

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

Elaine Verdi Coutinho e Souza

**ANÁLISE DE FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DE
ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVOLVENDO PEDESTRES EM TRAVESSIAS
URBANAS NO BRASIL**

Belo Horizonte

2023

Elaine Verdi Coutinho e Souza

**ANÁLISE DE FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DE
ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVOLVENDO PEDESTRES EM TRAVESSIAS
URBANAS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador: Professor Titular Nilson Tadeu Ramos Nunes, PhD

Coorientador: Professor Titular Francisco Gildemir Ferreira da Silva, Dr.

Belo Horizonte

2023

S729a Souza, Elaine Verdi Coutinho e.
Análise de fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes ferroviários envolvendo pedestres em travessias urbanas no Brasil [recurso eletrônico] / Elaine Verdi Coutinho e Souza. - 2023.
1 recurso online (147 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Nilson Tadeu Ramos Nunes.
Coorientador: Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndice: f. 147.

Bibliografia: f. 141-146.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Transportes - Teses. 2. Ferrovias - Acidentes - Teses. 3. Pedestres - Teses. I. Nunes, Nilson Tadeu Ramos. II. Silva, Francisco Gildemir Ferreira da. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Reginaldo Cesar Vital dos Santos CRB/6 2165

Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVOLVENDO PEDESTRES EM TRAVESSIAS URBANAS NO BRASIL

ELAINE VERDI COUTINHO E SOUZA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES. Aprovada em 28 de fevereiro de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Nilson Tadeu Ramos Nunes - Orientador (UFMG)
Prof. Francisco Gildemir Ferreira da Silva - Coorientador (UFC)
Prof. Ronderson Queiroz Hilario (UFMG)
Prof. Taciano Oliveira da Silva (UFV)

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Ronderson Queiroz Hilario, Chefe de departamento**, em 01/03/2023, às 10:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Taciano Oliveira da Silva, Usuário Externo**, em 01/03/2023, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Gildemir Ferreira da Silva, Usuário Externo**, em 01/03/2023, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Tadeu Ramos Nunes, Professor do Magistério Superior**, em 06/03/2023, às 10:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2086614 e o código CRC EFC0F68A.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me sustentado até aqui e a meu Pai, Antônio Verde, que está junto Dele e que sempre disse que me deixaria como herança os estudos, mas acabou deixando muito mais, inclusive uma saudade eterna.

À minha Mãe, Maria das Graças, que com seu amor, dedicação, coragem e gentileza me ensina a perseverar nas dificuldades e, com sua humildade, me faz refletir que os estudos, embora importantes, não nos fazem melhores que ninguém.

À minha filha, Caterina, Companheira de vida, que acabou ficando um pouco traumatizada com o meu curso de mestrado, por ter lhe roubado o tempo da Mãe. Filha, embora ainda com seus 8 anos você possa não compreender, quero te dizer que o esforço para crescermos vale a pena!

Aos meus irmãos, Léo, Junior, Vi e Carlos, cunhadas Bruna e Tuane e cunhado Karlan, por todo acolhimento e incentivo, que me ajudaram a me manter no propósito.

Aos meus sobrinhos Luíza, Nath, Gabi e Ramon, pela alegria e frescor que trazem aos meus dias.

Ao meu orientador, Prof. PhD Nilson Tadeu e Coorientador, Prof. Dr. Francisco Gildemir da Silva, que me mostraram a direção e em muito contribuíram com seus conhecimentos científicos e experiências.

Aos demais professores da UFMG, que me inspiraram com seus ensinamentos. Aos membros da banca, por terem se disponibilizado e pelas contribuições ao trabalho.

À colega Isabela Kopperschmidt, que tanto me auxiliou nesta jornada de volta para o mundo acadêmico.

Ao meu chefe Aurélio e aos colegas de trabalho, pela compreensão, apoio e contribuições.

E, por fim, agradecimentos especiais à ANTT, pelo incentivo do Programa de Pós-graduação, que me permitiu dedicar aos estudos e chegar até o final desta jornada, o que eu não sei se conseguiria não fosse por esta oportunidade.

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original"

Albert Einstein

RESUMO

As mortes de pedestres em colisão com trens são uma preocupação de segurança pública para governos em todo o mundo. A presença das ferrovias nas cidades muitas vezes representa uma barreira ao movimento urbano e os atropelamentos ferroviários acontecem quando a população precisa fazer viagens ao longo ou através desta infraestrutura, sem as condições de segurança necessárias. As estatísticas internacionais mostram que os atropelamentos ferroviários se tornaram responsáveis pela maior parte das fatalidades relacionadas a este modo de transporte nos últimos tempos. Além de incalculáveis danos humanos e sociais, os atropelamentos ferroviários geram significativos prejuízos financeiros e ineficiência para o transporte ferroviário. Mesmo assim, os pedestres não têm recebido tanta atenção da literatura sobre os riscos de segurança nas passagens em nível quanto os motoristas, apesar de se verificar um crescente interesse de estudos mais recentes. Neste contexto, esta pesquisa tem o objetivo de descrever o estado atual dos atropelamentos ferroviários no Brasil e identificar fatores que podem contribuir para a ocorrência e a gravidade deles. Para tanto, inicialmente, foi realizado um estudo exploratório das informações sobre acidentes ferroviários da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e das informações sobre as fatalidades provocadas por estes eventos, obtidas do Sistema de Informação sobre Mortalidade- SIM, do Ministério da Saúde. Tais informações revelaram a severidade dos atropelamentos ferroviários no país e permitiram caracterizar o perfil das principais vítimas fatais. A partir destes resultados, foi realizado um estudo de caso em um trecho ferroviário de acidentalidade crítica, onde foi possível demonstrar, por métodos estatísticos variados (Person, *Tobit* e *MCO*), a influência de alguns fatores ambientais na ocorrência dos atropelamentos ferroviários. O emprego de medidas para garantir a segurança de pedestres nas travessias das linhas férreas requer uma compreensão da magnitude dos atropelamentos ferroviários no contexto local e de fatores de risco associados a eles. Assim, os resultados alcançados podem contribuir neste sentido.

Palavras-chave: Passagem em nível. Acidentes. Pedestres. Atropelamento ferroviário.

ABSTRACT

Pedestrian fatalities in train collisions are a public safety concern for governments around the world. The presence of railroads in cities often represents a barrier to urban movement and railroad collisions happen when the population needs to travel along or through this infrastructure, without the necessary safety conditions. International statistics show that road accidents have become responsible for most of the fatalities related to this mode of transport in recent times. In addition to incalculable human and social damage, rail accidents generate significant financial losses and inefficiency for rail transport. Even so, pedestrians have not received as much attention in the literature on level crossing safety risks as drivers, despite the growing interest in more recent studies. In this context, this research aims to describe the current status of road accidents in Brazil and identify factors that may contribute to their occurrence and severity. To do so, initially, an exploratory study was carried out on information on railway accidents from the Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT and on information on fatalities caused by these events, obtained from the Mortality Information System - SIM, of the Ministry of Health. Such information revealed the severity of rail accidents in the country and allowed characterizing the profile of the main fatal victims. Based on these results, a case study was carried out on a rail section of critical accident, where it was possible to demonstrate, by various statistical methods (Person, Tobit and MQO), the influence of some environmental factors on the occurrence of railroad collisions. The use of measures to ensure pedestrian safety at railway crossings requires an understanding of the magnitude of road accidents in the local context and the risk factors associated with them. Thus, the results achieved can contribute in this sense.

Keywords: Rail level crossing. Accidents. Pedestrian. Train-pedestrian collision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha de tempo da ferrovia no Brasil (1825-1920)	35
Figura 2: Linha de tempo da ferrovia no Brasil (1920-2001)	35
Figura 3: Fluxograma das etapas metodológicas.....	76
Figura 4: Estrutura de gerenciamento de risco de Rasmussen, adaptada para o sistema das passagens em nível	78
Figura 5: Níveis hierárquicos do sistema sociotécnico de segurança das passagens em nível	79
Figura 6: Evolução do índice de acidentes (em milhão de trem x km), de 2017 a 2021.....	922
Figura 7: Distribuição dos atropelamentos ferroviários no Brasil em faixas horárias (2017 – 2021).....	93
Figura 8: Distribuição dos atropelamentos ferroviários no Brasil nos dias da semana (2017 – 2021).....	93
Figura 9: Distribuição mensal do índice de atropelamentos (acidentes por milhão de trem x km)	94
Figura 10: Comparação da quantidade de registros de óbitos do SIM e da ANTT (2017 a 2021)	100
Figura 11: Malha da MRS. Em destaque, as principais regiões de carga e descarga do minério de ferro.....	105
Figura 12: Imagem de satélite de um segmento ferroviário entre os kms 282 e 284 em JF/MG	109
Figura 13: Imagem de satélite do segmento ferroviário entre os kms 275 e 277, em JF/MG	109
Figura 14: Passarela no km 288.....	110
Figura 15: PNP no km 266	110
Figura 16: Evolução do índice de atropelamentos (n.º de atropelamentos/ 1000 trens) em JF (2017 a 2021).....	112
Figura 17: Distribuição dos atropelamentos ferroviários em JF nos dias de semana (2017 a 2021).....	113
Figura 18: Distribuição dos atropelamentos ferroviários em JF em faixas horárias durante o dia (2017 a 2021).....	114
Figura 19: Distribuição ao longo do ano do índice de atropelamentos ferroviários em JF (n.º de atropelamento/1000 trens), para o período de 2017 a 2021.	114
Figura 20: Matriz de Correlação de Person para grupo de Municípios da Linha do Centro..	116

Figura 21: Matriz de Correlação de Person para grupo para variáveis em JF.....	117
Figura 22: Matriz de Correlação de Person para grupo 2 de variáveis em JF.....	118
Figura 23: PNP inacessível no km 282.....	130
Figura 24: Passagem clandestina e vedação precária no km 303	130
Figura 25: PNP no km 272	130
Figura 26: PNP no km 274 Rua Halfeld.....	130
Figura 27: PN no km 275	130
Figura 28: Passarela e PNP no km 279	130
Figura 29: Vedação padrão no km 279.....	130
Figura 30: Vedação precária no km 273.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proposta de periodização das ferrovias no Brasil.....	36
Tabela 2: Concessões ferroviárias atuais.....	38
Tabela 3: Variáveis dos estudos e suas características	83
Tabela 4: Números de acidentes ferroviários no Brasil (2017 a 2021)	91
Tabela 5: Número de atropelamentos, feridos e óbitos por Estado (2017 a 2021).....	95
Tabela 6: Municípios mais críticos em relação aos atropelamentos ferroviários.....	95
Tabela 7: Linhas com maior número absoluto de atropelamentos (2017 a 2021).....	97
Tabela 8: Atropelamentos graves versus não graves, de 2017 a 2021	97
Tabela 9: Comparação de acidentalidade e fatalidade por atropelamentos entre as rodovias federais e ferrovias no Brasil (2017 a 2021).....	98
Tabela 10: Comparação da fatalidade dos acidentes ferroviários nas ferrovias de cargas dos EUA e do Brasil (2017 – 2020).....	99
Tabela 11: Principais características das vítimas fatais registradas no SIM (2017 a 2021)..	102
Tabela 12: Características do Municípios do trecho de estudo	107
Tabela 13: Características operacionais da ferrovia em JF/MG.....	108
Tabela 14: Número de atropelamentos ferroviários em JF (2017 a 2021)	111
Tabela 15: Principais características das vítimas fatais registradas no SIM, de óbitos ocorridos em JF/MG, no período 2017 a 2021 (elaborado pela autora).....	115
Tabela 16: Resumo das estatísticas dos modelos econométricos	119
Tabela 17: Investimentos previstos em JF para minimização de conflitos na renovação de Contrato de Concessão da MRS	133
Tabela 18: Resumo das medidas de prevenção de atropelamentos identificadas na literatura	147

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALCAM	Australian Level Crossing Assessment Model
ALCRM	All Level Crossing Risk Model
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BIRD	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento
BNDE	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBTU	Companhia Brasileira de Transportes Urbanos
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste S.A.
CFTV	Circuito fechado de televisão
CID	Classificação Estatística Internacional de Doenças
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DNEF	Departamento Nacional de Estradas de Ferro
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
EPL	Empresa de Planejamento e Logística S. A
FCA	Ferrovias Centro Atlântica S.A.
FEPASA	Ferrovias Paulista S.A.
FRA	Federal Railroad Administration
GEIPOT	Grupo Executivo de Política de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IML	Instituto Médico Legal
JF	Juiz de Fora
MMQ/MQO	Método do Mínimos Quadrados Ordinários
MP	Medida Provisória
PC	Passagem em nível clandestina
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PDF	Programa de Desenvolvimento Ferroviário

PN	Passagem em nível
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PROSEFER	Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas
PU	Perímetro urbano
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S. A
ROF	Regulamento de Operação Ferroviária
RTF	Regulamento dos Transportes Ferroviários
SIH	Sistema de Internações Hospitalares
SIM	Sistema de Informação sobre Mortalidade
SNV	Sistema Nacional de Viação
SUFER	Superintendência de Infraestrutura e Serviços de Transporte Ferroviário de Cargas
TCU	Tribunal de Contas da União
TKM	Tonelada por quilômetro
TKU	Toneladas quilômetros úteis
USA/EUA	Estados Unidos da América
VMA	Velocidade máxima autorizada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO	20
1.2 CONTRIBUIÇÕES	20
1.3 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO	20
2 AS FERROVIAS E AS CIDADES: CONFLITOS E OPORTUNIDADES	22
2.1 HISTÓRICO DAS FERROVIAS NO BRASIL.....	22
2.1.1 Marcos regulatórios e o contexto atual do setor ferroviário brasileiro.....	37
2.2 OS CONFLITOS URBANOS DA FERROVIA	42
2.2.1 Efeito Barreira	44
2.2.2 Medidas mitigadoras e oportunidades.....	46
3 OS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS	50
3.1 PASSAGENS EM NÍVEL	50
3.2 ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM PASSAGENS EM NÍVEL	53
3.3 ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVOLVENDO PEDESTRES	56
3.4 PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS.....	58
3.4.1 Fatores humanos.....	59
3.4.2 Fatores ambientais.....	62
3.4.3 Fatores organizacionais.....	64
3.5 MEDIDAS DE PREVENÇÃO DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS	65
3.5.1 Barreiras físicas	66
3.5.2 Projeto ambiental	67
3.5.3 Colaboração entre instituições	69
3.5.4 Sistemas de monitoramento e detecção	70
3.5.5 Educação e informação a nível individual.....	70
3.5.6 Fiscalização, punição e patrulhas.....	71

3.5.7 Comunicação de segurança pública	72
3.5.8 Sinalização	72
3.5.9 Design técnico para reduzir os efeitos do impacto	72
3.5.10 Treinamento de equipe	73
3.5.11 Avaliação de risco	73
3.5.12 Aprendendo com pesquisas anteriores e melhores práticas	73
3.5.13 Tecnologias adicionais para maquinistas	74
3.5.14 Gerenciamento operacional de tráfego	74
4 METODOLOGIA	76
4.1 O PENSAMENTO SISTÊMICO	77
4.2 PRIMEIRA ETAPA: COLETA, TABULAÇÃO E ANÁLISE DESCRITIVA DE DADOS	80
4.3 SEGUNDA ETAPA: ESTUDO DE CASO DE UM TRECHO CRÍTICO	83
4.3.1 Correlação de Person	85
4.3.2 Modelo <i>Tobit</i>	86
4.3.3 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).....	87
4.4 TERCEIRA ETAPA: DIRETRIZES E MEDIDAS DE PREVENÇÃO.....	89
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS NO BRASIL	91
5.1.1 Comparação com atropelamentos em rodovias federais no Brasil.....	97
5.1.2 Comparação com atropelamentos ferroviários nos Estados Unidos	98
5.2 PERFIL DAS VÍTIMAS FATAIS SEGUNDO INFORMAÇÕES DO SIM	100
5.3 ESTUDO DE CASO DE UM TRECHO CRÍTICO.....	104
5.3.1 Características e variáveis da Linha do Centro.....	104
5.3.2 Características e variáveis da ferrovia em Juiz de Fora/MG.....	107
5.3.3 Atropelamentos Ferroviários em Juiz de Fora	111

5.3.4 Resultados dos modelos	116
5.4 PROPOSIÇÕES PARA MEDIDAS DE PREVENÇÃO e MONITORAMENTO DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS.....	121
5.4.1 Os atores envolvidos no sistema de segurança das passagens em nível de pedestres	121
<i>5.4.1.1 Usuários das vias</i>	<i>121</i>
<i>5.4.1.2 Concessionárias e outras Administrações ferroviárias</i>	<i>123</i>
<i>5.4.1.3 Governo Local.....</i>	<i>125</i>
<i>5.4.1.4 ANTT (Reguladores).....</i>	<i>125</i>
<i>5.4.1.5 Órgãos de Governança e Controle.....</i>	<i>126</i>
5.4.2 Análise do arcabouço normativo sobre contramedidas de segurança em passagens em nível de pedestres.....	127
5.4.3 Análise de contramedidas implantadas e de alguns programas em curso no Brasil	129
5.4.4 Registro de informações e monitoramentos de acidentes	134
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	138
6.1 Recomendações	139
REFERÊNCIAS	141
APÊNDICE A	147

1 INTRODUÇÃO

As ferrovias constituem um dos tipos de infraestrutura de transportes mais vitais da sociedade e muitas delas estão agora sendo operadas em sistemas automatizados, mas ainda acontecem muitos acidentes (Kim *et al.*, 2014). Neste contexto, as colisões entre trens e pedestres demonstraram ser a principal causa de fatalidades em acidentes ferroviários em diversos países (Lobb, 2006), e, por isso, são uma preocupação de segurança pública para governos em todo o mundo (Read *et al.*, 2016).

Embora não sejam tão frequentes quanto os acidentes de tráfego rodoviário (Zhao *et al.*, 2019), os atropelamentos ferroviários estão associados a um maior potencial de resultados fatais e danos permanentes (amputação de membros e paralisia) para as vítimas e a significativos custos econômicos (Stefanova, 2015). Isto porque esses eventos representam uma enorme carga financeira para as administrações ferroviárias, devido a atrasos nos serviços e danos a trens, trilhos e outros equipamentos (Havârneanu *et al.*, 2015). Desta forma, entre custos diretos e indiretos, sejam humanos, sociais, financeiros ou ambientais, o impacto dos acidentes ferroviários é muito alto para a sociedade (Lobb, 2006).

Aliado a isto, as estatísticas de acidentes ferroviários envolvendo pedestres nos últimos anos têm se mostrado estáveis em alguns países (Stefanova, 2015) ou até mesmo aumentando em outros (Metaxatos e Sriraj, 2013). Isto se torna ainda mais relevante se for considerada uma queda verificada no mesmo período em outros tipos de acidentes ferroviários, como colisões entre trens (Evans, 2011) e entre trens e veículos (Larue *et al.*, 2018; Stefanova, 2015), fazendo com que os atropelamentos ferroviários representem uma proporção cada vez mais crescente do total, principalmente em termos de severidade. Por exemplo, Metaxatos e Sriraj (2013) constataram que, entre 2003 e 2014, os incidentes nas passagens em nível¹ rodoferroviárias diminuíram 49%. No entanto, no mesmo período, o número de mortes de pedestres em colisão com trens aumentou 48%.

Assim, embora as estatísticas mostrem que ocorreram melhorias de segurança em relação a colisões entre trens e veículos nas passagens em nível - PNs, mas não em colisões entre trens e pedestres, Read *et al.* (2021), por meio de uma revisão sistemática da literatura, constataram que a maioria dos estudos de segurança das PNs se concentrou nos motoristas, em vez de investigar os pedestres e/ou todos os usuários da via em conjunto. Contudo, foi verificado um interesse crescente pelos pedestres em estudos mais recentes sobre os riscos nas passagens em nível (Read *et al.*, 2021; De Abreu, 2020), refletindo um interesse mais geral na

¹ Passagem em nível é o cruzamento de uma ou mais linhas com uma rodovia principal ou secundária, no mesmo nível.

segurança dos usuários vulneráveis das vias. Em relação ao contexto geográfico, uma grande proporção dos estudos foi realizada na Austrália, América do Norte e Canadá. Read *et al.*, 2021 ressaltam, portanto, a importância de se considerar as diferenças contextuais, operacionais, geográficas e culturais que impactam a questão da segurança nas passagens em nível e se refletem nos estudos.

No Brasil, grande parte da movimentação das cargas ferroviárias ocorre em direção às capitais, regiões metropolitanas e grandes cidades (Lima e Pasin, 1999). A malha ferroviária brasileira ocupa cerca de 29.690 quilômetros (Miguel, 2020), atravessando dezenas de estados e centenas de municípios. Isto representa um desafio de proporções continentais para as concessionárias ferroviárias e o Governo Federal, exigindo soluções de regulação para minimizar os conflitos urbanos da ferrovia (Castorino, 2014). Estes conflitos interferem negativamente no cotidiano dos municípios e oferecem grandes riscos à segurança da população (Lima e Pasin, 1999).

Portanto, além de promoverem um convívio mais harmônico entre a ferrovia e os centros urbanos, medidas de mitigação destes conflitos podem ter grande impacto na melhoria das condições operacionais dos principais corredores de transporte ferroviário de carga do país, permitindo o aumento da velocidade comercial dos trens, agilizando o intercâmbio com outros modos de transporte, reduzindo custos logísticos, e, enfim, ampliando a competitividade das ferrovias brasileiras (Brasil, 2011).

Neste sentido, o setor ferroviário brasileiro está vivenciando um momento de expectativas de investimentos decorrentes dos recentes processos de renovação das concessões ferroviárias da malha nacional (Miguel, 2020), que pode ser uma oportunidade para minimização dos conflitos urbanos da ferrovia.

Existe um consenso entre vários estudos que a maioria dos acidentes ferroviários em passagens em nível ocorre em áreas urbanas (Lobb, 2006). Dessa forma, o elevado número de passagens em nível no país, sendo muitas delas clandestinas, além de constituir um dos principais pontos de conflitos decorrentes da relação entre a ferrovia e as cidades, contribui significativamente para a ocorrência de acidentes ferroviários (Castorino, 2014). Estima-se que, do total de acidentes ferroviários ocorridos no Brasil entre 2006 e 2018, pelo menos 26% deles foram ocasionados por interferência de terceiros, inclusive colisões com veículos (abalroamentos) e com pedestres (atropelamentos), totalizando 2.197 acidentes no período (Brasil, 2019).

Para agravar a situação, quando a população das áreas urbanas sente a necessidade de realizar deslocamentos mais curtos entre os dois lados da linha férrea e não apresenta acesso designado para fazê-lo, cria passagens clandestinas, invadindo o espaço da ferrovia (De Abreu, 2020). Caminhos claros e usados com frequência sobre a linha férrea podem ser encontrados em muitos lugares, apesar da insegurança que oferecem, gerando grandes riscos de atropelamentos ferroviários (Silla e Luoma, 2009).

À medida que os esforços estão aumentando para fomentar os meios de transporte mais sustentáveis, políticas de transporte público mudaram seu foco de uma abordagem centrada nas rodovias para uma que é mais centrada no transporte sob trilhos (Kim *et al.*, 2014). No entanto, em meio à tendência crescente da utilização dos caminhos de ferro, melhorias na segurança de todo o sistema ainda precisam ser buscadas (Kim *et al.*, 2014), principalmente com medidas voltadas para minimizar os riscos da operação ferroviária relacionados à terceiros, sobretudo pedestres, já que eles estão associados aos maiores índices de fatalidades dos acidentes ferroviários.

Diante disso, estão sendo recomendados estudos voltados a entender melhor os riscos de acidentes ferroviários envolvendo trens e pedestres e replicar descobertas da literatura em um contexto geográfico diverso daqueles que foram mais contemplados (Read *et al.*, 2021 e Stefanova, 2015).

Promover a segurança de pedestres em passagens em nível é uma questão desafiadora por muitas razões. Uma delas é a multiplicidade de fatores que podem interferir na ocorrência de acidentes. As colisões em passagens em nível ocorrem a partir de uma quebra na complexa interação entre fatores humanos, equipamentos e fatores ambientais (Larue *et al.*, 2018). Neste sentido, a apuração e o estudo destas causas são fundamentais para a definição de ações preventivas e medidas mitigadoras.

