 21 serão apresentadas análises de regressão linear, cada uma delineando a relação entre a quantidade de acidentes de abalroamento e atropelamento e a tonelada quilômetro útil (TKU).

Figura 19 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos e atropelamentos por volume transportado



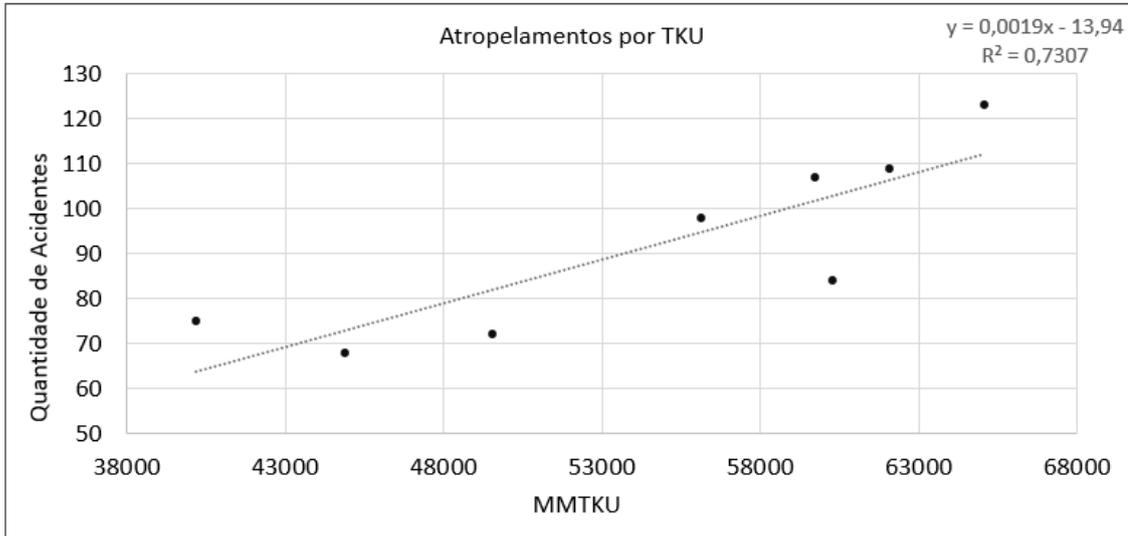
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 20 - Regressão Linear da quantidade de abalroamentos por volume transportado



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 21 - Regressão Linear da quantidade de atropelamentos por volume transportado



Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados dos gráficos de regressão linear simples corroboram a hipótese de uma relação direta entre o aumento na produção de transporte ferroviário e a elevação na quantidade de acidentes de abalroamentos e atropelamentos. Com coeficientes de determinação expressivos, R^2 de 0,8936 para o conjunto de abalroamentos e atropelamentos combinados, R^2 de 0,8898 para abalroamentos isoladamente, e R^2 de 0,7307 para atropelamentos, fica evidente que uma porção substancial da variabilidade na ocorrência desses acidentes pode ser atribuída às variações na tonelada quilômetro útil (TKU). Estes valores de R^2 indicam que o modelo de regressão se ajusta muito bem aos dados, proporcionando uma base estatística sólida para afirmar que o aumento dos acidentes está intrinsecamente ligado ao crescimento da produção ferroviária, reforçando a importância de considerar a expansão da atividade ferroviária como um fator relevante na incidência de abalroamentos e atropelamentos.

6 DESENVOLVIMENTO DO *DASHBOARD*

Esta seção detalha o processo de concepção e implementação de um *dashboard* interativo projetado para a visualização e análise dos dados de acidentes ferroviários. O objetivo deste *dashboard* é proporcionar uma ferramenta acessível e intuitiva que permita aos usuários, sejam eles gestores de operações ferroviárias ou reguladores do setor, monitorar, compreender e reagir prontamente às tendências dos acidentes, focando em abalroamentos e atropelamentos.