A maioria das pesquisas sobre os riscos envolvidos nas passagens em nível, que representam o sistema onde trens e usuários das estradas (motoristas e não-motoristas) interagem, foram descritivas, ou seja, visavam descrever o estado atual das coisas em vez de determinar efeitos associativos ou causais (Read *et al.*, 2021). Como já mencionado, o foco foi mais voltado para o comportamento dos motoristas, mas o interesse nos pedestres é crescente. De acordo com Read *et al.* (2021), embora esses estudos sejam úteis, a relativa falta de projetos de pesquisa epidemiológica e experimental dificulta a compreensão das relações causais entre os fatores que influenciam a ocorrência de acidentes e os comportamentos inseguros neste sistema (Read *et al.*, 2021).

Vale a pena também destacar que a falta de relatórios detalhados e padronizados sobre os acidentes envolvendo trens e pedestres foi apontada como uma das dificuldades para os estudos e a compressão sobre o tema (Lobb, 2006).

Na contramão dos estudos que consideram fatores contribuintes de forma mais isolada, as pesquisas mais recentes têm demonstrado uma melhor compreensão dos fatores de uma forma sistêmica, capaz de identificar pontos de alavancagem para melhorar a segurança nas passagens em nível (Stefanova, 2015; Larue *et al.*, 2018; Read *et al.*, 2021).

A abordagem sistêmica procura não apenas identificar os fatores que influenciam a segurança do sistema, mas também as formas como eles interagem entre si e os níveis hierárquicos em que residem. Embora alguns fatores contribuintes tenham sido identificados, mais pesquisas são necessárias para capturar toda a gama de fatores sistêmicos que desempenham um papel na manutenção da segurança das passagens em nível (Read *et al.*, 2021).

Dentre estes fatores, alguns estudos identificaram que os ambientais podem influenciar as colisões entre trens e pedestres, embora nem sempre eles foram estatisticamente correlacionados. Por exemplo, a velocidade dos trens foi relacionada positivamente com a severidade das colisões trem-pedestre (Zhao *et al.*, 2019).

Neste contexto, este estudo pretende responder à seguinte pergunta: De que maneira características físicas e operacionais da ferrovia e características socioeconômicas do entorno das travessias urbanas no Brasil podem influenciar na ocorrência e ou na severidade de acidentes ferroviários envolvendo pedestres? Para tanto, tem-se as seguintes hipóteses: (i) atributos da via, como geometria, número de linhas e extensão do perímetro urbano da ferrovia influenciam na ocorrência destes acidentes; (ii) características da faixa de domínio ferroviário, como número de passagens em nível e existência de barreiras de acesso (vedação) influenciam na ocorrência destes acidentes; (iii) características da operação ferroviária como velocidade dos trens influenciam na ocorrência destes acidentes; e (iv) características do entorno das travessias, como população, densidade demográfica, região (urbana ou rural), ocupação urbana e uso do solo (presença de escolas e hospitais, inclusive) influenciam na ocorrência destes acidentes.

Assim, apesar de fatores humanos, por meio de distração, erros e violações, serem frequentemente apontados como uma das principais causas de atropelamentos ferroviários (Larue *et al.*, 2018), este estudo terá como foco os fatores ambientais, que têm um potencial de moldar o comportamento dos pedestres (Lobb, 2006, Stefanova, 2015).

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi analisar os acidentes ferroviários envolvendo pedestres no Brasil, identificando e correlacionando fatores contribuintes para a sua ocorrência.

Para tanto, os objetivos específicos são:

1. Analisar estatisticamente os atropelamentos ferroviários, descrevendo características deste fenômeno no Brasil;
2. Identificar fatores de risco de acidentes ferroviários com pedestres relacionados às características das vítimas;
3. Identificar os principais atores envolvidos no contexto dos atropelamentos ferroviários no Brasil, descrevendo seus papéis e identificando suas responsabilidades;
4. Identificar e avaliar os principais normativos e propostas do setor ferroviário brasileiro para prevenção dos acidentes ferroviários envolvendo pedestres;
5. Identificar elementos que contribuam para melhoria do monitoramento de acidentes ferroviários envolvendo pedestres;
6. Propor medidas capazes de orientar políticas públicas e investimentos com vistas a minimizar os riscos de atropelamentos ferroviários no Brasil.

1.2 CONTRIBUIÇÕES

Os resultados deste estudo podem contribuir para melhorar a compreensão da magnitude dos atropelamentos ferroviários no Brasil, além de permitir a identificação de grupos vulneráveis e de fatores de riscos, a fim de apoiar a elaboração de políticas públicas baseadas em evidências, subsidiando o planejamento e intervenções mais focadas e efetivas para a redução destes acidentes, que causam tantos danos à população e às operações ferroviárias.

Como principal contribuição científica, entende-se que os modelos de análise gerados neste trabalho, que se mostraram aderentes, possam ser replicados em outros contextos geográficos e ampliada sua abrangência, de forma a se avançar na identificação de fatores que concorram para os acidentes ferroviários envolvendo pedestres, captando inclusive aspectos relacionados às diferenças contextuais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

No Capítulo 2 é apresentado um resgate histórico das ferrovias no Brasil e serão descritos os conflitos e oportunidades decorrentes da presença da infraestrutura ferroviária no

meio urbano. O Capítulo 3 apresentará a revisão de literatura referente ao problema central desta dissertação, que são os atropelamentos ferroviários, caracterizando as passagens em nível, que são os locais onde eles ocorrem e relacionando os fatores contribuintes e as medidas de prevenção identificados nos estudos; o Capítulo 4 apresentará a metodologia de trabalho; o Capítulos 5 apresentará os resultados das análises e dos modelos estatísticos e a discussão sobre eles; e, por fim, no Capítulo 6 serão apresentadas as considerações finais, com recomendações para novos estudos.

2 AS FERROVIAS E AS CIDADES: CONFLITOS E OPORTUNIDADES

Neste capítulo, após descrever a evolução histórica das estradas de ferro no Brasil, são descritos aspectos da relação entre as ferrovias e as cidades, quase sempre conflituosa, mas que pode se tornar mais benéfica.

2.1 HISTÓRICO DAS FERROVIAS NO BRASIL

Um novo capítulo na história mundial dos transportes foi escrito em 26 de setembro de 1825, quando uma multidão de ingleses dispostos ao longo de uma estrada, pavimentada por trilhos de aço, presenciaram uma composição ferroviária percorrer os 15 km de distância entre as cidades de Stockton e Darlington, a uma velocidade de 20 km/h. Em 1829, Stephenson, o autor deste feito, apresentou sua nova locomotiva “The Rocket”, que foi viabilizada em virtude de inovações tecnológicas trazidas pela Revolução Industrial, sobretudo a máquina a vapor de Watt. Assim, entrou em operação, em 1830, o primeiro serviço regular de viação férrea do mundo, conduzindo passageiros em alta velocidade, entre Manchester e Liverpool, na Inglaterra (Netto, 1974).

As ferrovias representavam uma revolução para o transporte, pois possibilitavam o deslocamento de grande quantidade de mercadorias a distâncias consideráveis, com segurança e rapidez, bem como o transporte de passageiros entre cidades (Pereira, 2015). No início da segunda metade do século XIX, a inovação de Stephenson já predominava pela Europa, que contava com pelo menos 3.000 km de via férrea, e nos Estados Unidos, com pelo menos 5.000 km de linhas. Assim, a ferrovia foi se espalhando pelo mundo inteiro como um instrumento de progresso (Netto, 1974).

Essa novidade encontrou um Brasil que acabava de passar por grandes transformações políticas e econômicas no início do século XIX: a vinda do Imperador Dom João VI e toda a sua corte para o Brasil, em 1808, devido à iminente invasão de Portugal pelas forças de Napoleão; a abertura dos portos brasileiros às nações amigas, no mesmo ano, rompendo amarras coloniais; a elevação do Brasil a Reino Unido de Portugal, Brasil e Algarves em 1815; a aclamação de Dom João VI como rei desse Reino Unido e as revoluções de caráter liberal, tanto em Portugal (Porto), como no Brasil (Recife). Tais fatos culminaram, afinal, com a Proclamação da Independência e a coroação de Dom Pedro I como Imperador do Brasil em 1822 (Pereira, 2015).

Dessa forma, na época de sua independência, sem possuir um sistema de transportes adequado aos novos tempos, o Brasil não ficou alheio à inovação tecnológica surgida na Europa. Assim, de acordo com Brasileiro *et al.* (2001), a primeira tentativa de implantação de

uma estrada de ferro no País, ocorreu em 5 de maio de 1827. Nessa ocasião, o inglês Grace solicitou autorização para construir e explorar uma ferrovia entre o Rio de Janeiro à Serra de Itaguaí, constituindo para tal fim, a Companhia Brasileira de Estradas de Ferro. No entanto, este intento não saiu do papel e as primeiras ferrovias só seriam viabilizadas quase 30 anos mais tarde.

Assim, as hidrovias continuaram a se constituir o principal acesso ao interior do país e as iniciativas do Primeiro Reinado no setor de transportes, principalmente terrestres, foram tímidas (Brasileiro *et al.*, 2001).

A economia na época do Primeiro Reinado enfrentava dificuldades, tendo em vista o volume crescente das importações, desde a abertura dos portos ao mercado estrangeiro, ao mesmo tempo em que o açúcar e o algodão, seus principais produtos de exportação, sofriam com a concorrência de outros países (Brasil, 2001).

A consolidação do Estado Brasileiro enfrentava obstáculos para sua modernização, o que se agravou com a abdicação do trono por D. Pedro I e seu retorno a Portugal, por pressões políticas. O Período da Regência (1831-1840), que se seguiu, foi marcado por muita instabilidade política, maior autonomia das províncias e ocorrência de movimentos separatistas. Assim, a extensão territorial do país exigia planos para integrá-lo, de forma a facilitar sua unidade político administrativa (Brasil, 2001). Foi nesse período que surgiu a primeira legislação de concessão de ferrovias. Na ocasião, o Regente Feijó recebeu autorização do Legislativo, através da Lei n. °101/1835, para conceder privilégios pelo prazo de 40 anos a empresas que construíssem estradas de ferro do Rio de Janeiro para Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia. Apesar dos privilégios oferecidos, que incluíam uma subvenção por légua de linha construída, isenção de impostos e até doação de terras, a legislação não foi suficiente para atrair investidores (Netto, 1974).

A economia no Período Regencial continuava deficitária, mas houve alterações no comércio exterior: o café, que se popularizou na Europa, passou a ser o principal produto de exportação do país, representando 44% do total de exportações, seguido do açúcar, com 24%. Para ilustrar esse fato, Brasil (2001) relata que, se em 1821 o Brasil exportava 129.000 sacas de café, em 1840 chegou a exportar 1.383.000. O autor observa que como a cadeia produtiva do café se concentrava na região sudeste, essa se consolidou como o principal eixo de poder do país, tendo o Rio de Janeiro como centro das decisões políticas.

Inicialmente a produção do café se concentrou na Baixada Fluminense, expandindo-se para regiões do litoral capixaba e para o sul de Minas Gerais. A infraestrutura para seu

transporte era constituída por estradas de terra, que ligavam as grandes fazendas aos portos de Cabo Frio, Angra dos Reis e Parati, criados para atender a esta cadeia produtiva. Tropas de mula e carros de boi efetuavam o transporte do café em sacas para estes portos, de onde seguiam para o Rio de Janeiro, núcleo da exportação (Brasil, 2001). Ainda na década de 1840, o Rio de Janeiro respondia por quase 80% da exportação total, com 16% correspondendo a São Paulo e cerca de 6% a Minas” (De Abreu *et al.*, 2018).

Durante o Segundo Reinado, que se iniciou em 1840, quando foi votada a maioria de Dom Pedro II, a produção do café continuou em crescimento, atingindo seu auge quando se expandiu para o Oeste Paulista. Lá enfrentou problemas logísticos para seu escoamento até o Porto de Santos. As grandes distâncias e os meios de transporte lentos passaram a exigir uma modernização do transporte com a implantação das estradas de ferro, já comuns nas nações mais avançadas. Neste contexto, um marco fundamental para a história das ferrovias no Brasil foi a edição do Decreto n.º 641, de 26/07/1852, na qual o Governo oferecia garantia de juros de 5% do capital empregado na construção de estradas de ferro, além de garantias de zonas privilegiadas, com extensão de 5 léguas para cada lado do eixo da linha e prazos de concessão de 90 anos (Brasil, 2001).

Esse instrumento, mais vantajoso que o anterior, conseguiu enfim atrair interesses do capital privado. Assim, a primeira ferrovia construída no Brasil, a famosa Estrada de Ferro Barão de Mauá, ligava o porto de Estrela (Mauá) à localidade de Frágoso, próximo à de Raiz da Serra de Petrópolis, com 14,5 km de extensão. Foi inaugurada por Dom Pedro II, em 30 de abril de 1854, graças ao pioneirismo de Irineu Evangelista de Souza, que nessa mesma ocasião recebeu do Imperador o título de Barão de Mauá. Apesar de todos os incentivos, foram construídos cerca de 1200 km de ferrovias sob a vigência deste Decreto, de 1852 até 1873 (Netto, 1974). Dentre elas estão: a Estrada de Ferro Recife – São Francisco, inaugurada em 1858; a Estrada de Ferro Dom Pedro II, inaugurada em 1869, posteriormente denominada Estrada de Ferro Central do Brasil; a Estrada de Ferro Bahia - São Francisco, inaugurada em 1860 e a Estrada de Ferro Santos – Jundiaí, inaugurada em 1867, que mais tarde se tornou a São Paulo Railway (Brasil, 2001 e Brasileiro *et al.*, 2001). No entanto, 90% das ferrovias foram construídas depois desse período, dois terços delas sendo localizadas em São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Brasil, 2001).

A construção das estradas de ferro nesse período eram, portanto, tarefas a cargo da iniciativa privada, visando o lucro dos empreendimentos, mas para o Governo essa atividade constituía um serviço público de alta relevância (Netto, 1974). No entanto, não se conhecem estudos técnicos prévios para implantação dos traçados ferroviários e os projetos de engenharia

eram bastante simples, baseados em observações topográficas a nível de reconhecimento. Como resultado, a maioria das ferrovias tinha um percurso altamente sinuoso e demasiadamente extenso (Netto, 1974).

Vale destacar a participação do capital estrangeiro, sobretudo inglês, no financiamento das ferrovias neste período, passando algumas delas totalmente ao controle acionário externo, a exemplo da Santos-Jundiaí (Netto, 1974 e Brasil, 2001). Na verdade, mais de 77% do capital estrangeiro investido no Brasil entre 1860 e 1902 pertencia aos ingleses (Brasil, 2001).

Para promover o aceleração da atividade construtiva ferroviária, resolveu o Governo Imperial promulgar a Lei n.º 2450, de 24 de setembro de 1873, prevendo a subvenção por quilômetro construído e garantia de juros de 7% ao ano sobre o capital empregado, pelo prazo de 30 anos (Netto, 1974). Assim, entre os anos de 1876 e 1896, verificou-se o auge das construções das ferrovias no Brasil, com 11.675 km sendo implantados (Brasil, 2001).

Netto (2001) ressalta, contudo, que se tal lei, por um lado, surtiu os efeitos desejados de impulsionar a construção de ferrovias no país, por outro lado, teve como consequência traçados de ferrovias muito mais extensos do que seria tecnicamente possível e economicamente desejável, atendendo ao espírito de lucro de seus empreiteiros. O autor também observou que dois grandes erros que foram cometidos neste período ainda refletem no sistema ferroviário nacional. O primeiro deles foi a ausência de um plano geral de implantação ferroviária. O segundo, de se permitir a construção de ferrovias com as mais variadas bitolas², gerando, posteriormente, dificuldades de conexões da malha.

Dos projetos ferroviários deste período, destaca-se a Estrada de Ferro Paranaguá-Curitiba, concluída em 1885, que carregou a marca de umas das ferrovias mais arrojadas do país, vencendo o declive da Serra do Mar, de quase mil metros, em apenas 39 quilômetros, contando para isso com 420 obras de arte (Brasil, 2001). Em 1887, pode-se assinalar a chegada dos trens da D. Pedro II, à Capital de Minas Gerais, ligando-a, desse modo, à sede do Governo Imperial (Netto, 1974).

Por ocasião da Proclamação da República, em 1889, as ferrovias em operação no Brasil tinham uma extensão de 9.440 km, mas não se pode dizer que elas formavam uma rede nacional (Netto, 1974). Um dos primeiros atos do Governo Republicano foi a mudança do nome da Estrada de Ferro Dom Pedro II, que há muito já estava sob administração governamental, para Estrada de Ferro Central do Brasil (Netto, 1974). Do ponto de vista institucional, a República

² É a distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos. No Brasil, prevalecem a bitola larga de 1,60m e a bitola métrica, que corresponde a 1m.

foi marcada por uma maior descentralização administrativa em favor dos Estados, consolidando a hegemonia das oligarquias e do Sudeste. O fim da escravidão, a adoção do trabalho assalariado e a imigração de força de trabalho estrangeiro marcaram esse período da história do Brasil. A agricultura continuava a constituir a base econômica do país e o café, embora menos lucrativo, ainda era o seu principal produto de exportação (Brasil, 2001).

A partir de 1896 iniciou-se um movimento na esfera administrativa para acabar com o regime de garantia de juros para construção de estradas de ferro, considerado um estímulo à ineficiência, já que qualquer ferrovia mal administrada poderia ser lucrativa graças a essas garantias. Esta decisão resultou na encampação de várias pequenas ferrovias entre 1901 e 1902, além da Central do Brasil, que tinha sido encampada em 1855. O Governo Brasileiro era autorizado a promover, em seguida, o arrendamento dessas ferrovias a empresas particulares ou a Governos Estaduais (Netto, 1974).

Importante registrar neste período a construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré, a partir de 1907, que ficou a cargo do Governo Brasileiro, em cumprimento a um acordo diplomático decorrente de uma disputa com o Governo Boliviano. Após frustradas tentativas anteriores de construção da mencionada ferrovia, foi contratada, por meio de uma concorrência internacional, uma empresa americana para executar as obras. Foram muitas barreiras a se vencer, sendo as principais delas os problemas sanitários que dizimaram as equipes de trabalho iniciais. Apesar disso, a ferrovia foi concluída em 1912, com seus 344 km entre Porto Velho e Guajará-Mirim. Dois anos após, iniciava-se a crise da borracha amazônica, que acabou por condenar a ferrovia à obsolescência já em 1918 (Netto, 1974).

Fazendo um balanço das ferrovias brasileiras existentes até este período, Netto (1974) e Brasil (2001) observam que a maioria delas foi construída a partir dos portos para as áreas produtoras, resultando em sistemas desvinculados uns dos outros. Eles registram, porém, que a partir de 1902, durante o Governo Rodrigues Alves, surgiu uma nova concepção do traçado do sistema ferroviário, buscando uma integração nacional e um caráter mais aproximado de rede. Assim, algumas ligações foram viabilizadas neste período, como a de São Paulo – Rio Grande do Sul, em 1910; o prolongamento da Central do Brasil até Pirapora, em 1911, articulando-se ali com o Rio São Francisco e a construção da Noroeste Brasil, cortando o Pantanal e atingindo Porto Esperança, em 1914. Outro projeto de integração que foi idealizado pelo Governo, mas acabou não se concretizando pelas dificuldades financeiras geradas com a eclosão da 1ª Guerra Mundial, foi a construção da ferrovia Pirapora-Belém, que prolongaria até o norte do país os trilhos da Central do Brasil.

Brasileiro *et al.* (2001) ressaltam que foi necessária a montagem de um arcabouço institucional para fazer frente às políticas modernizadoras de expansão ferroviária. Assim, dentre os arranjos institucionais no período, destaca-se a criação em 1909 do primeiro organismo normativo ferroviário independente, chamado de Repartição Federal de Fiscalização de Estradas de Ferro, que dois anos mais tarde foi transformado em Inspeção Federal de Estradas, passando a tratar também de rodovias.

A expansão ferroviária se acelerou no quinquênio de 1911 a 1915, sendo construídos 5.180 km de linha, frente aos 4.685 km do quinquênio anterior. Na década de 1920 foram construídos mais 3.943 km de ferrovias, resultando numa malha nacional com extensão de 32.478 km no final desse período (Brasileiro, 2001). Contudo, ainda não se pode dizer que existia uma rede nacional, mas sim 4 redes independentes entre si: a maior de todas integrava as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste; a segunda era localizada no Nordeste, na região servida pela Great Western e as duas restantes eram a baiana e a cearense. O restante era composto por estradas de ferro isoladas que ligavam um ponto no interior a uma região costeira ou fluvial (Netto, 1974).

A partir da década de 1930, contudo, o transporte ferroviário e o marítimo começam a perder sua hegemonia à medida que o transporte sobre pneus dava seus primeiros passos (Brasil, 2001). A inserção do rodoviarismo como prioridade na política pode ser definida como uma marca do Governo de Washington Luís na Presidência da República (1926-1930). No seu Governo foi criado o Fundo Nacional para Construção e Conservação de Estradas de Rodagens Federais, por meio da Lei n.º 5.141/1927, com recursos dos impostos sobre gasolina, veículos e peças. Brasil (2001) resalta que esta política rodoviarista tinha como pano de fundo a indústria automobilística.

Assim, no período entre 1930 e 1945, durante a Era Vargas, fica evidente o início de um processo de declínio das ferrovias, fomentado pela concorrência do modo rodoviário, que contava com sólida estrutura institucional e financeira e em vantagens tecnológicas competitivas (Brasil, 2001). Por outro lado, a falta de conectividade, caracterizada pelo isolamento das diversas redes ferroviárias existentes e o precário estado de conservação da infraestrutura, acentuaram as desvantagens do transporte ferroviário frente ao jovem modo rodoviário (Brasileiro *et al.*, 2001).

Dessa forma, em 1930, o Brasil possuía 32.000 km de estradas de ferro em operação. Nesta década houve uma desaceleração do ritmo de expansão, sendo construídos em média 177,4 km de ferrovias por ano, contra uma média de 394,3 km na década de 1920. Na década

de 1940, esta média volta a subir, alcançando 242,9 km de ferrovias construídas por ano, embora ainda em ritmo inferior à década de 1920.

Apesar de pouco expressiva para o setor ferroviário, alguns fatos deste recorte histórico que foi a Era Vargas merecem menção. Na década de 1930, ocorreu a aprovação oficial do primeiro Plano Nacional de Viação (Brasil, 2001), mas no setor ferroviário a meta principal era sanear financeiramente as estradas de ferro que acumulavam déficits anuais. As obras realizadas eram mais ponderadas e estavam voltadas para se alcançar uma mínima integração entre as redes, a exemplo da ligação da Central do Brasil à Estrada de Ferro Vitória-Minas, com a construção do trecho entre Santa Bárbara a desembargador Drummond, em 1935, ligando, assim, Belo Horizonte ao Vale do Rio Doce e à Vitória (Brasileiro *et al.*, 2001).

Netto (1974) também destaca no período o início do processo de substituição da tração a vapor pela tração elétrica, em 1930, e desta, pela tração diesel-elétrica, a partir de 1939. Houve ainda a criação pelo Governo em 1942 da Companhia Vale do Rio Doce, em função dos Acordos de Washington, com a Estrada de Ferro Vitória a Minas passando a seu controle e sendo modernizada para suportar um tráfego pesado entre as jazidas de minério de Itabira e o Porto de Vitória, de onde poderia ser exportado para os Estados Unidos, tornando-se a ferrovia com maior densidade de tráfego do país. Por fim, destaca a compra pelo Governo Federal das últimas empresas ferroviárias inglesas que ainda operavam no Brasil e que estavam em estado precário de conservação, em consequência de acerto de dívidas entre os dois países acumuladas durante a 2ª Guerra Mundial, cessando, assim, a existência de capital estrangeiro empregado na atividade ferroviária no país.

Do ponto de vista institucional, Brasileiro *et al.* (2001) sinalizam a criação do Departamento Nacional de Estradas de Ferro – DNEF, em 1941, que mais tarde, entre 1945 e 1946, elaboraria o Plano de Reparcelhamento do Setor Ferroviário.

A partir de 1946, com a eleição do Presidente Dutra (1946-1949) e, em seguida, com a volta ao poder de Getúlio Vargas (1950-1954), o Brasil trilha os caminhos da redemocratização. Do ponto de vista político e econômico, o período é marcado pela forte presença do Estado nos principais setores da economia, sendo criadas empresas estatais em todas as áreas de infraestrutura, com destaque para a Petrobrás, em 1953 (Brasil, 2001). Ela foi fundamental à expansão automotiva do país, com a instalação em território nacional de fábricas de asfalto e de refinarias de petróleo para produção de combustíveis (Brasil, 2001).

No setor ferroviário, o Governo tentou promover, apesar da precariedade de recursos, a recuperação e o reequipamento das ferrovias que passaram a seu domínio e dar prosseguimento às construções já autorizadas e iniciadas. Entre 1945 e 1950 foram construídos 1.400 km de

ferrovia, dentre elas vale registrar a conclusão da interligação ferroviária do Sul com a rede Baiana, em 1950, que possibilitou o deslocamento por estradas de ferro, do extremo sul do País à Natal (Brasileiro *et al.*, 2001).

No início dos anos 1950, cabia ao Congresso Nacional definir a política de implantação das ferrovias, uma vez que definiam a designação de verbas de financiamento para construção de linhas, resultando em decisões nem sempre técnicas (Brasileiro *et al.*, 2001). Neste contexto, foi importante a atuação da Comissão Mista Brasil – Estados Unidos, criada em 1951, que visava planejar o desenvolvimento nacional nos seus principais campos e cujos trabalhos resultaram no desenvolvimento de 24 projetos de melhorias de linhas ferroviárias existentes. A Comissão também foi responsável por introduzir importantes recomendações para política ferroviária, dentre elas, a de supressão e erradicação de linhas deficitárias, a construção de novas linhas condicionada a estudos de viabilidade econômica, a complementação da integração das ferrovias existentes e a adequação do sistema ferroviário para fins de transporte de massa de passageiros (Netto, 1974; Brasileiro *et al.*, 2001). Daí também surgiu a proposta de reestruturação administrativa das ferrovias por meio da criação da Rede Ferroviária S.A., que seria concretizada em 1958 (Brasileiro *et al.*, 2001).

Assim o quinquênio de 1950-1955 termina com um saldo positivo de apenas 411 km de linhas ferroviárias, totalizando uma malha de 37.092 km de extensão. Dentre os projetos ferroviários, destacam-se o início da construção do Tronco Principal Sul - TPS, que tinha como meta a ligação da Capital da República até Porto Alegre, em bitola larga (Netto, 1974) e a conclusão da ligação ferroviária Brasil-Bolívia, com a construção dos 690 km do trecho entre Corumbá e Santa Cruz de La Sierra, inaugurado em janeiro de 1955 (Brasileiro *et al.*, 2001). De forma geral, apesar de alguns projetos relevantes, as ações governamentais visando a recuperação do sistema ferroviário no segundo Governo Vargas foram tímidas (Brasileiro *et al.*, 2001). Em contrapartida, o transporte rodoviário, que já predominava no início da década de 1950, ganhou cada vez mais participação na matriz de transporte de cargas do Brasil neste período (Brasileiro *et al.*, 2001).

No período que se iniciou em 1956, com a posse do Presidente Juscelino Kubitschek (1956-1960), o sistema ferroviário desenvolveu suas atividades em estreita consonância ao Plano de Metas adotado pelo Governo. As ações para o subsetor ferroviário, que foram baseados nas propostas e recomendações da mencionada Comissão Mista, visavam à reestruturação, racionalização e reaparelhamento da malha (Brasil, 2001). Buscava-se, assim, a expansão do sistema, por meio da construção de novas linhas economicamente viáveis e da construção de

variantes; e a modernização dos equipamentos, com aquisição de trilhos, dormentes e material rodante. Contudo, o grau de aderência das obras foi modesto, sendo realizadas apenas 37% daquelas previstas. Nos projetos de modernização, por outro lado, foi atingido o percentual de 76% dos investimentos previstos (Brasileiro *et al.*, 2001).

Para dar suporte financeiro ao plano, Brasil (2001) cita a elevação da capacidade do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE para investir no programa de expansão do transporte ferroviário e a elevação dos níveis de tributação sobre combustíveis e lubrificantes líquidos derivados do petróleo, para melhoria das ferrovias viáveis e substituição por rodovias daquelas consideradas deficitárias.

Por fim, no campo institucional, adveio uma importante reforma administrativa no setor ferroviário. O Governo Federal decidiu pela unificação administrativa das 18 estradas de ferro pertencentes à União, que totalizavam aproximadamente 37.000 km de linhas espalhadas pelo país. Para tanto, foi criada a RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A, por meio da Lei n. ° 3.115, de março de 1957 e efetivada no ano seguinte, com objetivo de exercer a administração, exploração, conservação, ampliação e reequipagem para melhoria de tráfego nas malhas ferroviárias (Junior *et al.*, 2018). Além do grupo de ferrovias sob administração da RFFSA, um grupo de 7 ferrovias passou ao controle do Governo de São Paulo e o restante do sistema era composto por ferrovias privadas. O sistema ferroviário era regulado pelo Departamento Nacional de Estradas de Ferro - DNEF (Netto, 1974).

Importante pontuar que, paralelamente, no Governo de Kubitschek, o transporte rodoviário continuou a gozar de grande atenção, com uma notável expansão da malha.

No início dos anos 1960, a turbulenta sucessão presidencial com a renúncia de Jânio Quadros e a posse do seu vice, João Goulart, culminou com a tomada de poder dos militares em 1964 (Brasil, 2001). No triênio 1961-1963, as ações relativas ao transporte ferroviário resumiram-se na continuidade das medidas do Plano de Metas. Em 1961, foi instalado um novo grupo de trabalho para estudar os ramais ferroviários a serem erradicados, que relacionou 4.985 km de linhas (Netto, 1974). Buscava-se enfrentar os subsídios sistemáticos concedidos à RFFSA (Brasil, 2001) em virtude de uma grande queda na sua produção, resultante da concorrência com o modo rodoviário e do agravamento do processo inflacionário que havia se instalado no país (Netto, 1974). Em 1962, foi criado o Fundo Nacional de Investimentos Ferroviários na expectativa de se obter melhores recursos para o sistema ferroviário. Ressalte-se que, desde sua criação até 1964, a RFFSA funcionava mais como uma holding, tendo sob seu controle, diversas ferrovias com certa independência.

Para os transportes, o Período do Regime Militar (1964-1985) foi marcado pelo triunfo do automóvel, cuja produção tornou-se o carro-chefe da economia brasileira (Brasil, 2001). Em contrapartida ao setor rodoviário, os investimentos na modalidade ferroviária foram extremamente seletivos e rigorosos (Brasileiro *et al.*, 2001).

Para Netto (1974), desde o início do Governo Militar conseguiu-se paralisar o processo de deterioração que começava a se instalar no sistema ferroviário brasileiro, com um grande programa de soerguimento econômico para o setor. Para tanto, voltaram a ser consideradas as recomendações feitas pela Comissão Mista e os trabalhos de erradicação de ramais deficitários puderam enfim avançar, sem as interferências políticas regionais. Em 1966, um novo grupo foi criado para reavaliar a questão e, como resultado, aumentou a extensão das linhas para erradicação, passando a 6.068 km, restando uma malha de 29.000 km no momento em que o programa fosse cumprido. A partir dali, as novas linhas deveriam obedecer a critérios rigorosos de viabilidade econômica e enquadramento à política nacional.

Por outro lado, verificou-se um aumento substancial da produtividade ferroviária rumo ao equilíbrio financeiro das linhas. Também avançou, a partir de 1966, o programa de substituição da tração a vapor pelo sistema diesel elétrico, que alcançou a predominância em 1971 (Netto, 1974).

Registre-se também neste período que, em 1970, por recomendação de uma consultoria solicitada pelo Governo ao Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, as sete ferrovias controladas pelo Governo de São Paulo passaram a constituir uma entidade única nos moldes da RFFSA, denominada Ferrovia Paulista S/A (FEPASA), com status de empresa de economia mista (Netto, 1974).

O modelo de desenvolvimento do Governo Militar foi marcado por uma forte intervenção estatal na economia. Foi a “época de ouro” (Brasil, 2001) das estatais e do “Estado Realizador” (Brasil, 2001). Outra característica marcante deste período foi a utilização do planejamento como ferramenta importante nas decisões governamentais. Neste sentido, foi criado, em 1965, um importante órgão de planejamento de transportes: o GEIPOT – Grupo Executivo de Política de Transportes. Embora tenha surgido em atendimento a uma contrapartida de um acordo celebrado pelo Governo com o BIRD, o órgão se transformou, em 1973, na Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (Brasileiro *et al.*, 2001).

Assim, as ferrovias, mesmo não sendo uma prioridade governamental, receberam a atenção dos programas de reestruturação. Dentre os diversos planos e programas elaborados durante o período, com destaque para os I e II Plano Nacional de Desenvolvimento – PND e,

setorialmente, o Programa de Desenvolvimento Ferroviário – PDF, as ações voltadas para as ferrovias contemplavam sobretudo: o avanço da política de erradicação de ramais e linhas antieconômicas; a modernização da infraestrutura existente, com melhorias do traçado, construção, ampliação e modernização de pátios, terminais e oficinas e eliminação dos pontos de quebra de bitolas; a modernização do material rodante, com prosseguimento da substituição da tração a vapor pelo sistema diesel-elétrico e construção de novas ferrovias pautadas em comprovada justificativa econômica.

No campo institucional, as ações buscaram conferir dinamização comercial e modernização administrativa e operacional à RFFSA, visando a eliminação gradual do déficit operacional. Tais premissas se refletiram na sua estrutura organizacional, desaparecendo as organizações administrativas das várias estradas de ferro do seu início, para uma administração centralizada (Netto, 1974). Após as reformas administrativas que se sucederam, passou a adotar uma descentralização executiva com a instalação de superintendências regionais (Brasileiro *et al.*, 2001).

Com estas ações, e diante do cenário nacional favorável do período do “milagre econômico”, as ferrovias começaram a conquistar melhorias de produtividade na operação dos seus serviços, apresentando significativa diminuição de suas despesas. Para ilustrar o aumento no desempenho das ferrovias, Brasileiro *et al.* (2001) afirmam que, em 1978, a RFFSA, que transportava 35,4 milhões de toneladas, com uma produção de 14,4 bilhões tkm³ passou a transportar 55,5 milhões de toneladas, produzindo 25,7 bilhões de tkm.

Ressalte-se, por outro lado, que o transporte de passageiros no interior, nesta época ainda sob a tutela da RFFSA, deixou de ser prioridade, em função da política de redução dos serviços deficitários, verificando uma queda de 33% deste serviço no período, em detrimento do transporte de passageiros de subúrbio, que verificou um crescimento de 37% de 1973 para 1978. Uma mudança administrativa importante relativa ao transporte de passageiros foi a criação, em 1984, da Companhia Brasileira de Transportes Urbanos – CBTU, como subsidiária da RFFSA, assumindo a operação dos transportes ferroviários metropolitanos (Brasileiro *et al.*, 2001).

No último Governo Militar (1979-1985), contudo, os tempos dos recursos abundantes haviam passado, o que se refletiu nas diretrizes estabelecidas para o modo ferroviário neste período. A RFFSA concentrou suas ações na consolidação das linhas existentes e em completar as obras em andamento, mas muitos programas previstos não puderam ser executados na íntegra, devido à escassez de recursos. Assim, a situação da RFFSA neste momento era muito

³ “Tkm” é uma unidade de medida utilizada no sistema de transportes que significa tonelada por quilômetro, ou seja, 1 tkm é igual a 1.000kg transportados no percurso de 1 km.

grave, pois os recursos eram escassos, as despesas aumentavam e seu endividamento era alto (Brasileiro *et al.*, 2001).

Em relação à malha ferroviária, entre os trechos construídos e os ramais erradicados no final do período, o sistema da rede ficou reduzido a 22.848 km de extensão. Dentre as obras mais relevantes pode-se destacar o início das obras da Ferrovia do Aço, que foram paralisadas durante o Governo Militar, sendo concluídas em 1989 e a construção da Estrada de Ferro Carajás (Brasileiro *et al.*, 2001).

A década de 1990 marcou intensamente o setor de transportes no Brasil do ponto de vista de seu arcabouço institucional e jurídico-normativo. A partir do mandato de transição de José Sarney e com o primeiro presidente eleito pelas urnas após 1964, a política pública foi reorientada no sentido do fortalecimento da iniciativa privada, em detrimento da redução da interferência do estado na vida econômica do país. Neste contexto foi promulgado o Plano Nacional de Desestatização - PND, em 1990, colocando as privatizações como elemento central de política econômica do país. Assim, o processo de desestatização recaiu fortemente sobre o setor de transportes (Brasileiro *et al.*, 2001).

A RFFSA foi incluída no PND em 1992, através do Decreto Lei nº 473, ensejando estudos, promovidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, que recomendaram a transferência para o setor privado dos serviços de transporte ferroviário de carga. Essa transferência foi efetivada no período entre 1996 e 1998, de acordo com o modelo que estabeleceu a segmentação do sistema ferroviário em seis malhas regionais, sua concessão pela União por 30 anos, mediante licitação, e o arrendamento, por igual prazo, dos ativos operacionais da RFFSA aos novos concessionários. Em 1998, houve a incorporação da Ferrovia Paulista S.A. - FEPASA à RFFSA, ao que se seguiu, em dezembro deste ano, a privatização daquela malha (Lima e Pasin, 1999).

Assim, a malha integrada e de abrangência nacional da RFFSA foi dividida em cinco lotes para a privatização: Sul (FSA), Oeste (Novoeste), Leste (FCA) e Nordeste (CFN), todas de bitola métrica, e Sudeste (MRS), de bitola larga (1,6 m).

Houve ainda um leilão específico para o trecho isolado Tereza Cristina, em Santa Catarina. A Fepasa foi leiloada integralmente, tendo o concessionário arrematado as malhas de bitola larga, métrica e mista, eletrificadas ou não (Lima e Pasin, 1999). A Estrada de Ferro Vitória a Minas – EFVM e a Estrada de Ferro Carajás – EFC, diferentemente da RFFSA e da FEPASA, foram privatizadas em conjunto com seu titular, a Companhia Vale do Rio Doce. Ressalte-se que, em 1993, estas duas ferrovias respondiam por 60% da produção nacional de

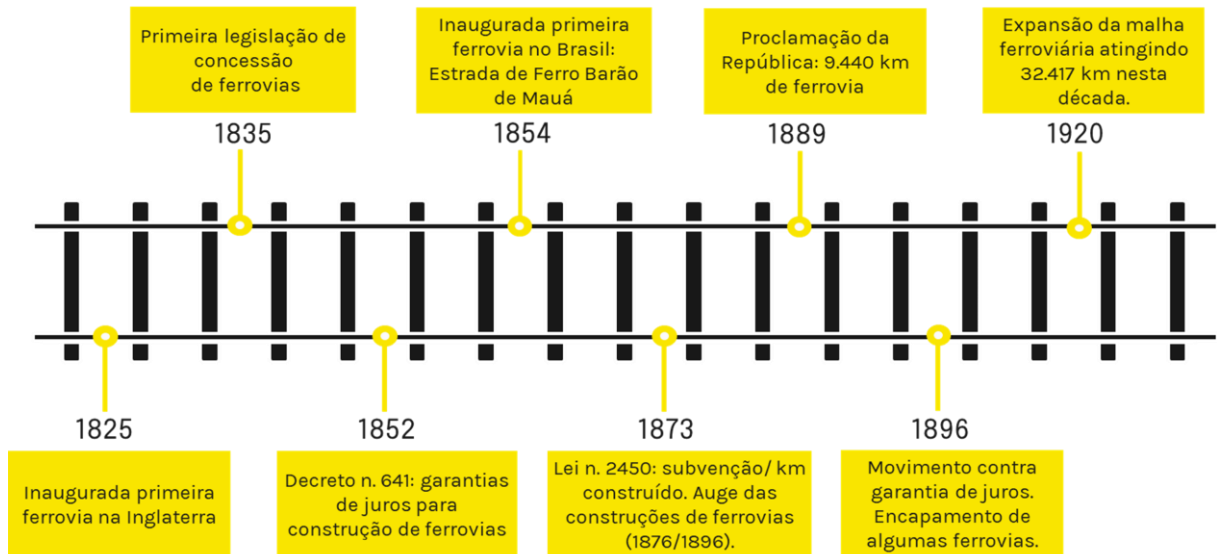
transporte ferroviário em toneladas quilômetros úteis – tku⁴(Brasileiro *et al.*, 2001). Além destes trechos, a malha ferroviária era composta pelas Ferrovias Norte-Sul e Ferronorte, que estavam em construção, pelos trechos urbanos aproveitados para transporte misto de passageiros e de cargas e operados pela CBTU, Flumitrens e CPTM, e por outras ferrovias privadas (Lima e Pasin, 1999).

A opção por privatizar a operação de transporte ferroviário, com o preço mínimo do leilão calculado com base no fluxo de caixa descontado, segundo Lima e Pasin (1999), deve ser entendida como a forma possível para buscar a reativação do setor sem gerar maiores pressões sobre as finanças públicas. A forma ideal, segundo os autores, compreenderia o estabelecimento prévio de um marco regulador adequado e pró-competitivo que efetivamente estimulasse o ressurgimento do transporte ferroviário e que somente seria possível com a criação da agência reguladora dos transportes.

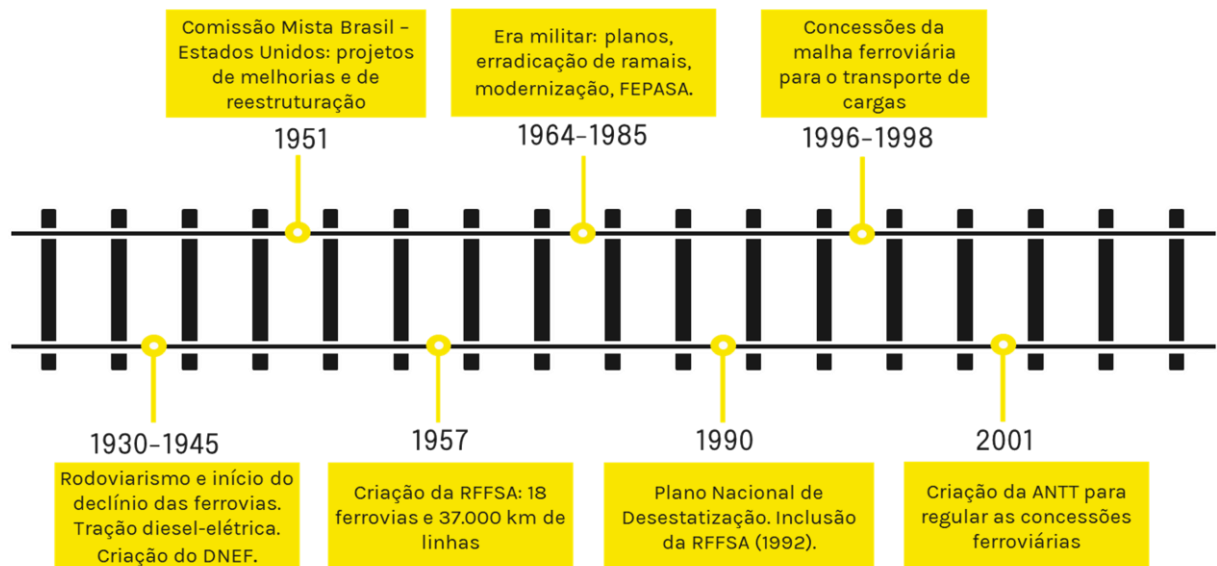
Assim, tardiamente, o Governo Federal, através da Lei n.º 10.233, de 05 de junho de 2001, reestrutura o setor de transportes aquaviário e terrestre, criando, dentre outras medidas, a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Diferentemente de outros setores de serviços públicos, o setor de transportes transferiu para a iniciativa privada a exploração de sua infraestrutura sem dispor ainda de um arcabouço legal que seria responsável pela monitoração e fiscalização do processo e dos serviços (Brasileiro *et al.*, 2001).

As Figuras 1 e 2 representam uma linha de tempo que ilustra os principais marcos da história da ferrovia no país até a criação da ANTT.

⁴ Unidade de medida de produção do transporte ferroviário obtida pelo produto da tonelagem das cargas transportadas pelas distâncias percorridas.

Figura 1: Linha de tempo da ferrovia no Brasil (1825-1920)

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 2: Linha de tempo da ferrovia no Brasil (1920-2001)

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando o histórico do sistema ferroviário no Brasil, Vencovsky (2005) propõe uma periodização em 3 momentos conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Proposta de periodização das ferrovias no Brasil

Período	1835 - 1957	1957-1996	A partir de 1996
Característica do sistema ferroviário	Desenvolvimento	Readequação	Reestruturação
Controle da ferrovia/investimentos	Privado	Estatal	Privado
Objetivos dos investimentos	Construção de novas linhas	Saneamento das empresas	Melhoria da eficiência operacional
Papel da ferrovia	Exportação	Integração do território/exportação	Exportação
Características dos principais fluxos	Vários produtos e passageiros	Commodities e passageiros	Commodities e containers
Principais produtos	Café	Minério	Minério e soja
Extensão das linhas	30 mil km	30 mil km	29 mil km

Fonte: adaptado de Vencovsky (2005)

O primeiro momento vai de 1835, com as primeiras tentativas de criação de empresas ferroviárias, até 1957, quando o sistema ferroviário foi estatizado com a criação da RFFSA. Este período foi caracterizado pela construção das primeiras estradas de ferro no país em 1854 e por uma forte expansão da malha ferroviária, chegando a atingir mais de 34 mil quilômetros de linha e sendo o modo dominante de transporte até a Primeira República.

Contudo, tal política de expansão ferroviária, atrelada à exportação do café e estimulada pelo regime de garantia de juros, resultou na pulverização da rede ferroviária em pequenas empresas. As estradas de ferro, na maioria das vezes, eram caminhos isolados, sem nenhuma integração e suscetíveis à sua decadência com a mudança do café de uma região para outra (Brasileiro *et al.*, 2001). Na década de 1950, com o apogeu da política rodoviária, iniciada em 1930 com o Presidente Washington Luís, as ferrovias existentes, com raríssimas exceções, entrariam em um processo de decadência (Vencovsky, 2005).

O segundo momento da periodização proposta por Vencovsky (2005), vai de 1957, com a nacionalização das ferrovias por meio da criação da RFFSA e da FEPASA, até 1996, com a privatização do sistema ferroviário. Este período tem como principal característica o controle estatal do sistema ferroviário e a evolução do rodoviarismo no Brasil.

Por fim, no terceiro momento da periodização do sistema ferroviário, que iniciou em 1996, há uma série de mudanças estruturais e institucionais no Brasil, balizadas, principalmente, pela “globalização” e pelas práticas neoliberais da década de 1990. A recuperação do sistema ferroviário ficou creditada à privatização das empresas ferroviárias estatais, que passaram a ser controladas pelo setor privado (Vencovsky, 2005).

2.1.1 Marcos regulatórios e o contexto atual do setor ferroviário brasileiro

As Lei n. ° 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 e n. ° 9.074, de 07 de julho de 1995 estabeleceram as regras gerais do regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, abrindo caminho para a realização das concessões ferroviárias, na segunda metade da década de 1990. O marco do setor de transporte ferroviário foi, portanto, estabelecido a partir dos editais e dos contratos de concessão resultantes deste processo (Melo Filho, 2022).

As administrações ferroviárias deveriam obedecer também ao Regulamento dos Transportes Ferroviários (RTF), instituído pelo Decreto Presidencial n. ° 1.832/1996 (Brasil, 1996).