6.1 Definição de Requisitos

Inicialmente, foi realizada uma análise dos requisitos, levando em consideração as necessidades dos potenciais usuários do *dashboard*. Esses requisitos incluem a capacidade de visualizar dados históricos e em tempo real, filtrar acidentes por tipo, localização e horário, bem como visualizar os pontos mais críticos em um mapa de calor.

6.2 Design e Arquitetura

O design do *dashboard* foi guiado pelos princípios de usabilidade e eficiência informativa. Optou-se por uma arquitetura modular, com visuais interativos e painéis personalizáveis. A interface foi projetada para ser limpa e descomplicada, evitando sobrecarga de informações e privilegiando a clareza visual.

6.3 Desenvolvimento e Implementação

O *dashboard* foi implementado utilizando o Microsoft Power BI o que facilitou a integração com as bases de dados existentes e proporcionou uma experiência de usuário suave e responsiva.

6.4 Funcionalidades do *Dashboard*

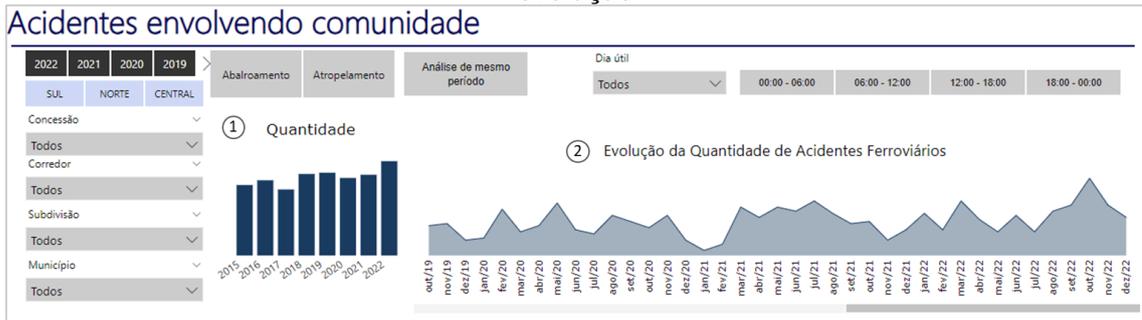
Dentre as funcionalidades implementadas, destacam-se:

- **Visualização de Dados:** Gráficos e mapas interativos que permitem uma análise rápida da distribuição e evolução dos acidentes;
- **Filtragem e Pesquisa:** Capacidade de filtrar acidentes por diversos critérios, como ano, dia da semana, horário e informações relativas ao local;

- Análise Temporal: Linhas do tempo e cronogramas que exibem a frequência dos acidentes, facilitando a identificação de padrões ao longo do tempo.

As Figuras 22 a 24 mostram os elementos que foram adicionados ao *dashboard* de acidentes.

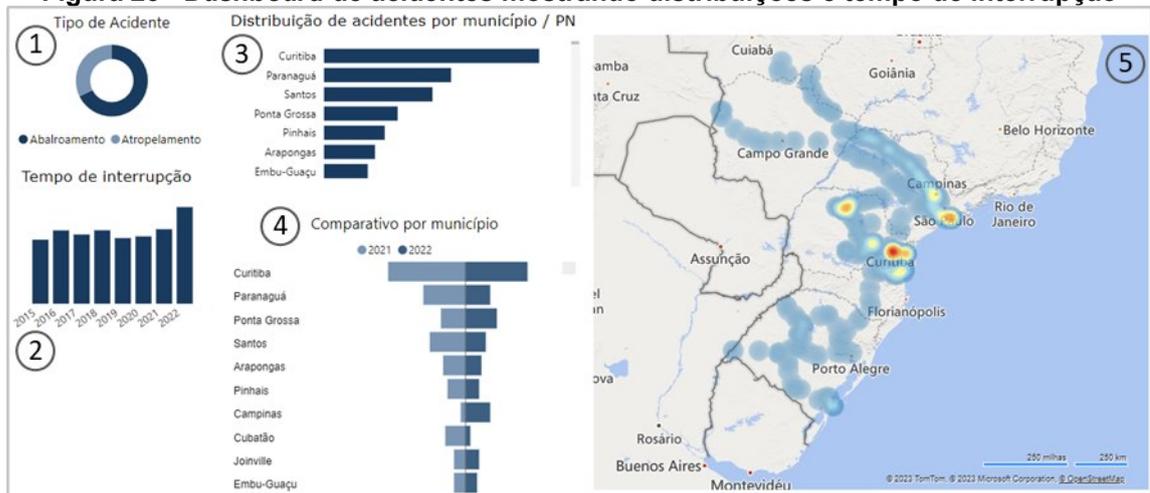
Figura 22 - Dashboard de acidentes dos tipos abalroamentos e atropelamentos mostrando a evolução