No entanto, foi somente a partir de 2001, com a edição da mencionada Lei n. ° 10.233, que se definiu a estrutura institucional da atividade regulatória, estabelecendo-se normas gerais para os setores aquaviário e terrestre e criando as agências reguladoras correspondentes (Agência Nacional de Transporte Aquaviários - ANTAQ e ANTT e) (Melo Filho, 2022). Dessa forma, constituem esfera de atuação da ANTT, dentre as outras modalidades de transportes terrestres, o transporte ferroviário de passageiros e cargas ao longo do Sistema Nacional de Viação, a exploração da infraestrutura ferroviária, o arrendamento dos ativos operacionais correspondentes e o transporte de cargas especiais e perigosas em ferrovias (Brasil, 2001b).

Quanto às Concessionárias, a Tabela 2 apresenta uma relação das empresas atuais.

Tabela 2: Concessões ferroviárias atuais

Concessionária	Objeto da Concessão	Extensão do trecho	Início da Concessão	Prazo da Concessão
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	(EF-277) – PR	248,1 km	03/10/1988	90 anos
Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	Malha Centro-Leste – MG - SE- GO- ES- DF- RJ- BA e SP	7.856,8 km	26/08/1996	30 anos
Ferrovias Norte Sul Tramo Norte (FNSTN) - Valec	EF-151 – MA e TO	744,5 km	20/12/2007	30 anos
Ferrovias Tereza Cristina S.A. - FTC	(EF-488) – SC	164 km	24/01/1997	30 anos
Ferrovias Transnordestina Logística S.A. - FTL	(EF-116) – MA, PI, CE, RN, PB, PE e AL	4.295,1 km	30/12/1997	30 anos
MRS Logística S.A.	Malha Sudeste – MG – RJ e SP	1.821,3 km	26/11/1996 01/12/2026 (prorrogado)	30 anos
Ferrovias Norte Sul Tramo Central (FNSTC) - Rumo	(EF 151) – TO e GO	1.544 km	31/07/2019	30 anos
Rumo Malha Norte S.A.	(EF-364) – MT – MS e SP	735,3 km	12/05/1989	90 anos
Rumo Malha Oeste S.A.	Malha Oeste - SP e MS	1.973,1 km	01/07/1996	30 anos
Rumo Malha Paulista S.A.	Malha Paulista - SP e MG	2.118 km	01/01/1999 01/01/2029 (prorrogado)	30 anos
Rumo Malha Sul	Malha Sul - RS – SC – PR e SP	7.223,4 km	01/03/1997	30 anos
Transnordestina Logística S.A.	(EF-232) – PI – CE e PE	Em construção	22/01/2014 31/12/2027	30 anos
Estrada de Ferro Carajás – EFC - Vale	(EF- 315) – PA e MA	996,7 km	01/07/1997 01/07/2027 (prorrogado)	30 anos
Estrada de Ferro Vitória a Minas – EFVM - Vale	(EF-262) – ES e MG	894,2 km	01/07/1997 01/07/2027 (prorrogado)	30 anos
Ferrovias de Integração Oeste-Leste Fiol – Trecho 1	(EF-334) - Ilhéus/BA – Caetitê/BA	537 km	03/09/2021	35 anos
FNS/FIOL - Valec	EF-334 (FIOL) e EF-151 (FNS)	FIOL trecho 2: 485 km e FIOL trecho 3: 505 km	Aguardando subconcessão	50 anos (Valec)

Fonte: adaptado de Brasil (2023a)

Verifica-se que ao longo dos anos de operação, em função da dinâmica de mercado, ocorreram mudanças no que se refere à estrutura das empresas que originalmente participaram do processo de privatização (Cerbino *et al.*, 2019). Assim, atualmente, com as remodelações e

novos trechos, existem 16 concessões ferroviárias, com uma malha de cerca de 29.690 quilômetros (Brasil, 2023a). Isto sem contar a malha de metrô e trens de passageiros, composta por 14 sistemas presentes em 13 regiões metropolitanas brasileiras e na cidade de Sobral, no Ceará, que somam cerca de 1.062 km de extensão (CNT, 2016).

Quanto ao desempenho das concessões, os contratos iniciais não exigiram a realização de investimentos pré-definidos, mas estabeleceram duas metas para acompanhar a qualidade da prestação de serviço: uma de aumento de produção e outra de redução do índice de acidentes (Cerbino *et al.*, 2019), que, majoritariamente, vêm sendo cumpridas pelas Concessionárias (Brasil, 2023b).

Assis *et al.* (2017) também analisaram o desempenho das Concessionárias, baseados nos investimentos e na produção ferroviária, de 1997 a 2015, e constataram que eles foram superiores ao crescimento do produto interno bruto (PIB). Além disso, nesse mesmo período, eles constataram a redução em 83% do índice agregado de acidentes. Em 1997, foram registrados 75,5 acidentes por milhão de trem x km⁵. Em 2014, esse número caiu para 11,6, subindo em 2015 para 13,0, com a piora de indicadores de algumas Concessionárias. No entanto, os autores pontuam que, apesar dos avanços prestados pelas ferrovias após o processo de concessão, há diversas críticas ao modelo que merecem consideração.

Dentre elas, destacam-se a baixa diversificação de cargas e os trechos abandonados (Cerbino *et al.*, 2019). O sistema ferroviário apoia-se no formato de corredores de exportação de commodities minerais e agrícolas (81% e 14% da produção, respectivamente), com baixa conectividade e integração entre as malhas e baixa inserção no transporte de carga geral (4%) (Assis *et al.*, 2017). Além disso, de acordo com informações levantadas pela Revista Ferroviária, cerca de 58% da malha ferroviária nacional está praticamente sem uso, sendo que destes, cerca de 6 mil quilômetros estão subutilizados e 12 mil quilômetros estão completamente inoperantes (Revista Ferroviária, 2019, *apud* Cerbino *et al.*, 2019, p. 2149).

Grande parte destas críticas são atribuídas ao modelo de concessão monopolista (verticalizado), em que o concessionário é responsável tanto pela exploração da infraestrutura ferroviária, como pela prestação do serviço de transporte.

Contudo, Assis *et al.* (2017) observaram mais recentemente, uma tentativa de fomento à competição na malha nacional, limitando o poder de monopólio das Concessionárias, inicialmente por meio de resoluções da ANTT, culminando no Decreto n.º 8.129, de 23 de

⁵ 'trem x km' é uma unidade ferroviária que corresponde ao somatório das distâncias percorridas por todos os trens, numa determinada malha e em determinado período.

outubro de 2013, que estabeleceu a política de livre acesso no sistema federal, baseado no modelo europeu. Segundo os autores, este modelo acabou por determinar responsabilidades operacionais e financeiras à Valec e não se mostrou sustentável naquele momento, já que envolveria esforço fiscal federal e tempo de capacitação da empresa para o cumprimento de suas novas atribuições. Assim, esse decreto acabou sendo revogado pelo Decreto n.º 8.875, de 11 de outubro de 2016, sem que nenhum leilão de trecho ferroviário fosse realizado no período, permanecendo o sistema ferroviário numa estrutura de monopólio regional verticalizado.

Neste período também se destaca a Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016, que instituiu o Programa de Parcerias de Investimento – PPI, passando a definir: i) as políticas federais de longo prazo para o investimento por meio de parcerias em empreendimentos públicos federais de infraestrutura e para a desestatização; ii) os empreendimentos públicos federais de infraestrutura qualificados para a implantação por parceria e as diretrizes estratégicas para sua estruturação, licitação e contratação; iii) as políticas federais de fomento às parcerias em empreendimentos públicos de infraestrutura dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios (Melo Filho, 2022).

No entanto, diante das dificuldades enfrentadas pela política de construção de novas ferrovias e da intensidade da crise fiscal enfrentada pelo País, o foco da política de transporte ferroviário nacional se deslocou para a retomada dos investimentos, tendo como base a prorrogação antecipada dos contratos vigentes (Cerbino *et al.*, 2019).

Assim, em 5 de junho de 2017, foi promulgada a Lei n.º 13.448/17, com o objetivo de estabelecer as diretrizes gerais para prorrogação e relicitação de contratos de parceria no setor de transportes. Neste contexto, a prorrogação antecipada dos contratos de concessão ferroviários propõe a alteração do prazo de vigência contratual, desde que prevista no edital ou no contrato de concessão original, produzindo efeitos antes de seu término. A prorrogação antecipada pressupões, necessariamente, a inclusão de investimentos e pode ser realizada desde que transcorridos 50% a 90% do prazo original (Assis *et al.*, 2017). Assim, ela serviu como medida para viabilização de novos investimentos, principalmente por meio da transferência dos recursos advindos da outorga das concessões para a construção de novos projetos (Cerbino *et al.*, 2019).

Até o momento já foram efetivadas as prorrogações antecipadas dos contratos das Concessionárias Rumo Malha Paulista, da Estrada de Ferro Carajás (EFC), da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) e da MRS Logística.

Mesmo consolidando o modelo vertical de concessão, a Lei n.º 13.448/17 estabeleceu alguns mecanismos de incentivo à competição intramodal. Ela se preocupou com a saturação

dos trechos ferroviários e com a garantia de capacidade mínima de transporte a terceiros, outorgados pela ANTT, garantindo o direito de passagem, de tráfego mútuo e de exploração por operador ferroviário independente, mediante acesso à infraestrutura ferroviária e aos respectivos recursos operacionais das Concessionárias. Os níveis de capacidade de transporte deverão ser fixados ano a ano. Adicionalmente, dispôs sobre a possibilidade de incorporação do todo ou de partes decorrentes de cisão de outros contratos de parceria e sobre a utilização de trechos desincorporados para a prestação de serviços de transporte de curta distância por terceiros (Assis *et al.*, 2017).

As principais novidades no setor ferroviário, contudo, vieram da edição da Medida Provisória n.º 1.065, de 30 de agosto de 2021, que introduziu o instrumento da outorga por autorização, permitindo que o setor privado possa construir e operar ferrovias, ramais, pátios e terminais ferroviários. Outra inovação foi o instrumento da autorregulação, que possibilita aos autorizatários se associarem para constituir uma entidade com esse fim, submetida à supervisão da ANTT. As autorizações ferroviárias podem ser outorgadas seja pelo requerimento do interessado, a ser analisado pela autoridade competente; ou pelo chamamento, em processo de iniciativa do Poder Executivo, em que se oferta a exploração de ferrovias planejadas, mas não implantadas, ou mesmo que tenham baixa ou nenhuma operação. Embora não tenha se transformado em lei, a MP n.º 1.065 serviu de inspiração para edição da Lei nº 14.273, de 23 de dezembro de 2021, que reproduziu as principais inovações contidas naquele diploma normativo, constituindo o novo marco regulatório do setor ferroviário. De forma complementar, a Resolução ANTT nº 5.987, de 1º de setembro de 2022 (Brasil, 2022a) disciplinou o tema no âmbito da Agência.

Como efeito prático do Programa de Autorizações Ferroviárias (Pro Trilhos), instituído com o novo marco regulatório, foram feitos 95 requerimentos de outorga por autorização ferroviária até 26 de outubro de 2022, oriundos de 42 diferentes entes privados, sendo assinados 27 contratos entre o Governo Federal e entes privados para a implantação de novas estradas de ferro e autorizados pela ANTT a celebração de outros 5 contratos (Brasil, 2023b).

Por fim, com os novos projetos de expansão da capacidade e de extensão da malha ferroviária, incluindo os projetos de trens regionais de passageiros, a importância da segurança ferroviária aumentará ainda mais (Miguel, 2020).

2.2 OS CONFLITOS URBANOS DA FERROVIA

McGinnis (1980) estudou o então crescente fenômeno dos conflitos entre ferrovias dos Estados Unidos e as comunidades urbanas. Ele observa que estes conflitos existiram, em vários graus, desde que as operações ferroviárias começaram em 1830.

Muitas cidades americanas se desenvolveram principalmente como resultado das ferrovias, mas as mudanças nas atividades urbanas e nas operações de transporte alteraram esta relação. A expansão contínua das áreas urbanizadas e o aumento das viagens de veículos intensificaram os conflitos. Muitos planejadores viam as ferrovias como um obstáculo aos esforços de rejuvenescimento das cidades (McGinnis, 1980).

São diversos pontos de conflitos apontados, dentre eles se destacam: potencial urbano de grandes áreas ferroviárias subutilizadas; linhas ferroviárias de alto volume que passavam por áreas congestionadas no centro das cidades, causando grandes congestionamentos e atrasos, o que é particularmente importante para veículos de emergência; e poluição sonora e ambiental. Por outro lado, para a ferrovia, velocidades lentas de trens impostas pelos municípios, riscos de acidentes nas travessias em nível frequentes e um grande número de invasores da área ferroviária, fatores que não eram compatíveis com uma operação ferroviária eficiente (McGinnis, 1980).

As cidades reagiram pressionando pela eliminação de cruzamentos em nível e, em alguns casos, pela remoção dos trilhos de trem do centro da cidade. Mas as propostas de novas rotas ferroviárias tinham difícil locação e custo muito alto (McGinnis, 1980).

Assim, em muitos lugares, a presença das ferrovias, que propiciou o desenvolvimento urbano a ocorrer perto de suas linhas, passou a ser rejeitada, principalmente com o aumento da velocidade e frequência dos trens e com o crescimento do transporte rodoviário. No início de 1900, os conflitos entre veículos motorizados e trens em passagens em nível se tornaram um grande problema de segurança. As linhas ferroviárias eram barreiras físicas e às vezes psicológicas que separavam os bairros, e a população se tornou menos tolerante aos impactos ambientais adversos dos trens. Em 1920, o domínio das ferrovias estava começando a diminuir (McGinnis, 1980).

No Brasil, muitas cidades surgiram e se desenvolveram com a chegada das ferrovias. As primeiras ferrovias surgidas no país, em meados do século XIX, como já mencionado, foram predominantemente implantadas no meio rural. A ampliação da malha ferroviária nacional estava intimamente associada à expansão da atividade cafeeira que se concentrou na região sudeste do país. Assim, como consequência, a malha ferroviária brasileira apresenta maior

amplitude e capilaridade nesta região, onde atualmente se concentram os principais centros urbanos do país (Lima e Pasin, 1999).

A história das cidades sempre esteve associada à mobilidade, e, portanto, à evolução dos meios de transportes. Segundo Silva (2005), conceitualmente, associa-se mobilidade e tráfego ao encontro das pessoas, o que determina a troca de bens, a prestação de serviços e o intercâmbio de informações. Assim, as estradas de ferro, modo de transporte dominante desde as últimas décadas do século XIX até o período que antecedeu a 2ª Guerra Mundial,

(...) além de funcionarem como agentes de povoamento e de ocupação do espaço de várias maneiras, atraíram, junto às suas margens ou em seus domínios, estabelecimentos e atividades com uma relação funcional que, não raro, provocava a associação geográfica e financeira dos mesmos (Silva, 2005, p. 36).

Assim, segundo Da Luz (2007), a relação cidade-ferrovia, ao mesmo tempo conflituosa e cooperativa, tinha nas estações o seu ponto de contato, de maior intimidade. Ponto de afluxo de pessoas, de recebimento de mercadorias, de insumos, dos víveres, a vida passava pelas estações. Para o autor, enquanto os serviços de passageiros foram mantidos ativos e desempenharam serviços de caráter quase social, a cidade e o cidadão tinham alguma intimidade com essa ferrovia, conheciam seus horários e, se não a usavam, sabiam ao menos que podiam usá-la. Com a extinção do transporte de passageiros e, em muitos casos também de carga, perdeu-se a referência da ferrovia na cidade. O convívio passou a ser ditado pelos pontos conflituosos, quando os longos trens de carga cruzam a cidade e interrompem o fluxo viário nas passagens em nível, quando há descarrilamentos ou atropelamentos.

Além disso, o processo de concessão da malha ferroviária que se consolidou no final da década de 1990 teve como objeto principal o transporte ferroviário de cargas (Lima e Pasin, 1999). Desde então, a malha ferroviária brasileira acentuou um processo de especialização da carga com a formação de corredores destinados ao transporte de commodities minerais e agrícolas para a exportação (Castorino, 2014), consolidando o histórico das ferrovias nacionais de se voltarem para o mercado externo. Esses corredores ferroviários se assemelham a verdadeiras correias transportadoras, cortando as cidades rumo aos portos, segregando áreas e interferindo negativamente no cotidiano dos centros urbanos, como descreve Da Luz (2007, p. 9):

Trilhos e trens se fizeram necessários por seus serviços e tiveram o entorno ocupado pela população, resultando em cidades por vezes divididas, fragmentadas. Atualmente, o nível de conflito e de incômodo nas cidades

atingido pela presença da ferrovia em suas áreas urbanas torna-se crítico, seja pela crescente necessidade de serviços e infraestruturas viárias.

Esta fragmentação do espaço urbano pela presença das ferrovias, conforme o relato de Da Luz (2007), é denominado efeito barreira e é discutido a seguir.

2.2.1 Efeito Barreira

O fenômeno relacionado ao impacto das infraestruturas de transportes nas cidades é denominado efeito barreira. Este termo é associado à presença de elementos lineares no meio urbano que inibem a comunicação através deles, como ferrovias, rodovias, canais e rios. A inibição pode surgir devido aos desvios envolvidos no uso de facilidades de cruzamento pouco frequentes e/ou pelos aspectos aversivos que podem estar associados ao elemento linear como risco de acidentes, odor e poluição visual. (Lassière, 1976, *apud* Anciaes, 2015, p. 7).

Anciaes (2015) analisou as diversas abordagens e definições atribuídas na literatura ao efeito barreira provocado pelos sistemas de transportes, identificando que há pouco consenso sobre seu significado, embora esta questão seja objeto de preocupação para os urbanistas desde a década de 1960. Segundo o autor, apesar da variedade de termos utilizados, os mais comuns são “community severance” e “barrier effect”. A partir destes conceitos, ele propõe a seguinte definição:

A separação da comunidade relacionada ao transporte é o impacto negativo variável e cumulativo da presença de infraestrutura de transporte ou tráfego motorizado nas percepções, comportamento e bem-estar das pessoas que usam as áreas circundantes ou precisam fazer viagens ao longo ou nessa infraestrutura ou tráfego (Anciaes, 2015, p. 4, tradução nossa).

O conceito proposto é intencionalmente amplo por considerar os impactos de todos os elementos do sistema de transporte e em todos os usuários da área com necessidade de percorrer ou atravessar a barreira, levando em conta ainda as diferentes necessidades destes indivíduos. Além disso, estes impactos podem alcançar os campos da percepção, comportamento e o bem-estar dos afetados, o que inclui os efeitos da barreira como um limite para os bairros fictícios e os impactos mais amplos de viagens suprimidas, riscos a pedestres e efeitos ambientais na saúde individual e nas relações sociais (Anciaes, 2015).

Apesar da definição mais ampla, Anciaes (2015) identificou que quase não há muitos estudos sobre o efeito barreira provocado por outras infraestruturas de transporte além de rodovias (como as ferrovias) ou de outros meios de transporte afetados que não sejam caminhadas (como o ciclismo).

Foi identificado, ainda, que o efeito barreira pode estar relacionado tanto a novos projetos de sistemas de transportes, quanto a infraestruturas existentes. Este é o caso de comunidades que cresceram em torno de uma rodovia ou linha férrea existente, onde a facilidade de transporte pode servir como uma barreira que impede a criação de conexões entre pessoas e lugares, mas efetivamente não foram cortadas conexões físicas, porque elas não existiam na época em que foi construída a infraestrutura (Hand, 2003, *apud* Anciaes, 2015, p. 9). Este parece ser o caso de muitas cidades que se desenvolveram a partir das ferrovias, como apontado por Da Luz (2007) na seção anterior.

Outra manifestação do efeito barreira é quando as pessoas têm de esperar (nos semáforos, cruzamentos ou portões de passagem ferroviária, por exemplo) e, portanto, perdem tempo. Essas perdas de tempo podem ser consideradas como externalidades negativas dos transportes (CE Delft *et al.*, 2011, *apud* Anciaes, 2015, p. 10).

James *et al.* (2005) classificaram estas barreiras ao movimento provocadas pelos sistemas de transportes em três tipos principais. As “barreiras físicas” são aquelas causadas principalmente pela infraestrutura de transporte, como estradas ou linhas ferroviárias, que dividem ou segregam a comunidade e impedem o acesso através da divisão. Estas barreiras, contudo, podem se apresentar de outras formas, como a falta de pontos de passagem ou abrigos seguros para as pessoas permanecerem enquanto atravessam estradas, a falta de caminhos pedonais ou ciclovias e até mesmo o volume e a velocidade do tráfego podem ser considerados como uma barreira física para os pedestres que tentam atravessar uma via.

Já as “barreiras psicológicas” são causadas, sobretudo, por medo em relação à segurança viária, levando as pessoas a não atravessarem nos pontos planejados; aceitabilidade de medidas de mitigação em desnível, como por exemplo, viadutos e passarelas, por riscos de segurança pública; aceitabilidade de todos os tipos de medidas de mitigação em relação ao seu alinhamento com as 'linhas de desejo' das pessoas; e, por fim, pela percepção das pessoas de horizontes de viagem limitados (James *et al.*, 2005).

As “barreiras de acessibilidade”, por sua vez, se referem à capacidade das pessoas de superar as barreiras físicas/psicológicas para alcançar serviços essenciais como emprego, educação e saúde. Elas levam em consideração, por exemplo, a acessibilidade física das medidas de mitigação (seja devido ao seu projeto estrutural ou má manutenção); a acessibilidade do uso do carro e do transporte público para superar as barreiras físicas/psicológicas; a disponibilidade de paradas e seu acesso físico nos serviços de transporte

público; bem como a disponibilidade de informações de viagens sobre o transporte público que possam ajudar a transpor estas barreiras (James *et al.*, 2005).

Embora corroborem com Anciaes (2015) ao afirmar que a maioria dos estudos sobre o efeito barreira se concentre nos impactos das rodovias, James *et al.* (2005) identificaram que as ferrovias são mais frequentemente associadas como causa de separação justamente nestes casos em que as medidas de mitigação planejadas para travessia das linhas foram consideradas uma barreira para movimento. Isso ocorreu, principalmente, devido ao design inadequado da estrutura, tornando-a inacessível para pessoas com restrições de mobilidade física.

Quanto aos indivíduos afetados pelo efeito barreira, James *et al.* (2005) identificaram ainda que os grupos mais vulneráveis foram de pessoas sem acesso a carro, especialmente crianças, idosos e pessoas com mobilidade restrita. Outra característica do efeito barreira, segundo os autores, é sua natureza mutável, pois podem variar, por exemplo, com a hora do dia, caso das rodovias onde os congestionamentos no período diurno incomodam os moradores nas proximidades, ao passo que o vazio das estradas à noite permite que os motoristas acelerem, gerando distúrbios de ruído alto.

Analogamente, no caso das ferrovias, a variação da frequência de circulação de trens, de acordo com a sazonalidade dos fluxos dos produtos transportados, também poderia provocar estas diferenças na percepção do efeito barreira provocado por elas. Por outro lado, a reação das cidades, restringindo horários de circulação de trens de carga, como identificado por Da Luz (2007), também pode ser entendido como uma tentativa de mitigação do efeito barreira relacionado à poluição sonora.

Por fim, para permitir a mitigação de seus impactos, James *et al.* (2005) ressaltam a importância de identificar o efeito barreira nas comunidades, tanto na implantação de novas infraestruturas de transportes, quanto naquelas existentes, por meio do planejamento de acessibilidade, avaliação do esquema de transporte e avaliação ambiental.

2.2.2 Medidas mitigadoras e oportunidades

De acordo com Da Luz (2007), a ferrovia envolta pelos centros urbanos que ajudou a desenvolver é, paradoxalmente, rejeitada pelos mesmos e o desafio que se apresenta só parece ter duas vertentes: encarar as ferrovias que cortam as cidades como uma oportunidade para um futuro mais organizado ou erradicá-la de vez para resolver, momentaneamente, seus problemas de circulação. Diante disso, nesta seção, serão mostradas, embora de forma não exaustiva, medidas que vêm sendo adotadas principalmente no Brasil para minimizar os conflitos urbanos da ferrovia e oportunidades advindas da presença desta infraestrutura nas cidades.

Ao mesmo tempo em que a presença das ferrovias gera incômodos nas cidades, a pressão imposta pela contínua e inesgotável demanda por expansão das malhas rodoviárias interurbanas e locais faz nascer e proliferar as passagens em nível, símbolos dos transtornos, dos atrasos, dos acidentes e morte (Da Luz, 2007). Daí decorrem os maiores incômodos e riscos à segurança das comunidades lindeiras à via férrea, interferindo na condição de ir e vir dos centros urbanos. Por outro lado, o excesso de passagens em nível causa grandes prejuízos ao transporte ferroviário, principalmente por causa dos acidentes e da necessidade de redução de velocidade dos trens nas travessias das áreas urbanas pelos riscos de segurança, gerando redução de produtividade e, conseqüentemente, das condições competitivas do setor ferroviário e dos produtos brasileiros (Castorino, 2014).

Diante deste cenário, os maiores esforços para mitigação de conflitos urbanos das ferrovias se concentram na eliminação ou na melhoria da segurança destes pontos onde as vias urbanas interagem com a infraestrutura ferroviária. No entanto, a solução ideal é projetar o perigo dessa interação ferrovia-rodovia, ou seja, a separação de nível.

No Brasil, as travessias das linhas férreas não podem ser impedidas, mas deveriam ser permitidas preferencialmente em níveis diferentes, devendo as passagens em nível existentes serem gradativamente eliminadas (Brasil, 1996).

Assim, as soluções comumente apontadas para mitigação de conflitos urbanos envolvem medidas de engenharia, por meio de obras de transposições (passagem superior ou inferior) ou contornos ferroviários, aliados a medidas complementares para segregação da via férrea como vedações da faixa de domínio ferroviária (Castorino, 2014).

Como muitas vezes a implantação destes projetos exigem investimentos vultosos, são recomendáveis estratégias de priorização apoiadas em metodologias que consideram os riscos potenciais de segurança de cada local.

Neste sentido, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, em consonância com o Ministério dos Transporte, concebeu o Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas – PROSEFER, com foco na expansão dos investimentos em infraestrutura e eliminação de gargalos, para o desenvolvimento sustentável da economia brasileira. O programa foi idealizado com o objetivo de realizar estudos e pesquisas para definir ações e intervenções de melhoria das operações ferroviárias em locais de interferência com áreas urbanas e rodovias, visando à melhoria do conjunto das condições de transporte e mobilidade. Além disso, ele buscou contribuir para a redução dos impactos resultantes de interferências mútuas entre as vias ferroviárias e as vias urbanas, bem como melhorar as

relações de convivência entre a ferrovia e suas comunidades lindeiras, elevando os níveis gerais de segurança e qualidade de vida da população e, ao mesmo tempo, a segurança e desempenho da operação ferroviária (Brasil, 2011).

Para atingir seus objetivos, o PROSEFER percorreu e estudou cerca de 15 mil quilômetros de ferrovias na malha ferroviária concedida ao transporte de carga, que corresponde a 95,5% das cargas ferroviárias movimentadas no país, em dados de 2009. Foram cadastradas 3.375 passagens em nível, sendo 1856 urbanas, das quais cerca de 280 foram classificadas como críticas e prioritárias, sendo 0% delas concentradas em áreas urbanas de maior relevância, predominantemente localizadas na região Sudeste. Entre as diversas ações propostas pelo Programa, destaca-se a eliminação das barreiras existentes, através de obras como sinalização, viadutos, pontes, passagens de pedestres, contornos ferroviários e invasões na faixa ferroviária em áreas urbanas (Brasil, 2011).

No escopo do Programa também foram verificados os problemas operacionais decorrentes de passagens em nível, invasões de faixa de domínio ferroviária e das condições de traçado, detectando os problemas que interferem na segurança da operação ferroviária, bem como verificada a eficiência operacional do transporte de carga e os indicadores de intervenções. Como resultado prático, o estudo gerou um portfólio de soluções para cada um dos corredores ferroviários e para cada município (Brasil, 2011).

Em Castorino (2014) também são relacionados projetos voltados para a mitigação de conflitos urbanos nos principais corredores ferroviários de transporte de carga nacional, hierarquizados de acordo com uma metodologia de priorização de investimentos.

No entanto, tais empreendimentos exigem investimentos vultosos que muitas vezes o poder público não está disposto a suportar.

Diante disso, o setor ferroviário brasileiro está vivenciando um momento de grandes expectativas de investimentos, diante das renovações antecipadas dos contratos de concessão (Miguel, 2020). Esta, portanto, poderá ser uma oportunidade de resolução de problemas históricos relacionados aos conflitos urbanos.

Uma importante consideração sobre as medidas de mitigação dos conflitos urbanos é que eles precisam incluir uma visão de longo prazo, abrangendo questões como manutenção contínua e revisão da eficácia das medidas adotadas, fornecendo evidências para projetos futuros. Além disso, quando uma consulta pública é realizada como parte deste processo de avaliação das medidas de mitigação implantadas, deve-se buscar uma ampla representatividade de grupos sociais, incluindo e ampliando o grupo daqueles que foram identificados como mais vulneráveis (James *et al.*, 2005).

Outra oportunidade que se vislumbra da presença da infraestrutura ferroviária nas cidades é o aproveitamento dos trilhos, das áreas ferroviárias e demais ativos para projetos urbanos, principalmente em trechos ferroviários desativados ou com grande capacidade ociosa. Neste sentido, Da Luz (2007) reflete sobre a opção de muitas cidades que, com a eliminação de serviços ferroviários de passageiros de longa distância e, em muitos casos, também de carga, resolveram erradicar suas linhas férreas, ao invés de considerar os projetos para trilhos como forma de solucionar problemas que passam as cidades, como o da mobilidade urbana. O autor adverte, contudo, que a disponibilidade da infraestrutura, por si mesma, não garante a viabilidade de projetos, que necessitam de estudos detalhados, os quais acabam demonstrando que são necessárias intervenções na ferrovia e no meio urbano. Ele acredita que somente quando os custos financeiros e sociais de se ter uma cidade congestionada e poluída atingem níveis que incomodam é que normalmente se entende serem viáveis as propostas e os projetos para trilhos.

Neste contexto, o recente marco regulatório das ferrovias pode contribuir para fomentar projetos e operações ferroviários de terceiros, com caráter mais local e as cidades que já possuem disponibilidade de infraestrutura ferroviária podem se beneficiar deles.

Por fim, seja para contribuir com a logística urbana, seja para minimizar os problemas de mobilidade das cidades, as infraestruturas ferroviárias nas áreas urbanas têm um potencial a ser explorado para agregar novos valores às cidades.

3 OS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS

Este tópico abordará a problemática dos atropelamentos ferroviários, caracterizando as passagens em nível que são locais sensíveis a riscos de acidentes desta natureza, relacionando os fatores contribuintes identificados na literatura, bem como as medidas de prevenção que estão sendo propostas.

3.1 PASSAGENS EM NÍVEL

As passagens em nível são interseções complexas onde o sistema ferroviário e rodoviário convergem. A regra geral nesses cruzamentos é que os usuários da estrada podem cruzar os trilhos quando for seguro fazê-lo, ou seja, na ausência de um trem se aproximando (Stefanova *et al.*, 2015). Isto porque existem importantes restrições que operam no funcionamento do trem. De particular influência é a interface entre a roda do trem e o trilho que restringe a capacidade de frenagem e sua aceleração. Além disso, os trens não podem se desviar lateralmente dos trilhos. Dadas essas restrições, em uma situação de emergência, como um veículo ou pedestre na via quando o trem está se aproximando, os maquinistas geralmente não podem tomar medidas evasivas por meio de frenagens bruscas ou desvio, de modo a evitar uma colisão. Esta limitação e o fato de uma passagem em nível ser uma propriedade ferroviária, sobre a qual os usuários da estrada têm apenas permissão para atravessar, são razões subjacentes à legislação e às regras que dão prioridade aos comboios ferroviários (Read *et al.*, 2016).

Os usuários das passagens em nível são aqueles que trafegam pelas estradas que cruzam a linha férrea, ou seja, motoristas, ciclistas, motociclistas e pedestres. Na literatura, os pedestres também podem ser alternativamente chamados de 'não motoristas' ou 'usuários não motorizados', incluindo neste grupo os pedestres empurrando carrinho de bebê, ciclistas (na bicicleta, embora neste caso possam utilizar a estrada, ou fora de sua bicicleta), usuários em patins, em cadeira de rodas, em skates, patinetes ou até mesmo em cavalos. De forma geral, estes são os indivíduos que circulam pela calçada anexa de uma passagem em nível rodoferroviária ou atravessam a ferrovia por uma passagem dedicada de pedestres (Metaxatos e Sriraj, 2013).

Quanto aos tipos de sinalização, as passagens em nível são divididas em passivas ou ativas. As primeiras empregam controle estático composto por sinais de trânsito de parada e indicações para informar aos usuários que uma travessia ferroviária está presente, mas não fornece nenhuma indicação se um trem está se aproximando, confiando no usuário para perceber e obedecer. As travessias ativas, por outro lado, fornecem avisos aos motoristas e

pedestres quando os trens se aproximam, geralmente por meio de luzes piscantes e campainhas, combinados ou não com barreiras físicas como portões ou cancelas (Larue *et al.*, 2018).

Considerando que o objetivo principal do desempenho das passagens em nível é garantir a segurança dos usuários da estrada na travessia dos trilhos (Stefanova *et al.*, 2015), a abordagem de hierarquia de controles amplamente aceita baseia-se no gerenciamento dos riscos envolvidos em cada cruzamento (Larue *et al.*, 2018). Nesta lógica, as passagens em nível em ambientes rodoviários de alto tráfego, dentre outros parâmetros, deveriam ser ativamente protegidas. As passagens em nível passivas na Inglaterra, por exemplo, estão praticamente restritas ao uso particular, em estradas com fluxo médio de até 4 veículos diários ou caminhos pedonais e, por isso, apesar de muito mais numerosas, elas têm baixo número absoluto de acidentes fatais (Evans, 2011).

Os tipos de controles que utilizam barreiras físicas, como as cancelas automáticas, geralmente são considerados os mais eficazes na minimização de colisões (Larue *et al.*, 2018). Contudo, mesmo equipadas com elas, ainda ocorrem acidentes nas passagens em nível (Read *et al.*, 2016). Os controles ativos mais comumente empregados variam de acordo com os níveis de segurança oferecidos e com a regulamentação de cada país. Evans e Hughes (2019), por exemplo, relatam que na Inglaterra as PNs ativas podem ser controladas por ferrovias ou serem automáticas. Nas primeiras, a abertura e o fechamento da passagem para a ferrovia ou para a estrada são controlados por um guarda, que é membro do pessoal ferroviário, e a operação da passagem é quase sempre interligada com a sinalização ferroviária, de modo que não é possível liberar os sinais para o trem até que a passagem se prove fechada aos usuários da estrada. Os cruzamentos modernos controlados por ferrovias têm cancelas operadas pelo guarda ou remotamente, por meio de circuito fechado de TV (CFTV). Já nas travessias automáticas, a passagem do próprio trem ativa e desativa o sistema de proteção da PN, por meio de sensores localizados na via antes e depois do cruzamento, ou seja, a operação ocorre sem a intervenção do pessoal ferroviário. Os autores observaram que, embora as PNs controladas por ferrovia tenham melhor desempenho de segurança, elas provocam mais atrasos para os usuários das estradas

Um desenvolvimento recente são os cruzamentos com detectores de obstáculos. Na aproximação de um trem, eles verificam a travessia em busca de obstáculos de maneira semelhante à equipe que verifica a travessia por meio de CFTV. Mais uma vez, os sinais ferroviários não podem ser liberados para um trem, até que os detectores de obstáculos informem que a passagem está livre (Evans e Hughes, 2019).

Contudo, de acordo com Larue *et al.* (2018), a solução ideal para reduzir o potencial de colisão das passagens em nível é projetar o perigo da interação ferrovia-rodovia, ou seja, a separação de nível.

A Network Rail, órgão que detém e gere a infraestrutura da maior parte da rede ferroviária da Grã-Bretanha, tem uma política de fechamento de passagens de nível quando possível, e não de abertura de novas. Evans e Hughes (2019) constataram que, entre 2003 e 2017, o número de passagens em nível controladas por ferrovias caiu 5%, as automáticas caíram 8%, as rodoviárias passivas 45% e de pedestres passivas 18%. Eles concluem que essas mudanças refletem o custo relativo e o esforço necessário para fechar cruzamentos de diferentes tipos. As travessias controladas por ferrovias e automáticas são geralmente em vias públicas e muitas vezes movimentadas. Seu fechamento pode exigir a substituição por uma passagem superior ou inferior e talvez o redesenho da rede viária local. Por outro lado, as travessias de veículos passivas na Inglaterra são tipicamente em estradas agrícolas e privadas, o que significa que podem ter pouco ou nenhum uso e, portanto, podem ser fechadas por negociação entre a Network Rail e o(s) usuário(s). No entanto, os autores observaram que, mesmo após o fechamento de 1.766 travessias passivas de veículos entre 2003 e 2017, 62% do restante ainda é descrito como de uso pouco frequente. As travessias de pedestres passivas são de vários tipos: algumas são movimentadas e precisam ser substituídas por passarelas ou passagens subterrâneas, outras têm pouco uso.

O fechamento das passagens em nível, no entanto, envolve o redesenho da rede rodoviária, a instalação de passagens superiores ou inferiores e pode custar milhões por travessia, um custo muitas vezes visto como altamente desproporcional ao risco. Consequentemente, a estratégia atual para minimizar o potencial de colisão adotada em muitas partes do mundo, como na Austrália e na Europa, é atualizar gradualmente o maior número possível de passagens passivas para proteção ativa, particularmente quando a separação de níveis é inviável. Mas como o custo da modernização das passagens em nível e o número delas também são muito altos, apenas um número limitado é tratado a cada ano (Larue *et al.*, 2018).

Assim, para estimar a exposição ao risco nas passagens em nível e para apoiar as decisões sobre quais delas devem ser atualizadas prioritariamente, de acordo com seu risco comparativo de segurança, foram desenvolvidos vários modelos matemáticos, dentre eles, o Modelo Australiano de Avaliação de Passagens de Nível -ALCAM, o All Level Crossing Risk Model -ALCRM, da Rail Safety and Standards Board, para o Reino Unido (Metaxatos e Sriraj, 2013) e a Fórmula de Previsão de Acidentes do Departamento de Transportes dos EUA (USDOT) (Larue *et al.*, 2018).

Geralmente, as passagens em nível rodoferroviárias (ou apenas rodoviárias) podem ser usadas por veículos e pedestres, mas outras são abertas apenas para pedestres (e ciclistas) (Evans e Hughes, 2019). Em todas elas, contudo, são recomendadas intervenções de engenharia para que o pedestre negocie a travessia com segurança. Na Austrália, por exemplo, são comuns os portões automatizados para pedestres, além de outras soluções de engenharia. No entanto, Stefanova *et al.* (2015) observam que, apesar de tais medidas, ainda ocorrem colisões com pedestres nestas passagens em nível. As medidas de segurança voltadas para pedestres nos projetos de passagens em nível serão mais exploradas adiante.

Um grande problema de segurança, no entanto, ocorre quando a população sente a necessidade de realizar deslocamentos mais curtos entre os dois lados da linha férrea, e não apresenta acesso para fazê-lo, criando passagens em nível clandestinas - PCs, que, na prática, representam uma invasão na área da ferrovia. Esses caminhos clandestinos não oferecem segurança, por não serem adequadamente sinalizados e, muitas vezes, não possuem condições técnicas adequadas para travessia, como visibilidade mínima, gerando riscos de acidentes graves (De Abreu, 2019).

Em suma, mesmo amplamente sinalizadas e ativamente protegidas, o desempenho das passagens em nível, quanto à ocorrência de acidentes é altamente variável e dinâmico, uma vez que um conjunto de fatores, entre técnicos, ambientais e humanos podem desencadeá-los.

3.2 ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM PASSAGENS EM NÍVEL

Acidentes ferroviários são definidos como ocorrências que, com a participação direta de veículo ferroviário, provocam danos a este, a pessoas, a bens materiais, ao meio ambiente e, desde que ocorra paralisação do tráfego, a animais (Brasil, 2020).

Existem diferentes tipos de acidentes ferroviários: descarrilamento (quando ocorre saída de roda de veículo ferroviário de cima do boleto dos trilhos); colisão (entre veículos ferroviários ou entre estes e um animal ou outros obstáculos); abalroamento (choque entres veículos ferroviários e veículos não ferroviários); atropelamento (choque entre veículos ferroviários e pedestres); incêndio, na ocorrência de fogo em material rodante; e outros, por exemplo colapso estrutural de infraestruturas como taludes, pontes, túneis (Fernandes *et al.*, 2017 e Brasil, 2020).

A Resolução ANTT nº 5.902/2020 (Brasil, 2020) que trata da comunicação e dos registros de acidentes ferroviários ocorridos na malha concedida, passou a distinguir os atropelamentos e abalroamentos ocorridos em passagens em nível daqueles ocorridos fora delas. Segundo Miguel (2020), esse é um ponto importante do novo regulamento, uma vez que

os cruzamentos em nível entre a ferrovia e as vias rodoviárias são pontos críticos e devem seguir normas específicas editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas -ABNT.

Apesar de ser o tipo de acidente mais específico quanto à gênese (Fernandes *et al.*, 2017), os atropelamentos ferroviários requerem definições complementares para seu enquadramento. Em muitos países, os registros de ocorrências ferroviárias envolvendo pedestres estabelecem uma distinção entre acidentais, não acidentais e indefinidos. Os eventos não acidentais são os suicídios que, a despeito de terem impacto muito negativo na ferrovia e na sociedade, por serem atos intencionais, não são tratados como acidentes em muitos países, como os da União Europeia (Miguel, 2020) ou são excluídos de muitos estudos (por exemplo Khattak e Tung, 2015), quando a base de dados permite diferenciá-los. No entanto, há muitos estudos na literatura voltados especificamente para os suicídios ferroviários (por exemplo Rådbo *et al.*, 2005; Silla e Luoma, 2012; Havârneanu *et al.*, 2015). Já no Brasil, não se prevê essa separação, de modo que um suicídio é contabilizado como atropelamento (Miguel, 2020). Ocorre que nem sempre é fácil determinar se as mortes nos sistemas ferroviários são acidentais ou não, pois em muitos casos as informações necessárias para uma classificação definitiva não são suficientes (Silla e Luoma, 2009). Além do que, implicações sociais, legais, financeiras e éticas também levam à dificuldade em identificar o suicídio ferroviário como uma causa de fatalidade (Lobb, 2006).

Outro critério utilizado para classificação de atropelamentos ferroviários no mencionado regulamento brasileiro (Brasil, 2020), é a exclusão dos casos de choque entre veículo ferroviário e cadáver, desde que o laudo de necropsia emitido pelo Instituto Médico Legal, ou outra instituição de mesma competência, ateste o falecimento anterior ao evento. Trata-se da prática da “desova de corpos” nas linhas férreas, fenômeno que parece refletir as tristes estatísticas nacionais de violência urbana.

Ainda quanto aos acidentes ferroviários envolvendo pedestres, a literatura trata também de um grupo de ocorrências denominado acidentes de invasão, acidentes de não cruzamento ou acidentes sem travessia. Eles se referem aos acidentes ocorridos quando pedestres ou ciclistas invadem a faixa de domínio ferroviária, caminhando ou realizando outras ações, sem permissão, ao longo das linhas ou atravessando em locais que não sejam uma passagem em nível designada (Wang *et al.*, 2016 e Zhang *et al.*, 2018), ou seja, em uma passagem em nível clandestina.

Feitas tais considerações, ocorre que, entre abalroamentos e atropelamentos, as colisões em passagens em nível são, em todo o mundo, os tipos de acidentes ferroviários responsáveis pela maioria das lesões e mortes (excluindo suicídios): 31% nos EUA em 2015, 26% na União

Europeia entre 2012 e 2014; 31% na Austrália entre 2002 e 2012; 43,5% na Índia entre 2009 e 2015; e 95% na Coreia do Sul de 1998 a 2002 (Larue *et al.*, 2018).

Evans (2011) investigou acidentes fatais e fatalidades em passagens em nível na Inglaterra durante o período de 64 anos, entre 1946 e 2009. Ele constatou que o número de acidentes fatais e vítimas fatais por ano diminuiu cerca de 65% na primeira metade desse período, mas desde então se manteve mais ou menos constante em cerca de 11 acidentes fatais e 12 vítimas fatais por ano. Ao mesmo tempo, outros tipos de fatalidades ferroviárias diminuíram, de modo que as passagens em nível estão se tornando mais proeminentes e representam uma proporção crescente do total. Assim, a média de 42,6 mortes em passagens em nível por ano, no período de 1946-1950, representou 11% de todas as mortes nas ferrovias (excluindo invasores e suicídios), mas a média de 10,8 mortes em passagens de nível por ano, no período de 2006-2009, representou 46% de todas as mortes nas ferrovias. Ressalte-se que cerca de 60% das mortes nas passagens em nível em todo o período investigado foram de pedestres.

Na Austrália, no período de dez anos, entre 2000 e 2009, ocorreram 695 colisões entre veículos rodoviários e trens em passagens em nível. Noventa e sete mortes resultaram dessas colisões, representando aproximadamente 30% das fatalidades ferroviárias durante esse período. Pedestres foram atingidos por trens em 98 acidentes de passagens em nível em um período semelhante (Read *et al.*, 2013). Embora o número de colisões tenha diminuído no país, as estatísticas mostram que o número de mortes e ferimentos graves em passagens em nível está de fato estagnado (Australian Transport Safety Bureau, 2012, *apud* Larue *et al.*, 2018).

De acordo Miguel (2020), o Brasil apresenta índices preocupantes de acidentes ferroviários na malha concedida. No período de 2011 a 2019 ocorreram, em média, 845 acidentes ferroviários por ano, com 216 feridos graves e 105 mortes. Ele observou alguma tendência de redução do número de acidentes, porém, o número de vítimas fatais e não fatais permanece oscilando em patamares altos. Além disso, o Brasil apresenta índices relativos de acidentes na ordem de 10 a 20 vezes maiores que os da União Europeia. No ano de 2018, por exemplo, foi calculado um índice 17,80 acidentes por milhão de trem x km enquanto na União Europeia este índice foi de 1,34 acidentes (incluindo suicídios) por milhão de trem x km. Contudo, não foram encontrados estudos com estatísticas brasileiras de acidentes especificamente em passagens em nível.

Por fim, para além dos custos humanos e sociais, as colisões em passagens em nível incorrem em custos econômicos significativos, pois prejudicam a operação e a eficácia do

transporte ferroviário e rodoviário e geram grandes despesas, devido aos danos à propriedade da ferrovia, pagamentos de seguros e taxas legais, dentre outros (Lobb, 2006). Na Austrália, por exemplo, o custo das colisões nas passagens em nível foi estimado em mais de AUD \$116 milhões (o equivalente a quase 420 milhões de reais), anualmente (Tooth e Balmford, 2010 *apud* Read *et al.*, 2021). Deve-se considerar ainda que, com o número crescente de veículos de carga mais longos e pesados usando a rede rodoviária, juntamente com eventual aumento dos serviços ferroviários, velocidade e comprimento dos trens, o potencial catastrófico de acidentes de colisões em passagens em nível pode estar aumentando (Read *et al.*, 2013).

3.3 ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVOLVENDO PEDESTRES

As colisões entre trens e pedestres demonstraram ser a principal causa de fatalidade dentre os acidentes ferroviários em todo o mundo (Lobb *et al.*, 2003; Evans, 2003). Nos Estados Unidos, por exemplo, as mortes devido a colisões entre trens e pedestres representaram cerca de quatro em cada cinco mortes relacionadas à ferrovia (79,8%), durante o período de 2012 a 2014 (Savage, 2016 *apud* Zhao *et al.*, 2019).

Ocorre que, devido à disparidade de massa entre o trem e a vítima, o impacto das colisões geralmente é extenso, podendo levar a cenas traumáticas. Assim, embora os atropelamentos ferroviários sejam menos comuns do que outras formas de acidentes de pedestres, como os atropelamentos rodoviários, eles são mais propensos a resultar em morte ou em danos irreparáveis, como amputação ou paralisia (Goldberg *et al.*, 1998; Evans, 2003). Nos Estados Unidos, por exemplo, um estudo constatou que em 2013, aproximadamente 7% do total de atropelamentos relatados em rodovias resultou em mortes, enquanto no mesmo ano, segundo dados da Administração Ferroviária dos Estados Unidos (FRA), aproximadamente 65% das colisões trens-pedestres em passagens em nível foram fatais (Zhao *et al.*, 2019).