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 22 ilustra uma representação da quantidade de acidentes de abalroamentos e atropelamentos nos anos de 2015 a 2022, mostrando uma evolução ano a ano no gráfico de barras (1) e mês a mês no gráfico de área (2). Foram adicionados filtros relacionados aos locais, dias e horários, além da opção de filtrar os resultados analisando somente o mesmo período de cada ano.

Figura 23 - Dashboard de acidentes mostrando distribuições e tempo de interrupção



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 23 mostra o gráfico de rosca (1) destacando a distribuição entre os tipos de acidentes, um gráfico de barras (2) evidenciando o tempo de interrupção gerado por estes acidentes em cada ano e outro mostrando a quantidade de eventos por município (3). Adicionalmente foi adicionado um gráfico de antena (4) comparando os resultados entre anos dos eventos por município. Por fim, à direita, um mapa de

calor (5) mostrando as regiões de maior incidência destes acidentes, lembrando que a integração dos dados permite que os filtros se apliquem a todos os visuais.

Figura 24 - Gráfico mostrando evolução mensal da quantidade de acidentes absoluta e relativa



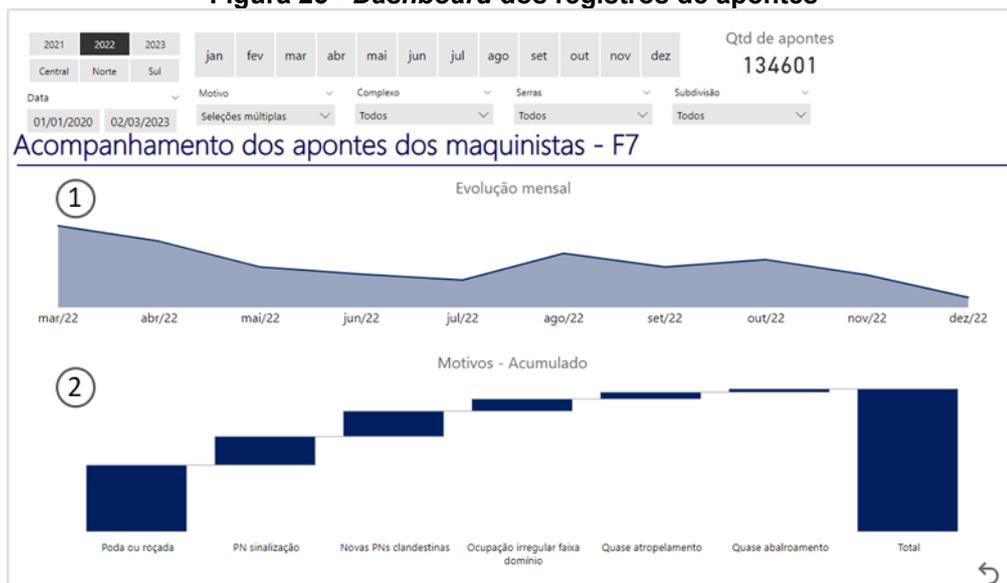
Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 24 mostra uma evolução mensal da quantidade de acidentes em um gráfico de linhas (1), onde também é possível observar uma linha adicional mostrando uma taxa relativa à quantidade de acidentes dividida pela produção em bilhões de tonelada quilometro útil (BiTKU). Na tabela (2) acima é mostrado uma comparação da quantidade absoluta e relativa com as porcentagens de reduções ano a ano.