Assim, dentro dos sistemas das passagens em nível, os estudos revelam que os pedestres são os usuários mais vulneráveis. Evans e Hughes (2019) estimaram que os pedestres nas travessias passivas na Inglaterra têm uma taxa de fatalidade cerca de três vezes maior que a de motoristas em cruzamentos controlados por ferrovias.

Aliado ao potencial de fatalidade, as estatísticas australianas sugerem que o número de colisões entre trens e veículos diminuiu sensivelmente nas últimas décadas, enquanto não houve uma mudança significativa no número de colisões com pedestres (Stefanova *et al.*, 2015).

Nos Estados Unidos, ao contrário do número decrescente de mortes devido a colisões entre trens e veículos nas passagens em nível, o número de mortes de não-motoristas nestes cruzamentos aumentou. De acordo com Metaxatos e Sriraj (2013), entre 2003 e 2014, os

incidentes nas passagens em nível rodoferroviárias diminuíram 49%. No entanto, no mesmo período, o número de mortes de pedestres aumentou 48%.

As colisões entre veículos ferroviários e pedestres não são apenas mais propensas a resultar em ferimentos graves e consequências fatais para as vítimas, mas também estão relacionadas a sérios custos econômicos a curto e longo prazo (Stefanova *et al.*, 2015).

Alguns estudos tentaram mostrar que os atropelamentos ferroviários são mais prováveis de ocorrer enquanto o pedestre está invadindo o corredor ferroviário, ou seja, nos acidentes de invasão descritos na seção anterior (por exemplo Cina *et al.*, 1994; Silla e Luoma, 2012; Wang *et al.*, 2016). Dessa forma, eles argumentam que a invasão é uma das questões de segurança ferroviária mais importantes, apesar de ter recebido menos atenção em comparação com os acidentes em passagens em nível oficiais (Wang *et al.*, 2016).

Embora geralmente a invasão seja ilegal, caminhos claros e usados regularmente sobre a linha férrea podem ser encontrados em muitos lugares, e, portanto, é razoável supor que é um fenômeno frequente (Silla e Luoma, 2009). Entrevistas com invasores mostraram que o principal motivo para cruzarem os trilhos da ferrovia em locais impróprios ou circularem ao longo das linhas férreas de forma irregular (e ilegal) é tomar o caminho mais curto ou mais conveniente, ou seja, o atalho. Eles relataram ainda que a rota segura e legal através de uma passarela levava mais tempo e esforço e, portanto, decidiram invadir (Lobb *et al.*, 2001; Silla e Luoma, 2012; Wang *et al.*, 2016).

Silla e Luoma (2012) constataram que, das mortes causadas por acidentes ferroviários na Finlândia entre 2004 e 2006, excluídos os usuários das estradas, os passageiros ferroviários e o pessoal ferroviário, 68% das vítimas eram invasores. Se forem considerados ainda os acidentes intencionais (suicídios), esta proporção passa para 87% dos acidentes ferroviários entre trens e pedestres. Os autores observam que a Finlândia não é o único país onde uma proporção tão alta de pessoas mortas em acidentes ferroviários é de invasores. Evans (2003) relatou que na Inglaterra, três vezes mais invasores foram mortos durante o período pesquisado do que passageiros, trabalhadores ferroviários ou pedestres em cruzamentos legais juntos.

De acordo com Havârneanu *et al.* (2015) todos os anos, ocorrem cerca de 3.000 suicídios e 800 acidentes de invasão nas ferrovias da União Europeia, representando 88% de todas as mortes no sistema ferroviário, o que significa que estes eventos somados apresentam maior frequência em relação a todas as ocorrências fatais do sistema ferroviário e têm um impacto negativo na sociedade e nos operadores ferroviários.

Um relatório da FRA constatou que 242 mortes foram determinadas como suicídios em 2012 nos Estados Unidos, em comparação com 429 mortes de invasores (não-suicídios) e 232 mortes em passagens em nível. Isso representa 26,7% de todas as fatalidades em vias férreas americanas classificadas como suicídios, mas o estudo ainda relata que esta porcentagem pode chegar a 35% (Havârneanu *et al.*, 2015).

Dessa forma, além das invasões, estudos apontaram intenções suicidas como um dos principais motivos dos atropelamentos.

De todo modo, intencionais ou não, em travessias regulamentadas ou em invasões, as colisões entre trens e pedestres, além da perda humana, causam trauma e estresse relacionado ao trabalho para a equipe ferroviária, especialmente maquinistas (Rådbo *et al.*, 2005). Além disso, existem os custos médicos, de investigação, de administração de seguros e de procedimentos legais, bem como os custos indiretos, como perda de tempo e atrasos. Quando uma pessoa é atropelada por um trem, o tempo de interrupção do tráfego pode variar de 30 minutos no Japão, a cerca de 2 horas na maioria dos países da União Europeia (Havarneanu *et al.*, 2015).

Por fim, apesar do maior potencial das colisões entre trens e pedestres resultarem em fatalidades, os acidentes rodoferroviários têm sido muito mais estudados (Lobb, 2006), em que pese o interesse crescente da literatura pelo tema (De Abreu, 2019).

3.4 PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A OCORRÊNCIA DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS

As colisões em passagens em nível ocorrem a partir de um colapso na interação complexa entre fatores humanos sistêmicos, equipamentos e ambientais (Larue *et al.*, 2018).

As passagens em nível podem ser consideradas um ambiente complexo e dinâmico que compreende as infraestruturas rodoviárias e ferroviárias e os atores envolvidos em ambos os sistemas, onde as restrições de segurança estão sujeitas à variabilidade e são altamente dependentes do sistema maior e das especificidades do contexto de travessia.

Neste sentido, estudos recentes têm apontado as vantagens de investigar interações simultâneas entre múltiplos fatores de riscos contribuintes para os acidentes ferroviários e os comportamentos inseguros que ocorrem dentro deste sistema, ao invés de considerar a contribuição de fatores isolados (Stefanova *et al.*, 2015). Portanto, seria benéfico examinar os riscos de segurança nas passagens em nível usando uma perspectiva sistêmica (Larue *et al.*, 2018).

A seguir são descritos os principais fatores identificados na literatura que foram relacionados a uma maior propensão de causar ou agravar os atropelamentos ferroviários, independentemente de terem sido pesquisadas suas significâncias estatísticas.

3.4.1 Fatores humanos

Há pouca dúvida de que o erro humano contribui para a maioria dos incidentes e acidentes que ocorrem em sistemas complexos, incluindo o sistema ferroviário (Baysari *et al.*, 2008). Os fatores humanos que contribuem para a ocorrência de acidentes estão relacionados às características dos usuários e seus comportamentos.

Dentre os estudos epidemiológicos, destaca-se o de Cina *et al.* (1994), que mapearam os acidentes e as mortes envolvendo atropelamentos ferroviários, durante um período de 11 anos (1982-1992), na Carolina do Sul, nos Estados Unidos. Os autores identificaram que as vítimas eram predominantemente saudáveis, jovens e do sexo masculino, características também constatadas no estudo de Pelletier (1997). Além disso, um total de 60% dos casos envolveu pessoas que provavelmente estavam sentadas ou deitadas nos trilhos do trem e 80% dos casos envolveu pedestres com elevado teor alcoólico no sangue. Isto sugere que a análise toxicológica é essencial para discriminar o suicídio do acidente não intencional provocado pela incapacitação induzida pelo álcool (De Abreu, 2020).

Alguns estudos concluíram que pedestres com idade entre 20 e 49 anos estão mais propensos a sofrerem acidentes (Pelletier, 1997). Contudo, outros estudos apontaram faixas etárias de risco diferentes, por exemplo, Lobb *et al.* (2003), que mostraram que 50% das mortes de pedestres relacionadas a trens e 40% das lesões no período de um ano na Nova Zelândia envolveram pessoas com idade entre 10 e 19 anos. Quanto às fatalidades relacionadas a suicídios, jovens entre 20 e 59 anos foram indicados como o grupo estatisticamente mais frequente (Rådbo *et al.*, 2005; Silla e Luoma, 2012), em que pese variações da faixa etária adotada nos estudos

Quanto às características socioeconômicas das vítimas, Pelletier (1997) relatou que as mortes de invasores geralmente envolviam homens solteiros, de baixa renda e com menos de ensino médio. Ele também apontou o problema da intoxicação por álcool, constatada em 82% das mortes.

Dessa forma, de longe, a descoberta mais forte até agora quanto ao perfil das vítimas diz respeito ao papel do álcool nas colisões entre trens e pedestres. Quase todos que mediram

os níveis de álcool no sangue dos mortos ou feridos nesses acidentes, descobriram que uma alta proporção de vítimas estava intoxicada (Lobb, 2006).

Investigações internacionais têm mostrado consistentemente que a principal causa de colisões em passagens em nível é o motorista do veículo ou o pedestre, por meio de lapsos, erros e violações (Larue *et al.*, 2018). Assim, estes acidentes têm como precursores os comportamentos inseguros, que podem ser não intencionais, devido a erros de percepção, conhecimento ou julgamento; ou podem ser consequência de violações deliberadas, como suicídio e invasões (atravessar ou percorrer trilhos em locais não designados para chegar a algum lugar, deitar-se ou sentar-se em trilhos para descansar ou socializar ou busca de emoção) (Lobb, 2006). Em todos esses casos, como já relatado, a probabilidade de comportamento inseguro parece ser exacerbada pela intoxicação alcoólica (Pelletier, 1997) e ou uso de drogas (Silla e Luoma, 2012). No entanto é importante distinguir entre eles, pois as variáveis pessoais, sociais e ambientais associadas ao comportamento inseguro resultante de violações e erros provavelmente seriam diferentes (Lobb, 2006).

Stefanova *et al.* (2015), para distinguir erros e violações, utiliza a classificação de James Reason de “atos inseguros”, por sua vez baseada na classificação de habilidade, regra e conhecimento de Jens Rasmussen (SRK) (Reason *et al.*, 1990 *apud* Stefanova *et al.*, 2015). Enquanto os erros resultam de falhas em diferentes níveis de processamento de informações (habilidades, regras, níveis de desempenho baseados em conhecimento), eles estão associados a precursores cognitivos. As violações, ao contrário, enfatizam o papel do contexto social na tomada de decisões (por exemplo, normas sociais, regras, procedimentos operacionais) e, portanto, estão associadas a fatores motivacionais que levam a pessoa a se desviar intencionalmente das regras prescritas (Reason *et al.*, 1990 *apud* Stefanova *et al.*, 2015).

Quanto aos tipos de erros, aqueles baseados em habilidades são definidos como ações que não saíram conforme o planejado, em tarefas automáticas de rotina que exigem baixos recursos atencionais. No contexto das passagens em nível, tais erros podem estar associados a distrações internas ou externas relacionadas à percepção, como, por exemplo, não perceber a ativação do sistema de controle da PN. Já os erros baseados em regras e conhecimentos ocorrem no nível mais consciente de seleção de ações, em situações de familiaridade, quando uma pessoa pode aplicar erroneamente uma boa regra (por exemplo, supor que a travessia é segura desde que não haja um trem visível em PNs com proteção ativa) ou aplicar uma regra ruim a uma determinada situação (por exemplo, a travessia é considerada segura desde que um trem tenha passado, mesmo que os portões não estejam abertos). Por último, os erros baseados em conhecimento descrevem falhas relacionadas à falta de informação em situações novas. Assim,

a experiência passada (familiaridade) favorece a formação de atitudes, fortes expectativas ou hábitos passíveis de serem associados a erros baseados em regras/conhecimentos (Stefanova *et al.*, 2015).

Neste contexto, um fenômeno cada vez mais preocupante, são as distrações (erro de percepção) provocados pelo uso de celular e ou fone de ouvido por pedestres nas travessias (ou não travessias) ferroviárias. Estudos já mostraram que o uso de dispositivos móveis durante a travessia altera a vigilância dos pedestres e, portanto, contribui para esses erros (Metaxatos e Sriraj, 2013). Wali *et al.* (2018) usando dados de acidentes de 10 anos (2006-2015) da FRA e aplicando análises de texto de aprendizado de máquina avançado, descobriram que invasores de ferrovias usando fones de ouvido ou falando no celular são mais propensos a sofrer ferimentos fatais.

As violações, aqui também tratadas como transgressões, por outro lado, seriam sustentadas pelo *trade-off* risco/benefício (Reason *et al.*, 1990 *apud* Stefanova *et al.*, 2015). Neste contexto, o comportamento direcionado a metas pode, portanto, explicar a tomada de riscos dos pedestres nos cruzamentos em nível (Stefanova *et al.*, 2015) ou nas invasões. A pressão do tempo e o menor esforço estão frequentemente associados a violações, tanto em cruzamentos, quanto em não cruzamentos (por exemplo Silla e Luoma 2009). Pedestres confrontados com a escolha entre atravessar uma via férrea potencialmente perigosa e gastar mais tempo e esforço usando uma rota alternativa mais segura, como uma passarela, frequentemente escolherão a opção arriscada (Lobb, 2006).

Silla e Luoma (2009) conduziram entrevistas com invasores em ferrovias finlandesas e descobriram que muitos deles consideraram que a invasão é segura quando eles são cuidadosos, mas julgaram o comportamento de outros invasores como arriscado. De fato, pesquisas anteriores mostraram que a crença comum é que somos menos propensos a sofrer eventos negativos do que nossos pares. Esse efeito é chamado de invulnerabilidade ilusória e nos permite correr riscos, pois a crença paradoxal é que “não vai acontecer comigo” (Silla e Luoma 2009).

As transgressões também podem ser explicadas por influências sociais. Alguns autores mostraram que um maior número de pedestres atravessando juntos aumenta a propensão a correr riscos nas passagens em nível (Metaxatos e Sriraj, 2013).

Stefanova *et al.* (2015) observaram, contudo, que as violações deliberadas podem e muitas vezes são sustentadas por precursores de erros. Isto foi observado, por exemplo, em um estudo observacional que demonstrou um efeito significativo da posição do trem nas chances

de transgressão (versus travessia segura), constatando que elas eram maiores se cruzando na frente de um trem que se aproximava em comparação com atrás de um trem em andamento. Tal comportamento pode ser explicado pela falta de visibilidade do trem que se aproxima ou por um viés de percepção (ou seja, um julgamento errado da velocidade do trem ou percepção de que o trem está longe). Esse erro de percepção pode estar relacionado à dificuldade de estimativa da velocidade de grandes objetos em movimento, como trens. De acordo com a teoria de Leibowitz (1985), um trem que se aproxima visível é percebido como se movendo mais devagar que um carro que se aproxima e, portanto, este pode ser um fator que contribui para a baixa percepção de risco dos pedestres (Stefanova *et al.*, 2015).

De forma geral, erros são mais propensos a serem minimizados por meio de retreinamento, auxílios de memória e melhores informações, enquanto as violações são mais propensas a serem reduzidas pela modificação de atitudes, normas, crenças ou cultura de segurança geral (Stefanova *et al.*, 2015). As violações parecem ser mais perigosas e comparativamente mais arriscadas do que os erros. Como já mencionado, alguns estudos revelaram que os atropelamentos ferroviários são mais propensos a envolver transgressores.

Por fim, embora os fatores humanos não sejam o foco dessa dissertação, eles mostraram, ainda que de forma limitada nos estudos (Stefanova *et al.*, 2015), que podem ser moldados por fatores relacionados a características físicas e ambientais (Lobb, 2006), na dinâmica do sistema das travessias ferroviárias.

3.4.2 Fatores ambientais

Tais fatores abrangem as características físicas do ambiente da travessia (por exemplo, número de vias férreas, presença de controles), a área urbana maior (por exemplo, presença de escolas, edifícios industriais e outras informações socioeconômicas do entorno) e até mesmo características temporais do momento de travessia (por exemplo hora do dia, condições meteorológicas) (Stefanova *et al.*, 2015).

Muitos estudos identificaram fatores ambientais que influenciam as colisões entre trens e pedestres, embora nem sempre eles foram estatisticamente correlacionados.

De forma geral, os fatores ambientais contribuintes mais frequentemente identificados na literatura foram: o tipo de dispositivo de segurança/alerta disponibilizado no cruzamento, a presença de trens, a frequência do tráfego ferroviário, a localização da travessia, as condições climáticas e de iluminação e a hora do dia (Read *et al.*, 2021).

O Consenso mais forte é em relação à localização destes acidentes, sendo verificado que eles ocorrem em sua maioria dentro ou perto de uma estação ferroviária, em uma área urbana ou suburbana adensada (Pelletier, 1997; Silla e Luoma 2012).

Em relação às características temporais, Pelletier (1997) relatou que as fatalidades por atropelamentos ferroviários normalmente ocorriam à noite na sexta-feira, sábado e domingo. Rådbo *et al.* (2005) constataram que as colisões trem-pedestre que resultaram em fatalidades na Suécia, entre os anos 2000 e 2002, foram distribuídas uniformemente por meses e dias da semana; no entanto, a maioria dos suicídios ocorreu durante o dia, enquanto os eventos não intencionais geralmente ocorreram à noite. Silla e Luoma (2012) pesquisaram as fatalidades nas ferrovias finlandesas durante o período entre 2005 e 2009 e descobriram que tanto os suicídios quanto os acidentes ocorreram com maior frequência no final da semana, mas nenhum pico específico para época do ano foi encontrado. Os suicídios ocorreram com maior frequência no período entre a tarde e a noite e os acidentes nas horas de pico.

Muitos estudos relataram que a maioria dos atropelamentos ocorreu em vias ferroviárias que não apresentavam uma barreira para restringir o acesso à faixa de domínio ou nos locais onde elas eram frequentemente violadas, ou seja, em passagens em nível clandestinas ou caminhos ao longo da ferrovia (Cina *et al.*, 1994; Pelletier, 1997; Rådbo *et al.*, 2005).

Para além da frequência dos acidentes, alguns estudos relacionaram fatores ambientais à severidade dos eventos. Por exemplo, Zhao *et al.* (2019), usando informações de 8.794 acidentes entre 2004 e 2013 e métodos de modelagem espacial, descobriram que os fatores associados a colisões mais graves entre trens e pedestres (ou seja, colisões fatais), geralmente, incluíam trens de carga, maior velocidade do trem, presença de luzes piscantes, ausência de sinais de alerta avançados, cruzamentos com rodovias rurais, período do dia, escuridão ou madrugada. A velocidade do trem mais alta, de forma consistente, aumentou a gravidade dos ferimentos em pedestres. Eles observaram que, embora a velocidade do trem dependa de muitas outras coisas, reduzi-la nos cruzamentos, quando possível, sem dúvida continua a ser o método mais universalmente aplicável para reduzir a gravidade da lesão. Além da maior velocidade dos trens, as travessias em áreas rurais foram acidentes mais graves do que em áreas urbanas (Zhao *et al.*, 2019).

Khattak e Tung (2015) também já tinham associado as velocidades mais altas dos trens a uma maior probabilidade de mortes de pedestres nas colisões em passagens em nível. Eles acreditam, porém, que diminuir a velocidade dos trens nos cruzamentos (especialmente aqueles com tráfego significativo de pedestres) pode não permitir que os trens parem prontamente, mas

pode proporcionar aos pedestres um momento extra para sair do caminho do perigo. Os autores também constataram que as passagens em nível localizadas em áreas designadas como comerciais foram associadas a mais mortes de pedestres. Neste estudo, foi ainda associado o tempo claro a uma menor probabilidade de fatalidade de pedestres em comparação com condições climáticas adversas.

Para além dos acidentes, constatou-se que fatores ambientais influenciam um grande número de precursores cognitivos do comportamento (erros), como percepção de risco, familiaridade, atitudes e expectativas, mas também precursores motivacionais (violações) (Stefanova *et al.*, 2015). Por exemplo, nos estudos realizados por Stefanova *et al.* (2015), a percepção de risco dos participantes parecia estar associada à verificação do status do portão de pedestres ou à verificação de um trem visível se aproximando. Metaxatos e Sriraj (2013) observaram que as chances de transgressão diminuíram com o maior número de portões de pedestres nas passagens em nível, em comparação com aquelas equipadas com apenas um par de portões de pedestres (ou seja, em um lado da travessia) ou sem portões.

Os estudos sugerem, portanto, que as colisões entre trens e indivíduos e os comportamentos inseguros de pedestres em travessias ferroviárias podem ser reduzidos por modificações ambientais, como dispositivos de alerta e sistemas de proteção.

3.4.3 Fatores organizacionais

Os fatores do nível organizacional estão relacionados a áreas estratégicas como gestão de recursos, ambiente regulatório e legislativo, fiscalização e aplicação de sanções, supervisão organizacional, projetos, recursos humanos (incluindo treinamento de pessoal ferroviário, por exemplo), processos organizacionais, padrões e procedimentos do sistema, gestão de riscos, dentre outros (Baysari *et al.*, 2008).

De acordo com Rasmussen (1997) compreender e abordar como questões sistêmicas a exemplo de pressões econômicas, tomada de decisão organizacional e influências culturais infiltram-se através do sistema para criar as condições para que os acidentes ocorram fornece um importante ponto de alavanca para melhorar a segurança.

Neste sentido, Baysari *et al.* (2008), utilizaram uma estrutura teórica de classificação de fatores para identificar erros associados a acidentes ferroviários na Austrália, baseados em relatórios de investigação de acidentes e incidentes. Eles descobriram que quase todos os incidentes foram associados a pelo menos uma influência organizacional, sugerindo que melhorias no gerenciamento de recursos, clima organizacional e processos organizacionais são críticos para a redução de acidentes e incidentes na Austrália.

O comportamento dos maquinistas neste sistema, por exemplo, é limitado por regras e processos organizacionais. Como funcionários, eles estão sujeitos a procedimentos, monitoramento de desempenho, treinamento profissional etc. (Read *et al.*, 2016).

Contudo, para Stefanova *et al.* (2015), como a maioria das pesquisas sobre segurança nas passagens em nível foram voltadas para seus usuários, um menor número de fatores foi associado ao nível organizacional, sugerindo que seriam benéficos estudos com parceiros do setor ferroviário e especialistas em ferrovias para entender as influências das estruturas governamentais e industriais em cada nível do sistema.

3.5 MEDIDAS DE PREVENÇÃO DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS

O avanço da segurança dos pedestres nas passagens de nível ferroviário é uma questão desafiadora por muitas razões. Os incidentes de travessia de pedestres ocorrem em diferentes configurações, exigindo a coordenação de diferentes partes interessadas com soluções sensíveis ao contexto (Metaxatos e Sriraj, 2013).

As medidas preventivas de segurança descritas nesta seção são as principais intervenções, iniciativas ou políticas identificadas na literatura para reduzir o número de atropelamentos ferroviários ou mitigar suas consequências, sejam eles intencionais ou não, em passagens em nível regulamentadas ou fora delas.

Estas medidas podem ser divididas em dois grandes grupos. As medidas de engenharia incluem todos os artefatos físicos, tecnológicos ou ambientais destinados a evitar colisões entre trens e pedestres, impedindo diretamente os comportamentos de risco ou facilitando a intervenção do pessoal ferroviário. Por outro lado, as medidas comportamentais são medidas influentes, sociais, de fiscalização ou psicológicas, dedicadas a influenciar o conhecimento e as atitudes das pessoas e a exigir ações mais responsáveis e decisões voluntárias para a segurança (Havârneanu *et al.*, 2015).

No geral, medidas de engenharia criam uma primeira linha de defesa contra perigos, bloqueando ou detectando comportamentos de risco, mas podem ser mais eficazes quando complementadas com medidas comportamentais que apontam para a alternativa comportamental correta (Havârneanu *et al.*, 2015).

Para fins deste trabalho, as contramedidas identificadas na literatura serão apresentadas de acordo com a categorização proposta por Havârneanu *et al.* (2015).

3.5.1 Barreiras físicas

As barreiras físicas ou vedações buscam limitar o acesso de pedestres ao corredor ferroviário e são as medidas mais populares contra a transgressão (invasão). Uma grande parte da literatura recomenda cercas em *hotspots* de invasão (previamente identificados), em áreas densamente povoadas, em pontes suicidas e em áreas próximas a hospitais psiquiátricos, embora muitas vezes sem fornecer especificações técnicas (Havârneanu *et al.*, 2015). Maquinistas podem auxiliar na identificação de pontos de invasão habituais (Silla e Luoma, 2009).

Para serem eficazes, as cercas devem ser altas, fortes e longas o suficiente para impedir que sejam contornadas, idealmente, construídas de forma a redirecionar potenciais invasores para uma passagem legal de pedestres. O efeito das cercas pode ser aumentado por outras medidas, por exemplo, com valas profundas em ambos os lados da cerca. Contudo, as soluções devem ser adaptadas aos locais e fatores específicos para tornar as medidas implementadas eficazes (Silla e Luoma, 2009).

Outras opções de vedação para impedir o acesso à ferrovia podem ser utilizadas, como vegetação impenetrável, valas ou encostas. Silla e Luoma (2011) avaliaram a eficácia do paisagismo no comportamento de transgressão em um estudo. Eles removeram o caminho existente ao longo da linha férrea, plantando árvores e arbustos para formar uma cerca natural, implantando grama e decorando as laterais com algumas pedras grandes. O paisagismo tinha aproximadamente 1,5 m de altura e 200 m de comprimento e levou a uma redução de 91,3% no número de invasões.

As contramedidas às vezes vêm com certos problemas, por exemplo, cercas podem estar sujeitas a vandalismo (Wang *et al.*, 2016). Em um estudo, Lobb *et al.* (2001), relatam o problema dos buracos nas cercas feitos repetidamente pela população e utiliza as estratégias de reparação constante com reforço estrutural das partes violadas e, de forma inusitada, aplica manchas com graxa ao redor de alguns buracos para desestimular a invasão.

Assim, além de mapear as passagens irregulares, é importante identificar os trechos onde há permanentemente destruição da vedação, de modo a buscar a melhor solução (utilização de policiamento, por exemplo) para segurança dessas áreas potencialmente perigosas (De Abreu, 2020).

No geral, há uma necessidade de estudar contramedidas eficazes que possam ser direcionadas regionalmente para comportamentos específicos de invasão que apresentam o maior risco (Wang *et al.*, 2016).

3.5.2 Projeto ambiental

A substituição das passagens em nível, oficiais ou clandestinas, por passarelas ou passagens inferiores costumam ser as medidas de engenharia mais recomendadas, embora muitas vezes sejam uma solução limitada por restrições orçamentárias (Silla e Luoma, 2009).

Na pesquisa de Silla e Luoma (2009), o principal fator que determinou as contramedidas sugeridas para combater a transgressão foi a distância até o ponto oficial de travessia mais próximo. Dessa forma, no projeto da passagem superior ou inferior, devem ser consideradas as linhas de desejo dos pedestres e os critérios de conveniência e tempo, de forma desestimular os usuários a usar os caminhos irregulares junto aos trilhos. Para auxiliar nesta tarefa, alguns pesquisadores procuraram calcular fórmulas pelas quais o uso de passagem superior ou inferior pode ser previsto (Moore e Older, 1965 *apud* Lobb, 2006).

Também são necessárias barreiras físicas para impedir que as pessoas atravessem ao nível do solo (Silla e Luoma, 2009). O projeto das passarelas ainda deve incluir rampas de acesso ou elevadores de forma a acomodar as necessidades de pessoas com deficiência, dentre outros requisitos técnicos (Havârneanu *et al.*, 2015).

Embora a eliminação das passagens em nível seja a opção preferida, tratamentos alternativos continuam sendo necessários para reduzir os riscos naquelas que não podem ser removidas, devido às restrições orçamentárias (Larue *et al.*, 2018).

Assim, a operação de segurança das passagens em nível de pedestres restantes deve ser melhorada, garantindo condições físicas adequadas e avisos suficientes, preferencialmente com dispositivos ativos (Havârneanu *et al.*, 2015). O projeto das travessias de pedestres deve atender a parâmetros técnicos gerais e a necessidades locais. Organizações normativas e administrações ferroviárias regionais costumam estabelecer normas ou elaborar manuais com as recomendações técnicas para projetos de passagens em nível, sejam dedicadas (exclusivas) ou rodoviárias.

As passagens em nível de pedestres também podem ser classificadas de acordo com os sistemas de proteção, em ativas ou passivas, conforme mencionado. Nas primeiras, os equipamentos de proteção (por exemplo, luzes vermelhas piscantes, portões) são acionados com a aproximação dos trens, enquanto nas passivas a sinalização não se altera (Stefanova *et al.*, 2015). Portões automáticos de pedestres, são muito utilizados nas áreas de maiores fluxos em muitos países, são considerados os dispositivos mais eficazes para restringir a travessia insegura em maior medida, em comparação com outros controles de segurança. Apesar disso, parece que

as propriedades técnicas dos portões automáticos podem desempenhar um papel crucial para a segurança (Metaxatos e Sriraj, 2013).

Os dispositivos passivos incluem sinais de alerta altamente refletivos e dispositivos de canalização, como diferentes tipos de cercas, portões giratórios e portões em ziguezague ou em “U” (Metaxatos e Sriraj, 2013). Stefanova *et al.* (2015) também mencionam a utilização de direcionadores de fluxo de pedestres através de um corredor cercado por labirintos, em PNs da Austrália.

O sistema das passagens em nível ativas, particularmente, deve fornecer informações suficientes e confiáveis para que o pedestre negocie a travessia com segurança. Tais informações consistem principalmente em: aumentar a conscientização sobre a travessia (por exemplo, sinalização de aproximação da PN); fornecer características físicas adequadas no caminho de travessia; garantir a visibilidade e conscientização dos controles de alerta e sua finalidade; e aumentar a conscientização sobre os perigos potenciais nesses cruzamentos (por exemplo, risco de segundo trem) (Stefanova *et al.*, 2015).

Uma hierarquia de controles de acordo com os riscos de segurança também deve ser considerada para os projetos de passagens de pedestres. De acordo com Metaxatos e Sriraj, (2013) vários fatores devem ser examinados durante a seleção do dispositivo de controle, incluindo: histórico de acidentes, na travessia, se houver, envolvendo pedestres; volumes de pedestres e fluxos de pico, se houver; velocidades dos trens, número de trens e padrões de tráfego ferroviário, se houver; distância de visibilidade disponível aos pedestres que se aproximam da travessia; e ângulo de inclinação, se houver, da travessia em relação aos trilhos da ferrovia.

Read *et al.*, (2016) identificaram ainda algumas possibilidades de intervenções para melhoria da segurança na travessia de pedestres em PNs, dentre elas: medidas para gerenciar o fluxo de tráfego de não motoristas, como marcações de pavimento para indicar faixas de direção de deslocamento, estendidos até as calçadas adjacentes; e mudar o acostamento da estrada de uma superfície asfaltada, que permite que os pedestres se desviem por ela, para uma superfície que seria difícil ou indesejável para os pedestres caminharem, por exemplo uma vala cheia de água.

As propriedades técnicas dos projetos das PNs parecem desempenhar um papel crucial para a segurança (Stefanova *et al.*, 2015), contudo, os pedestres ainda mantêm certa flexibilidade na maneira como podem se aproximar, atravessar e sair da travessia (Read *et al.*, 2016), sendo importante associar as intervenções ambientais com outras medidas como educação e/ou punição.

Apesar da importância de tais medidas, Metaxatos e Sriraj (2013) descobriram, por meio de entrevistas com especialistas ferroviários dos setores público e privado, que melhorias de segurança em passagens de pedestres dedicadas (ou exclusivas) não têm sido priorizadas tão altamente e nem contam com tanta disponibilidade orçamentária quanto aquelas em cruzamentos de rodovia-ferrovia, a menos que os dois tipos de travessias sejam adjacentes. Eles constataram ainda que os critérios para a seleção de dispositivos de alerta para implantação em passagens em nível de pedestres em ferrovias são definidos caso a caso, provavelmente devido à falta de métodos disponíveis para avaliar a necessidade da atualização.

3.5.3 Colaboração entre instituições

A colaboração entre instituições, em nível local ou nacional, é considerada muito importante para as ações de prevenção dos atropelamentos ferroviários. Em um nível muito geral, propõe-se que as administrações ferroviárias encontrem novos parceiros para colaboração, tais como empresas locais, pais e outros grupos comunitários, câmaras de comércio, lojas locais, sindicatos, serviços sociais, urbanistas, engenheiros de transporte etc. (Havârneanu *et al.*, 2015).

Dentre as formas de colaboração identificadas por Havârneanu *et al.* (2015), estão: a colaboração com a mídia, inclusive para evitar a divulgação de casos de suicídio ferroviário; colaboração com autoridades policiais e de justiça para promover estratégias contra transgressões; parceria com autoridades e comunidade local, podendo fornecer um meio eficaz e de custo relativamente baixo de dissuasão de transgressões; e parceria com autoridades e todas as formas de organização ligadas à saúde e assistência social, para o desenvolvimento de planos locais de prevenção do suicídio.

Vários projetos para envolvimento da comunidade local nas ações de conscientização para o problema de segurança nas travessias ferroviárias podem ser desenvolvidos. Por exemplo, projetos de murais comunitários em espaços da ferrovia, como estações e seus entornos, realizados por uma força de trabalho voluntária. Como os voluntários seriam residentes da comunidade local, o nível de atenção dada às questões de vandalismo poderia aumentar muito (RSSB, 2005 *apud* Havârneanu *et al.*, 2015).

O esclarecimento das responsabilidades das diferentes agências e organizações do setor ferroviário e estratégias para uma melhor comunicação entre elas são também recomendadas (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.4 Sistemas de monitoramento e detecção

Na maioria dos casos, os sistemas são recomendados para detectar (e às vezes avisar) as pessoas em risco (Havârneanu *et al.*, 2015).

O monitoramento por câmera com detectores de movimento mostrou-se um método eficiente para coletar informações sobre incidentes de invasão da propriedade ferroviária (Silla e Luoma, 2009). Mesmo não interrompendo necessariamente a transgressão, a utilização de CFTV apoia as ações de vigilância e de fiscalização, podendo resultar até mesmo em punição (Havârneanu *et al.*, 2015).

Existem outras possibilidades técnicas para melhorar o efeito das câmeras de vigilância (com ou sem sensores de movimento), por exemplo combiná-las com avisos sonoros ou megafones, com câmeras de flash que tiram fotos de invasores ou com iluminador infravermelho. Apesar da falta de indícios de sua eficácia, uma alternativa de baixo custo para esses sistemas inteligentes de CFTV é o uso de câmeras fictícias para impedir o acesso a áreas de alto risco por meio de vigilância implícita. No entanto, não se sabe na literatura qual é a diferença de custo e se as câmeras falsas realmente têm eficácia a curto ou longo prazo na prevenção de transgressões (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.5 Educação e informação a nível individual

Para além de estratégias gerais de segurança contra acidentes, o aumento do conhecimento individual sobre riscos e comportamentos seguros na área ferroviária é considerado como um fator importante para prevenir transgressões (Havârneanu *et al.*, 2015).

Alguns estudos, no entanto, sugeriram que intervenções educacionais ou de conscientização têm eficácia limitada na redução de comportamentos inseguros de pedestres. Lobb *et al.* (2003), avaliaram a efeitos de quatro intervenções diferentes: comunicações gerais sobre segurança ferroviária, educação de segurança na escola, punição contínua para a travessia insegura e punição intermitente para travessia insegura, no comportamento de crianças escolares em uma passagem em nível na Nova Zelândia. Antes e depois de cada intervenção os comportamentos foram observados. Os autores constataram que as comunicações gerais sobre segurança ferroviária não foram associadas a reduções significativas de travessias inseguras, ao contrário da punição (contínua ou alternada), que se mostrou eficaz na redução do comportamento inseguro. O estudo também verificou que a educação direcionada é muito mais eficaz para aumentar a conscientização do que as comunicações gerais. Concluiu-se, ainda, que a eficácia dos programas educacionais sobre comportamento seguro para as escolas poderia ser

aumentada se os programas fossem preparados e empacotados para facilitar a entrega para os professores.

Por outro lado, medidas educacionais podem ser combinadas com outros grupos de intervenções, como ambientais (Silla e Luoma, 2012). Por exemplo, Lobb *et al.* (2001) relataram que mensagem educacional distribuída aos trabalhadores nas fábricas à beira da ferrovia e nas áreas residenciais, comerciais e industriais vizinhas, em combinação com cercas e sinalização, reduziram significativamente a transgressão, embora a educação possa ter um efeito mais fraco do que as outras duas medidas.

A educação pode ser realizada dentro e fora das escolas. Nas escolas, podem ser utilizadas diversas ferramentas educativas, isoladas ou conjuntamente, incluindo: aulas, comunicação dirigida especificamente aos professores, kits de ferramentas educativas, calendários escolares temáticos e ainda a integração com outras disciplinas para fornecer informações sobre a segurança nas vias férreas. Os programas de educação nas escolas também podem empregar teatro, cinema e palestras para conscientizar os alunos sobre os perigos e o impacto do vandalismo sobre as pessoas e o meio ambiente (Offler *et al.*, 2009 *apud* Havârneanu *et al.*, 2015).

Fora da escola, também foi proposto o desenvolvimento de programas de educação para a comunidades em geral, com ações intensificadas em locais estratégicos próximos aos trilhos, como bares, ou locais onde o vandalismo é a principal raiz do comportamento de invasão, embora se possa questionar se educação realmente funcionaria para pessoas intoxicadas ou vândalos (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.6 Fiscalização, punição e patrulhas

A aplicação de regras de segurança por meio da presença humana visível e vigilância é recomendada como uma direção preventiva geral, com alguns artigos fazendo recomendações específicas para prevenção de suicídio ou transgressão (Havârneanu *et al.*, 2015).

Os estudos realizados por Lobb *et al.* (2003) já mencionados, reforçam os achados da literatura sobre a eficácia da punição. Contudo, a descoberta de que a punição intermitente manteve a redução do comportamento inseguro observada após a punição contínua, é particularmente importante porque, na maioria das situações, é improvável que intervenções de punição contínua com uso intensivo de mão-de-obra sejam sustentáveis por um período prolongado, enquanto contingências intermitentes podem ser muito mais viáveis para controle de comportamento a longo prazo (Lobb *et al.*, 2003).

O uso de tecnologia como sistemas de vídeo vigilância e CFTV, procedimentos de fiscalização aprimorados, maior presença e visibilidade do pessoal ferroviário nos trens e introdução de serviços de segurança profissionais foram apontadas como medidas para apoiar as ações de vigilância e fiscalização (Havârneanu *et al.*, 2015).

A prevenção de transgressões requer a capacidade adicional das patrulhas de segurança para detectar e multar comportamentos ilegais e inseguros (Lobb, 2006), o que também pode incluir esforços legislativos. Contudo, em alguns países, como na Finlândia, embora transitar sem autorização dentro do corredor ferroviário constitua uma ilegalidade sujeita a multas, a lei do país não indica nenhum valor específico da multa, o que dificulta sua eficácia (Silla e Luoma, 2009).

3.5.7 Comunicação de segurança pública

Trata-se de campanhas de mídia de massa, comunicação pública ou conscientização pública, definidas como quaisquer tentativas propositais de informar, persuadir e motivar um determinado grupo da população a mudar suas atitudes e comportamentos para melhorar a segurança ferroviária (Havârneanu *et al.*, 2015).

É também recomendada campanha direcionada a categorias de pedestres de alto risco. Aliado a isso, uma política de saúde pública aprimorada, com foco no uso de álcool e drogas, bem como nos problemas de saúde mental, seria parte essencial da estratégia de prevenção dos suicídios e acidentes excessivamente frequentes que ocorrem nas ferrovias (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.8 Sinalização

A sinalização está parcialmente ligada à educação para apoiar a interpretação e conscientização das pessoas sobre ações proibidas ou sobre riscos e/ou ações recomendadas. Sinais de alerta e sinais de proibição são igualmente recomendados (Havârneanu *et al.*, 2015). Geralmente a sinalização faz parte de um conjunto de intervenções mais amplas e já foram discutidas na seção de Projeto Ambiental.

3.5.9 Design técnico para reduzir os efeitos do impacto

Havârneanu *et al.* (2015) identificaram algumas publicações que recomendam um design ergonômico aprimorado dos trens contra lesões gerais, sem fornecer mais detalhes ou evidências de eficácia. O efeito de tais medidas não seria prevenir os incidentes, mas mitigar as consequências. Dentre as propostas identificadas pelos autores estão: o redesenho da frente do trem para dissipar ao máximo a energia de colisão ou para ajudar a empurrar as vítimas para o

lado; trens com maior distância ao solo; redesenho dos amortecedores de caixa de eixo ao longo das laterais do material rodante; e *airbags* infláveis montados na frente dos trens

No entanto, uma medida considerada eficaz para reduzir a gravidade de eventuais lesões decorrentes dos atropelamentos, é aprofundar o espaço entre os trilhos para criar um poço (pits), que pode diminuir o contato entre o trem e a vítima.

3.5.10 Treinamento de equipe

O desenvolvimento de programas de treinamento para funcionários ferroviários e pessoal relacionado é de grande importância para minimizar fatores de risco de acidentes relacionados a erros baseados em regras/conhecimentos.

Os treinamentos podem ser mais gerais ou direcionados a determinados riscos de acidentes ou comportamentos inseguros do sistema (por exemplo, transgressão e suicídio). No Reino Unido, um rápido treinamento inicial com voluntários incentivados a relatar transgressões “ao vivo”, provou ser uma adição econômica aos sistemas formais de monitoramento e notificação existentes (RSSB, 2005 *apud* Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.11 Avaliação de risco

Nas entrevistas conduzidas por Metaxatos e Sriraj (2013) os especialistas ferroviários dos setores público e privado revelaram não adotar uma abordagem consistente para gerenciar o risco em passagens em nível de pedestres que possam garantir: a uniformidade e continuidade dos programas de coleta de dados relacionados a essas travessias, a análise de riscos nesses cruzamentos, a priorização de upgrades de travessias, a introdução de controles de risco adequados e a avaliação da relação custo-benefício de tais medidas.

Dessa forma, seria importante a utilização de uma metodologia de pontuação de risco para avaliar os fatores de segurança nas travessias de pedestres.

A avaliação de risco é também mencionada como um procedimento indispensável na identificação e monitoramento de locais de maior risco de transgressão, por exemplo passagens em nível clandestinas (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.12 Aprendendo com pesquisas anteriores e melhores práticas

Esta medida se refere a formas de aprendizagem organizacional para adquirir e atualizar conhecimentos para a prática de prevenção. Isso inclui aprender com estudos de pesquisa; desenvolver tópicos de pesquisa específicos; e coletar, tratar e compartilhar dados sobre o tipo e frequência de incidentes. O aprendizado pode se beneficiar da experiência internacional, por

exemplo, criando um banco de dados internacional de atropelamentos ferroviários com definições padronizadas, semelhante ao Banco de Dados Internacionais de Tráfego Rodoviário e Acidentes (Havârneanu *et al.*, 2015).

3.5.13 Tecnologias adicionais para maquinistas

Havârneanu *et al.* (2015) identificaram na literatura algumas tecnologias recomendadas para ajudar os maquinistas a tomar algumas ações, de modo a reduzir o risco de colisão com pedestres, em que pese o fraco nível de evidências. Dentre elas estão: tecnologias instaladas fora da cabine e utilizadas para alertar e incentivar as pessoas a deixarem os trilhos (por exemplo, buzinas), ou melhorar a visibilidade dos maquinistas, como holofotes na frente dos trens e luzes auxiliares; tecnologias para melhorar o controle de velocidade e capacidade de frear mais cedo, facilitando paradas de emergência, como freios magnéticos; soluções para alertar o maquinista com antecedência da presença de obstáculos, por exemplo, com instalação de CFTV na cabine exibindo antecipadamente a imagem atual dos locais de risco.

Com o desenvolvimento de tecnologia avançada, câmeras termográficas instaladas em passagens em nível e sistemas de detecção de obstáculos a bordo, instalados na frente das locomotivas, podem ajudar o trem a detectar se o invasor está presente na linha férrea. Se detectado, o maquinista pode gerar um aviso visual ou auditivo, por exemplo, aviso de buzina ou freio para evitar uma colisão com o invasor. (Zhang *et al.*, 2018).

Ainda em relação a sistemas inteligentes, mas fora do domínio do maquinista, pedestres e usuários não motorizados em geral das passagens em nível poderão receber aviso prévio personalizado da chegada dos trens a tempo de evitar ferimentos e fatalidades (Metaxatos e Sriraj, 2013).

3.5.14 Gerenciamento operacional de tráfego

Esse conjunto de medidas consiste em planejamento de tráfego e procedimentos especiais, de acordo com os riscos já identificados, para evitar novos incidentes.

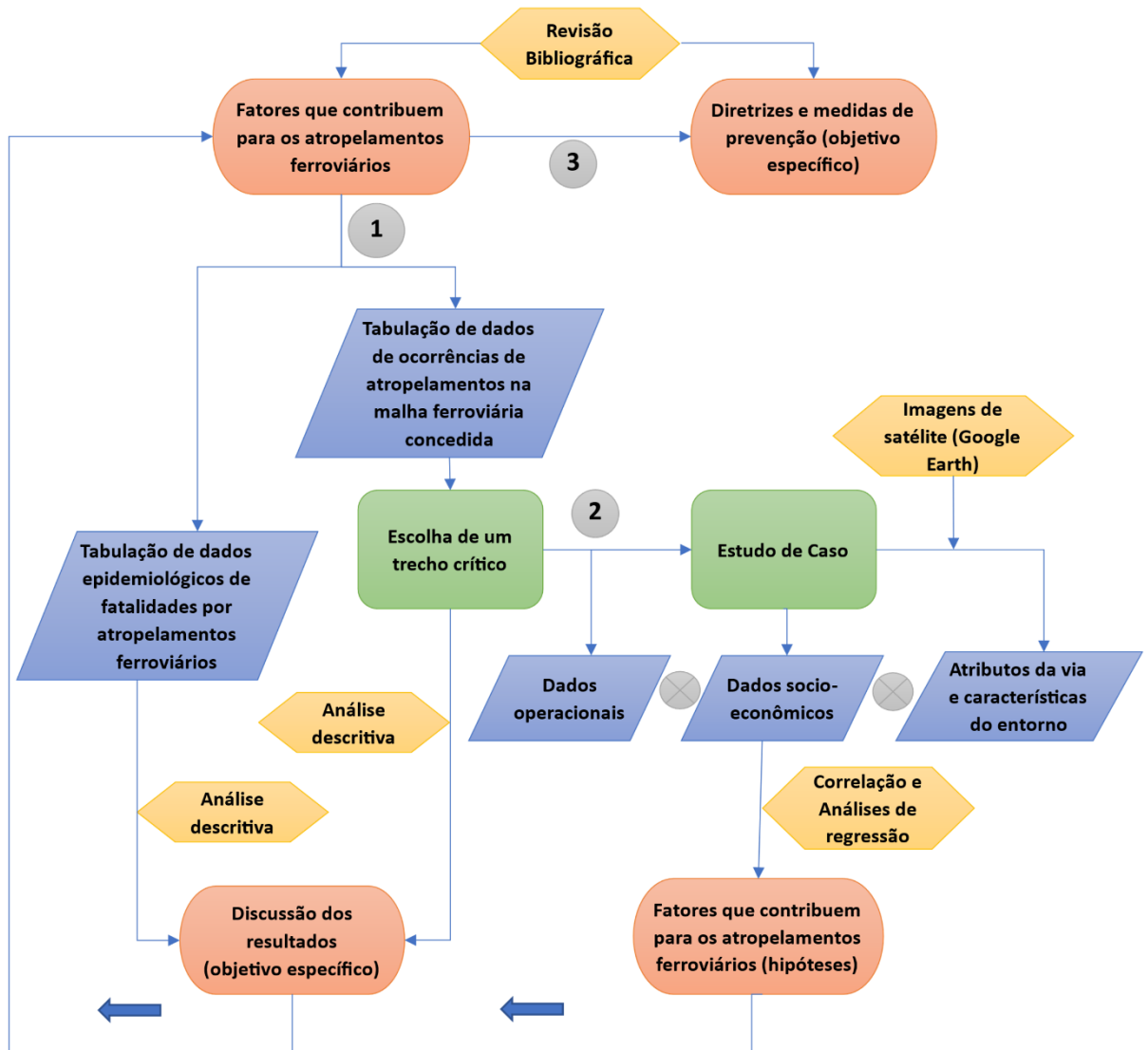
Uma medida operacional alternativa é a redução dos limites de velocidade pontual para os trens, dando aos maquinistas algum tempo de reação extra e a possibilidade de parar o trem mais rapidamente. A redução da velocidade dos trens já foi associada à redução da gravidade de lesões nas colisões trem-pedestre (Zhao *et al.*, 2019). Contudo, na prática, muitas empresas ferroviárias têm regras claras que solicitam aos maquinistas que reduzam a velocidade caso encontrem pessoas nas proximidades das vias (Havârneanu *et al.*, 2015).