Além do *dashboard* de acidentes, desenvolveu-se um *dashboard* de apontamentos de potenciais riscos, baseado nas informações fornecidas pelos maquinistas.

A Figura 25 mostra os diversos filtros de tempo e local que podem ser aplicados, o gráfico de área (1) mostra uma evolução mensal da quantidade de apontes e o gráfico de pareto (2) destaca os motivos mais apontados.

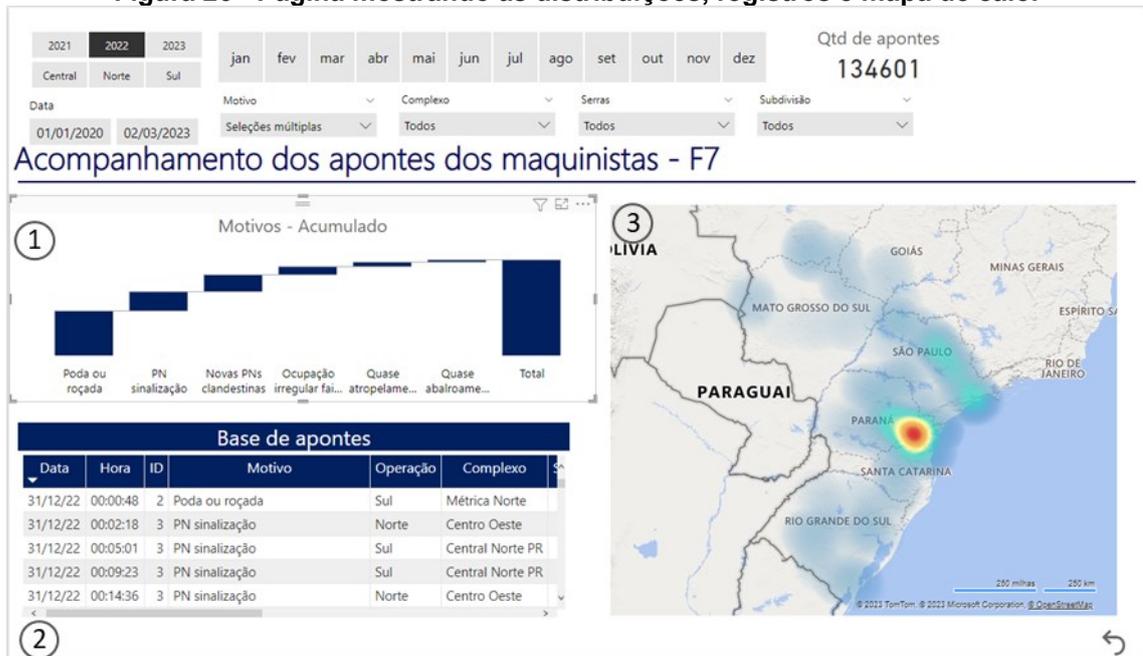
Figura 25 - Dashboard dos registros de apontes



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 26 exibe um painel de acompanhamento, incluindo um gráfico de pareto (1), um resumo conciso da base de registros em uma tabela simples (2) e um mapa de calor (3) onde é possível identificar as áreas com maior incidência de apontamentos. Este último é particularmente útil para ilustrar as possíveis correlações entre os locais e os acidentes registrados.

Figura 26 - Página mostrando as distribuições, registros e mapa de calor

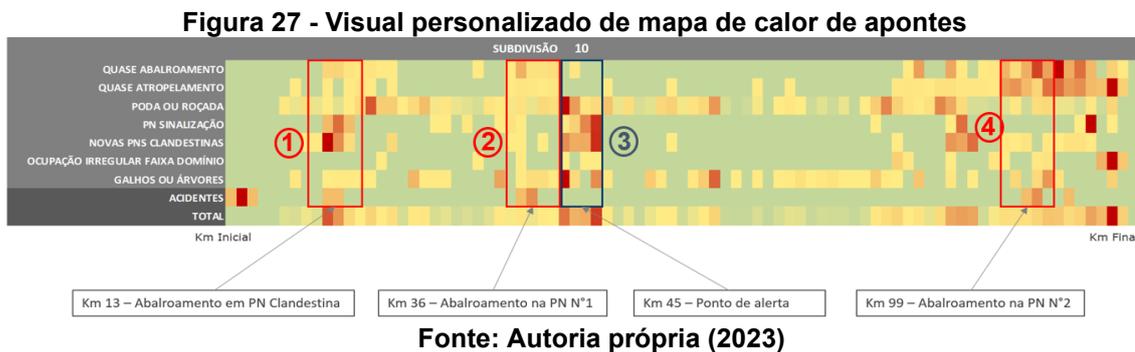


Fonte: Autoria própria (2023)

Além dos *dashboards* criados no Power BI, devido a algumas limitações dessa ferramenta, foi desenvolvido um visual no Microsoft Excel. Permitindo identificar zonas críticas com maior precisão e estabelecer relações com os acidentes ocorridos. Este visual integra as bases de dados de acidentes e apontamentos, utilizando fórmulas de contagem e formatação condicional para gerar um mapa de calor. Este mapa destaca, com base no marco quilométrico registrado, as áreas com maior incidência de registros. No eixo Y, são apresentados os motivos dos apontamentos e os acidentes, enquanto o eixo X mostra o ponto quilométrico, dividido em seções. O quilômetro inicial e final de cada subdivisão da malha são fixos e o tamanho das subdivisões variam conforme a região. As fórmulas utilizadas foram padronizadas para considerar *inputs* de datas e horários, para permitir a visualização em períodos específicos.

A Figura 27 ilustra a subdivisão 10, localizada na Malha Sul, uma das áreas mais críticas em termos de acidentes dos tipos analisados. Em um intervalo de 90 dias, foram identificadas zonas quentes que indicam uma alta incidência de anomalias e quase ocorrências, correlacionadas com acidentes reais. Por exemplo, a zona 1

apresenta frequentes apontamentos de “PN Sinalização” e “Novas PNs Clandestinas”, com um registro subsequente de abalroamento em uma PN clandestina. Na zona 2, observou-se registros de quase abalroamentos e, em uma região próxima, um abalroamento real ocorreu. Na zona 3, apesar de muitas anomalias e nenhum acidente registrado, a frequência de ocorrências sugere a necessidade de atenção especial para prevenir acidentes futuros. Por fim, na zona 4, a alta frequência de apontamentos de quase abalroamento e um abalroamento real destacam a criticidade da região.



Esta análise visual e os dados correlatos claramente demonstram uma forte ligação entre os apontamentos e as ocorrências de acidentes. A evidência do mapa de calor e das tendências observadas reforçam a utilidade deste instrumento como uma ferramenta esclarecedora no contexto ferroviário. Seu uso contínuo e sistemático oferece uma oportunidade significativa para atuar de forma preventiva. Ao monitorar e analisar estas zonas quentes de apontamentos, especialmente aquelas que precedem acidentes reais, podemos antecipar e mitigar riscos potenciais. A aplicação desta ferramenta não só contribui para a redução da frequência de acidentes, mas também para o aumento da segurança operacional e a proteção da vida. Com base nas tendências identificadas, estratégias preventivas podem ser desenvolvidas e implementadas, visando a uma operação ferroviária mais segura e eficiente. Em resumo, a integração destes *insights* analíticos no planejamento e na tomada de decisão diária tem o potencial de transformar a maneira como os riscos ferroviários são gerenciados, levando a uma redução significativa nos incidentes e acidentes.

6.5 Testes e Feedback

Os *dashboards* e visuais passaram por uma série de testes com usuários finais para assegurar que todas as funcionalidades atendessem às expectativas e necessidades. O *feedback* recebido foi essencial para o refinamento contínuo da

ferramenta, resultando em melhorias na interface do usuário e na funcionalidade geral do sistema.

Além disso, os *feedbacks* recebidos dos usuários finais serão analisados continuamente, garantindo que as ferramentas se mantenham alinhadas com as demandas dinâmicas do setor ferroviário. Este processo contínuo de avaliação e implementação de *feedbacks* é fundamental para o desenvolvimento e aprimoramento constante das ferramentas. À medida que novas necessidades emergem e novas tecnologias se tornam disponíveis, a plataforma evoluirá, incorporando inovações e ajustes que visam otimizar ainda mais a experiência do usuário e a eficácia da análise de dados.

Esse compromisso com a melhoria contínua não só aumentará a eficiência operacional, mas também contribuirá significativamente para a segurança e prevenção de acidentes no ambiente ferroviário. Em suma, este ciclo de *feedback* e desenvolvimento contínuo assegura que as ferramentas permaneçam relevantes, eficientes e, acima de tudo, eficazes na identificação e mitigação de riscos

6.6 Considerações Finais

O desenvolvimento deste *dashboard* é um passo importante para aprimorar a gestão de segurança nas operações ferroviárias. A ferramenta resultante fornece uma base sólida para a tomada de decisões informadas e a implementação de estratégias proativas de prevenção de acidentes.

7 CONCLUSÃO

A análise estatística detalhada dos dados sobre acidentes ferroviários nas malhas Sul, Norte, Oeste e Paulista revelou padrões críticos e áreas que necessitam de melhorias estratégicas. Com base nos resultados obtidos, propõe-se melhorias e estudos futuros nas seguintes linhas:

- **Implementação de Sistemas de Alerta e Sinalização Avançados:** Investir em tecnologias modernas de alerta e sinalização para prevenir acidentes, especialmente em áreas urbanas e nos perímetros mais críticos identificados. Sensores de aproximação do trem integrados com semáforos têm apresentado bons resultados em cruzamentos de Curitiba, conforme divulgação da empresa RUMO LOGÍSTICA (2023);
- **Monitoramento semanal do mapa de apontes:** O mapa de calor, exemplificado na Figura 26, revelou-se uma ferramenta extremamente eficaz na identificação de áreas críticas. Portanto, sugere-se o envio semanal deste mapa atualizado aos gestores das regiões analisadas. Isso permitirá que eles realizem análises detalhadas e implementem ações preventivas direcionadas. Essa prática regular não só facilitará a identificação rápida de padrões emergentes de riscos, mas também promoverá uma resposta ágil e adaptativa às mudanças nas condições operacionais. Ao manter os responsáveis continuamente informados e equipados com dados atualizados, é possível otimizar a segurança e eficiência operacional nas áreas críticas identificadas.
- **Treinamento e Conscientização dos Operadores:** Reforçar o treinamento dos operadores e trabalhadores ferroviários, enfatizando a segurança e a prevenção de acidentes;
- **Melhoria na Infraestrutura Urbana:** Trabalhar em conjunto com as autoridades municipais para melhorar a infraestrutura nas zonas urbanas, garantindo passagens mais seguras para pedestres e veículos nas proximidades das linhas férreas;
- **Monitoramento e Manutenção Preventiva:** Estabelecer um programa de manutenção regular e monitoramento das condições das linhas férreas, utilizando dados do *dashboard* para identificar áreas que necessitam de atenção imediata;

- **Campanhas de Conscientização Pública:** Lançar campanhas de conscientização pública sobre os riscos associados às ferrovias, especialmente focando nos períodos de maior incidência de acidentes;
- **Evitar circular em horários críticos:** Com base nas análises realizadas, observou-se que determinados horários e dias apresentam uma maior criticidade. Portanto, recomenda-se evitar, sempre que possível, esses períodos específicos a fim de minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes.
 - **Integração de Dados e Análise Contínua:** Continuar a integrar e analisar dados para identificar novos padrões e riscos emergentes, atualizando estratégias de prevenção conforme necessário.

Por fim, este trabalho explorou em profundidade a natureza e a frequência dos acidentes ferroviários nas principais malhas do Brasil, utilizando análises estatísticas para identificar padrões e fatores críticos. Os resultados evidenciaram a necessidade de melhorias significativas em várias áreas, desde a infraestrutura até a conscientização pública.

A implementação das melhorias sugeridas promete não apenas reduzir a frequência de acidentes, mas também melhorar a eficiência operacional e a segurança pública. É imperativo que as operadoras ferroviárias, em conjunto com as autoridades locais e nacionais, adotem uma abordagem proativa, baseada em dados, para enfrentar os desafios identificados.

Este estudo demonstrou o poder da análise de dados na identificação de problemas críticos e na identificação de potenciais soluções eficazes. Espera-se que as recomendações apresentadas aqui sejam um passo significativo para melhorar a segurança ferroviária no Brasil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Mapa da malha ferroviária federal concedida**. Disponível em: <https://www.antt.gov.br/ferrovias>. Acesso em: 01 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Mapa da malha ferroviária federal concedida**. Disponível em: <https://www.antt.gov.br/ferrovias>. Acesso em: 01 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução nº 1.431**, de 26 de abril de 2006. Brasília, DF, 28 abr. 2006. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=103689>. Acesso em: 17 mai. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15868: **Acidente ferroviário — Classificação, comunicações e relatório**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. **Mapa ferroviário**. Disponível em: <https://www.antf.org.br>. Acesso em: 25 mai. 2023.

BUCHSBAUM, P. **DASHBOARDS - Introdução ao conceito**. [s.l.]: Fórum de Varejo, 2012. 11 p.

BUSANI, Érika. **Brado registra recorde histórico de 100 mil contêineres em 2022**. Revista Cultivar, 13 dez. 2022. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/brado-registra-recorde-historico-de-100-mil-conteneres-em-2022>. Acesso em: 15 mai. 2023.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. 6. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2005.

DIEZ, D. M.; BARR, C. D.; ÇETINKAYA-RUNDEL, M. **OpenIntro statistics**. 3. ed. [s.l.: s.n.], 2015.

FEW, S.; **Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data**. O'Reilly Media, Inc. 2006.

KUBOTA, Marília. **Fim da Linha**. Revista CREA-PR, Curitiba, n.29, jun. 2004. Disponível em: <https://revista.crea-pr.org.br/wp-content/uploads/2021/07/revista29.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.

LOZANO, J. A., FÉLEZ, J., SANZ, J. D., & MERA, J. M. **Railway Traction**. Em X. Perpinya (Ed.), **Reliability and Safety in Railway**. 1 ed. Rijeka: InTech, 2012.

RUMO LOGÍSTICA. **Cidades do Paraná recebem passagens em nível sensoreadas**. Disponível em: <https://rumolog.com/sala-de-imprensa/cidades-do-parana-recebem-passagens-em-nivel-sensoreadas/>. Acesso em: 25 out. 2023.

SAMPAIO, N. A. S.; ASSUMPÇÃO, A. R. P.; FONSECA, B. B.; **Estatística Descritiva**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2018.

THE GUARDIAN. **US Department of Justice files lawsuit against Norfolk Southern over Ohio train derailment**. Disponível em:

<https://www.theguardian.com/us-news/2023/mar/31/us-doj-lawsuit-norfolk-southern-ohio-train-derailment>. Acesso em: 25 mai. 2023.

WEXLER, S.; SHAFFER, J.; COTGREAVE, A.; **The Big Book of DashBoards: Visualizing Your Data Using Real-World Business Scenarios**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.