Em suma, medidas de prevenção de atropelamentos ferroviários devem contemplar soluções combinadas de medidas de engenharia e comportamentais e considerar suas múltiplas funções.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de trabalho que foram percorridas para atingir os objetivos da dissertação. O fluxograma da metodologia aplicada é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pela autora

Em seguida é conceituada a abordagem sistêmica que constitui um dos pilares desse estudo e na sequência são descritas as principais etapas metodológicas.

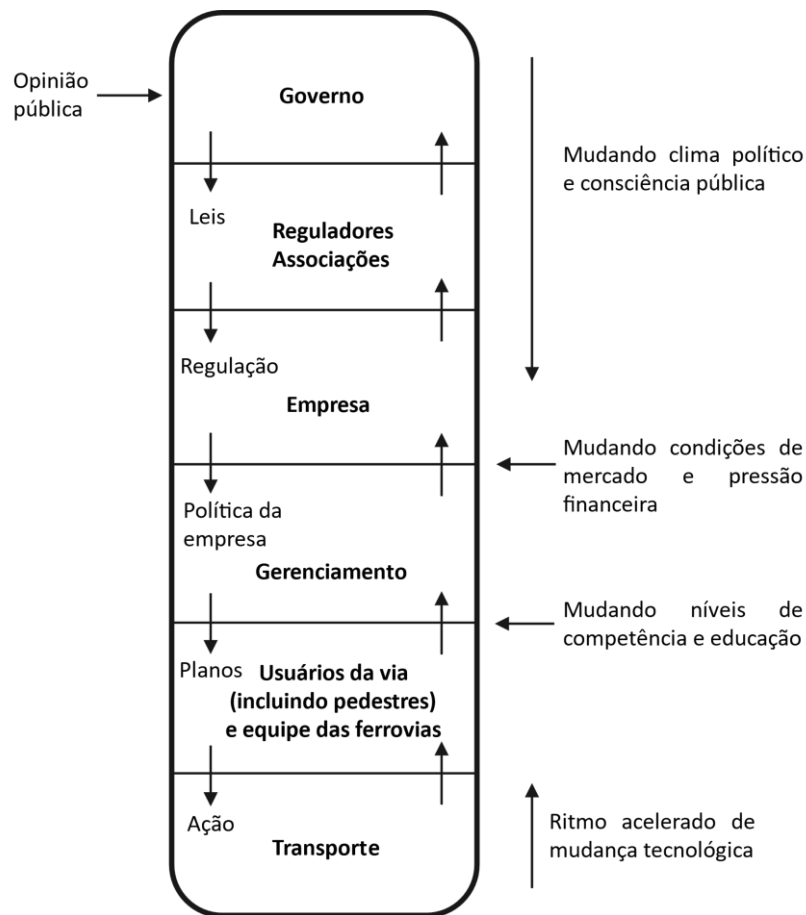
4.1 O PENSAMENTO SISTÊMICO

A ciência de segurança moderna defende uma abordagem de sistemas para a análise e projeto de domínios críticos de segurança complexos (Rasmussen, 1997).

Dessa forma, Read *et al.* (2021) identificaram uma nova direção das pesquisas sobre os riscos envolvidos nos cruzamentos ferroviários, com a aplicação da abordagem de pensamento sistêmico. Esta abordagem toma o sistema geral como unidade de análise e considera como os componentes interagem para produzir fenômenos emergentes, como acidentes.

Um modelo de sistemas de fatores de acidentes comumente aplicado é o de Rasmussen (1997). Nele os acidentes ferroviários são considerados uma consequência das decisões e ações de atores em um sistema sociotécnico, desde aqueles próximos no espaço e no tempo do evento (por exemplo, usuários da estrada e maquinistas) até aqueles mais distantes na cadeia causal (por exemplo, supervisores, gerentes e formuladores de políticas governamentais) (Read *et al.*, 2021). A Figura 4 apresenta a estrutura de gerenciamento proposta por Rasmussen adaptada por Read *et al.* (2021) para o sistema das passagens em nível.

Figura 4: Estrutura de gerenciamento de risco de Rasmussen, adaptada para o sistema das passagens em nível



Fonte: Read *et al.* (2021) (tradução nossa)

Dessa forma, o modelo considera que as colisões em cruzamentos ferroviários são causadas não apenas pelas decisões e ações dos usuários da travessia (por exemplo, motoristas e pedestres), mas também pelas partes interessadas nas passagens em nível, como as empresas ferroviárias (que tomam decisões sobre os controles de segurança, por exemplo), reguladores de segurança (que tomam decisões sobre inspeções e fiscalização) e governos (que alocam fundos às iniciativas de segurança) (Read *et al.*, 2021).

Baseados nesta estrutura de gerenciamento de riscos, Read *et al.* (2021) propõem uma aplicação da técnica de Mapeamento de Acidentes (AcciMap) ao contexto de segurança dos cruzamentos ferroviários. Esta técnica foi usada pelos autores para agregar os fatores de influência identificados na revisão sistemática da literatura e para entender onde eles residem, ou seja, a qual nível hierárquico estes fatores pertencem no sistema de riscos das passagens em nível. Por exemplo, um estudo envolvendo o desenvolvimento de um modelo estatístico baseado em dados de acidentes relatou que a velocidade do trem tem uma relação significativa

com a gravidade das lesões (Liu e Khattak, 2017 *apud* Read *et al.*, 2021). Portanto, o fator ‘velocidade do trem’ foi identificado para inclusão na análise e foi colocado ao nível do “equipamento e entorno” do AcciMap. Os níveis hierárquicos identificados por Read *et al.* (2021) para representar o sistema de segurança das passagens em nível utilizando a técnica do AcciMap estão esquematizados na Figura 5.

Figura 5: Níveis hierárquicos do sistema sociotécnico de segurança das passagens em nível



Fonte: Adaptado de Read *et al.* (2021)

Assim, como ponto de partida da metodologia adotada nesta dissertação, foi adaptado um dos modelos do AcciMap propostos por Read *et al.* (2021) para representar fatores contributivos dos acidentes nas passagens em nível alocados em seus níveis hierárquicos correspondentes. A partir desta visualização, foram escolhidos alguns fatores para serem analisados de forma experimental como se verá adiante. Tendo em vista que o estudo dos autores se estendeu a todos os usuários das passagens em nível, é importante esclarecer que neste trabalho serão considerados apenas os fatores de risco de acidentes nas passagens em nível envolvendo os pedestres, que constituem o tema deste estudo.

Além disso, considerando a complexidade de compreender o risco nos cruzamentos ferroviários, Read *et al.* (2021) propõem uma abordagem integrada que possa ser alcançada por meio da utilização de muitos modelos de análise. Numa perspectiva prática, os autores

recomendam uma agenda de pesquisa dividida em etapas, que poderia começar com o uso de conhecimento e dados existentes para analisar o problema, dos quais os achados da literatura seriam uma fonte de dados inicial. Eles sugerem ainda que as descobertas sejam ampliadas por meio de análises de fatores contributivos identificados em relatórios de investigação de acidentes em passagens em nível e investigações epidemiológicas sobre fatalidades decorrentes.

Baseado nestas premissas, esta dissertação utilizou modelos de análise distintos para explorar informações sobre atropelamentos ferroviários no Brasil e investigar fatores que contribuem com eles.

A primeira etapa consistiu em um estudo exploratório de duas fontes de informações sobre atropelamentos ferroviários no Brasil, de modo a descrever a magnitude do problema no país e identificar grupos mais vulneráveis. A segunda etapa teve caráter experimental, em que se procurou investigar a significância de alguns fatores para a ocorrência de atropelamentos ferroviários. Estas etapas serão detalhadas a seguir.

4.2 PRIMEIRA ETAPA: COLETA, TABULAÇÃO E ANÁLISE DESCRITIVA DE DADOS

O emprego de medidas para garantir a segurança de pedestres nas travessias das linhas férreas requer uma compreensão da magnitude dos atropelamentos ferroviários no contexto local e dos fatores de risco associados a eles.

Dentre estes fatores, dados sociodemográficos geralmente são usados para traçar o quadro de colisões trem-pedestre, com base na possibilidade de que pessoas de determinados grupos socioeconômicos e características possam estar mais propensas a se envolver em acidentes (Wang *et al.*, 2016).

Neste contexto, a primeira etapa da dissertação apresenta um estudo de natureza descritiva com objetivo de explorar duas fontes de dados sobre atropelamentos ferroviários para descrever o estado atual deste problema no Brasil e traçar o perfil principal das vítimas fatais. Para tanto, foram utilizadas informações da ANTT e do Sistema de Informação sobre Mortalidade- SIM, que é um instrumento desenvolvido pelo Ministério da Saúde para coleta de dados sobre mortalidade no País.

A primeira fonte de dados e considerada mais importante são os registros de acidentes na malha federal concedida, no período de 5 anos completos, de janeiro de 2017 a dezembro de 2021. Em muitos países, os acidentes em passagens em nível são raros e, por isto, foram utilizadas séries históricas maiores nos estudos (Evans e Hughes, 2019), o que não parece ser o caso do Brasil, como mostram as estatísticas de acidentes já mencionadas.

Todos os acidentes ferroviários ocorridos nestes trechos devem ser comunicados à ANTT, conforme estabeleceu a Resolução ANTT nº 1.431/2006 e estabelece a sua substituta, a Resolução ANTT nº 5.902/2020. A ANTT disponibiliza dados sobre acidentes ferroviários em seu Anuário Estatístico (Brasil, 2022b).

Assim, do conjunto de dados da ANTT, referente ao período de 2017 a 2021, foi possível obter informações como a natureza dos acidentes, locais, datas, horários, bem como se eles resultaram em feridos ou vítimas fatais.

Quanto às informações do SIM, o documento básico e essencial à coleta de dados da mortalidade no Brasil é a declaração de óbito (DO), que são preenchidas por médicos, nas unidades notificantes e processadas sequencialmente pelos Municípios, Estados e Governo Federal.

Os dados possuem variáveis que permitem, a partir da causa mortis atestada pelo médico, construir indicadores e processar análises epidemiológicas que podem ser utilizados como um instrumento de pesquisa em diversas áreas. O Ministério da Saúde coloca à disposição da comunidade, dados conclusivos sobre os óbitos desde 1979, quando o sistema foi informatizado (Brasil, 2022c).

No caso de acidentes, as vítimas fatais, independentemente do tempo decorrido entre o evento e a morte, são registradas nas declarações de óbito, que devem ser emitidas pelo Instituto Médico Legal (IML), procedimento obrigatório no caso de mortes ocorridas por causas externas.

Assim, foram extraídos dos dados do SIM referentes aos anos de 2017 a 2021, os registros com causa básica de morte classificada pela CID 10⁶ com os códigos V05 (V05-0, V05.1, V05.1, V05.9), que se referem a pedestres traumatizados em colisão com trem (comboio) ou um veículo ferroviário.

Deve-se considerar, contudo, que as informações sobre fatalidades por atropelamentos ferroviários do SIM não têm a mesma correspondência geográfica das informações de acidentes ferroviários da ANTT. Enquanto as primeiras podem abranger todas as redes ferroviárias do país, inclusive os sistemas de transporte urbano de passageiros, as informações da ANTT se restringem à malha ferroviária concedida. Por outro lado, as informações dispostas no SIM se restringem aos acidentes com desfechos fatais. Outra limitação desta fonte é a incerteza se os eventos que, porventura, possam ter sido considerados como suicídios foram retirados da

⁶ Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, 10ª revisão

classificação referente a colisões de pedestres com veículos ferroviários como causa básica de morte. Assim, apesar das limitações, o conjunto de dados reunidos para este estudo são reais e promissores, compreendendo uma parte significativa do universo dos atropelamentos ferroviários.

Isto posto, das informações do SIM foram utilizadas para a análise variáveis referentes às características das vítimas fatais como sexo, idade, cor, estado civil, escolaridade e ocupação. Não foram utilizadas nesta análise as informações sobre data, horário e município de ocorrência, pois elas se referem aos óbitos e não necessariamente aos acidentes.

Assim, após a coleta dos dados e os tratamentos necessários (tabulação) foram utilizadas ferramentas de análise descritiva para descrever o estado atual dos atropelamentos ferroviários no Brasil e o perfil predominante de suas vítimas fatais.

A Análise Descritiva é a fase inicial do processo de estudo dos dados coletados. Utiliza-se métodos de Estatística Descritiva para organizar, resumir e descrever os aspectos importantes de um conjunto de características observadas ou comparar tais características entre dois ou mais conjuntos de dados. Ao se sintetizar dados, perde-se informação, pois não se têm as observações originais. Entretanto, esta perda de informação é pequena se comparada ao ganho que se tem com a clareza da interpretação proporcionada (Reis e Reis, 2002).

As principais ferramentas de análise descritiva utilizadas neste estudo foram medidas de síntese, como distribuição de frequência absoluta e relativa, índices e médias, medidas de tendência e análise de séries temporais. Para representar estas análises foram utilizados gráficos e tabelas gerados no Excel, que foi utilizado para organizar os dados em planilhas.

Em seguida, para ampliar o alcance dos resultados, os dados de acidentes ferroviários no Brasil foram comparados com dados de acidentes nas rodovias federais, com foco nos atropelamentos e ainda com dados de fatalidade em acidentes ferroviários envolvendo terceiros nos Estados Unidos. Para tanto, a base inicial de dados foi complementada com informações da Confederação Nacional de Transportes – CNT sobre acidentes na malha rodoviária federal, no período de 2017 a 2021 (CNT, 2022) e informações da Federal Railroad Administration – FRA sobre mortes nos acidentes ferroviários nos Estados Unidos, no período de 2017 a 2020 (USA, 2023). Para as comparações foram utilizados índices de acidentes calculados com base nas informações disponíveis em cada caso e que serão detalhados na mesma seção em que serão apresentados os resultados.

Por fim, a partir da análise descritiva dos dados de acidentes ferroviários na malha concedida foi selecionado um trecho crítico em relação aos riscos de atropelamentos para um estudo experimental, desenvolvido na segunda etapa da metodologia.

4.3 SEGUNDA ETAPA: ESTUDO DE CASO DE UM TRECHO CRÍTICO

Read *et al.* (2021) identificaram uma lacuna notável na literatura relacionada à falta de estudos que examinem as relações entre os fatores contribuintes para os acidentes nas passagens em nível.

Para contribuir neste sentido, foi escolhido um trecho ferroviário considerado crítico em relação aos riscos de atropelamentos para um estudo mais detalhado, de natureza explicativa, onde foram investigadas as relações entre algumas variáveis. As variáveis utilizadas no estudo basearam-se nos fatores contribuintes para os atropelamentos ferroviários identificados na literatura, sobretudo aqueles relacionados ao ambiente físico do local e seu entorno. Considerou-se ainda na escolha das variáveis para as análises a disponibilidade da informação ou de meios para se obtê-la.

Antes de apresentar as variáveis, é importante esclarecer que no estudo de caso foram utilizadas duas escalas espaciais diferentes, referentes ao trecho ferroviário escolhido. A primeira delas corresponde à extensão de todo o trecho ferroviário (1), onde foram analisados atributos dos municípios atravessados por ele. A segunda escala espacial é mais reduzida. Ela abrange o segmento ferroviário inserido dentro de um município do trecho (2), considerado mais crítico em relação aos atropelamentos ferroviários. Assim, foram experimentadas variáveis diferentes para cada um destes recortes espaciais adotados no estudo.

Assim, para testar as hipóteses formuladas, as variáveis utilizadas neste estudo e suas características são descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis dos estudos e suas características

Variáveis para o trecho de estudo (vários Municípios)				
Variáveis	Natureza	Tipo de variável	Fonte/ Método de coleta	Unidade
Total de acidentes no Município	Dependente	Contínua	ANTT	N.º
População estimada 2021	independente	Contínua	IBGE 2021	N.º
Densidade demográfica	independente	Contínua	IBGE 2022	Habitantes/km ²
Soma da extensão dos pátios	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	Metros (m)
Extensão do perímetro urbanos - PU	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	Quilômetros (km)
Total PNs/PNPs	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	N.º
Variáveis para o Município de estudo				

Variáveis	Natureza	Tipo de variável	Fonte/ Método de coleta	Unidade
Índice atropelamento no km por 1000 trens ⁷	Dependente	Contínua	ANTT	Nº de atropelamentos/ 1000 trens
Total PNs e PNPs	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	N.º
Média da Velocidade Máxima Autorizada - VMA	independente	Contínua	ANTT	km/h
Extensão das linhas, incluindo pátio	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	Metros (m)
Extensão do segmento em curva	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	Metros (m)
Vedação da faixa de domínio: Sim (1); Parcial (2); Não (3)	independente	3 categorias	<i>Google Earth</i>	Qualitativa
Zona: Rural (1), Semi - urbana (2), Urbana (3)	independente	3 categorias	<i>Google Earth</i>	Qualitativa
Uso do solo na área de influência (200m): Ativ. Rural (1), Mista Ativ. Rural e Residencial (2), Residencial (3), Industrial (4), Mista Residencial/Industrial/Comercial (5), Comercial (6)	independente	6 categorias	<i>Google Earth</i>	Qualitativa
Taxa de ocupação urbana na área de influência ⁸	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	%
Nº de escolas na área de influência (200m)	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	N.º
Nº de hospitais na área de influência (200m)	independente	Contínua	<i>Google Earth</i>	N.º

Fonte: Elaborado pela autora

Algumas variáveis, como população do município e densidade demográfica foram obtidas diretamente de fontes de informações, neste caso, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Outras foram calculadas a partir da análise de dados desenvolvida na primeira etapa deste estudo, como o índice de atropelamentos por 1000 trens. Por fim, um conjunto de informações foram geradas a partir de imagens de satélite, utilizando a ferramenta *Google Earth* e tendo como referência o desenho da linha férrea. O arquivo (shape) da malha ferroviária é disponibilizado pela.

Uma limitação desta etapa de trabalho é que os registros de acidentes (até 2020) utilizam somente a posição quilométrica para informar o local das ocorrências, ou seja, não há informações das coordenadas geográficas. Contudo, este problema foi contornado através da utilização de alguns pontos de referência na malha ferroviária com posição quilométrica conhecida, como as estações, permitindo interpolar os pontos de interesse para o estudo e

⁷ (Média anual do nº de atropelamentos x 1000)/ Média anual do nº de trens

⁸ Área da macha urbana (km²)/ Área da faixa de influência (km²)

representa-los no *Google Earth*. Ainda sobre esta ferramenta, utilizando o recurso do *Street View*, que apresentava imagens atualizadas recentemente, em 2022, foi possível “visitar” o trecho estudado e identificar medidas físicas de segurança que estão sendo adotadas para as travessias da linha pelos pedestres ou a ausência delas.

Maiores detalhamentos sobre as características do trecho onde foi desenvolvido o estudo e sobre as variáveis utilizadas serão fornecidas na seção onde são discutidos os resultados.

Em relação aos métodos utilizados nos estudos experimentais, a premissa foi de explorar variadas técnicas estatísticas para análise de dados e avaliar a adequação delas ao modelo final. Para tanto, numa primeira abordagem foi utilizado o método de Correlação de Person, por meio do qual foram testadas possíveis associações entre as variáveis, revelando o potencial de interação entre elas. Este método será mais detalhado adiante.

Em seguida, foram utilizados métodos de análise de regressão para investigar a relação causal entre as variáveis estudadas. De acordo com Figueiredo Filho *et al.* (2011), o modelo de regressão linear é uma poderosa ferramenta de análise de dados. Com ela é possível utilizar as variáveis independentes “Y” para prever os valores da variável dependente “Xi”, relacionando-as por meio de uma expressão matemática. Dentre os métodos de regressão, optou-se por utilizar o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários – MMQ ou MQO, que é a forma de estimação mais amplamente utilizada na econometria (Figueiredo Filho *et al.*, 2011) e o Método *Tobit*, que é utilizado na análise de dados censurados.

Para gerar os modelos foi utilizado o *Gretl*, que é um pacote de software gratuito e de código aberto utilizado para compilar e interpretar dados econométricos. Ele incorpora uma grande variedade de estimadores, inclusive os que serão utilizados neste estudo. Ele é capaz também de importar dados do software Microsoft Excel, que foi utilizado neste estudo. Dessa forma, o *Gretl* atendeu às necessidades deste trabalho.

A seguir serão descritos os métodos estatísticos escolhidos para esta etapa do estudo.

4.3.1 Correlação de Person

O coeficiente de Correlação de Pearson é uma medida de associação linear entre variáveis (Figueiredo Filho e Silva Júnior, 2009). Este coeficiente, normalmente representado por ρ assume apenas valores entre -1 e 1.

- $\rho = 1$, significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.
- $\rho = -1$, significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.

- $\rho = 0$, significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado $\rho = 0$ deve ser investigado por outros meios.

Para calcular o coeficiente de correlação de Pearson usa-se a Equação:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}}$$

x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos de ambas as variáveis. Para além disso:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

e

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{são as médias aritméticas de ambas as variáveis.}$$

A análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação. Cabe observar que, como o coeficiente é concebido a partir do ajuste linear, então a fórmula não contém informações do ajuste, ou seja, é composta apenas dos dados.

Para interpretar ρ usa-se a seguinte referência:

- 0.9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte.
- 0.7 a 0.9 positivo ou negativo indica uma correlação forte.
- 0.5 a 0.7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
- 0.3 a 0.5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
- 0 a 0.3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

4.3.2 Modelo *Tobit*

Em estatística, um modelo *Tobit* é qualquer um de uma classe de modelos de regressão em que o intervalo observado da variável dependente é censurado de alguma forma. O modelo foi desenvolvido por James *Tobit* para mitigar o problema de dados inflados de zero em observações de gastos domésticos com bens duráveis. Assim, trata-se de um modelo para acomodar situações como essa, em que há acúmulo de observações num único ponto de massa na fronteira do domínio (De Oliveira, 2004). Ele foi um dos métodos testados neste estudo justamente pelas características dos dados de acidentes que não assumem valores negativos e

apresentam muitas observações nulas. De acordo com De Oliveira (2004) o Método pode ser assim entendido:

Admita-se uma variável latente, Y_i^* , tal que

$$Y_i^* = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$$

ou, mais concisamente,

$$Y_i^* = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} + u_i,$$

em que X_i designa o o vector ($1 \times k$)

$$\mathbf{X}_i = [1 \ X_{2i} \ X_{3i} \ \dots \ X_{ki}]$$

e $\boldsymbol{\beta}$ o habitual vetor ($k \times 1$) de coeficientes de regressão. A variável Y_i^* , contudo, não é observada em todo o seu domínio; observada é Y_i tal que:

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^*, & \text{se } Y_i^* > 0 \\ 0, & \text{se } Y_i^* \leq 0 \end{cases},$$

Suponha-se, por fim, que $\{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots\}$ é uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (i.i.d)

$$u_i \sim N(0, \sigma^2)$$

A especificação do modelo *Tobit* é, portanto,

$$Y_i = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta} + u_i,$$

$$Y_i^* = \begin{cases} Y_i^*, & \text{se } Y_i^* > 0 \\ 0, & \text{se } Y_i^* \leq 0 \end{cases},$$

$$u_i \sim \text{i.i.d.}, N(0, \sigma^2).$$

4.3.3 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), ou Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou OLS (Ordinary Least Squares) é um procedimento de estimação utilizado na regressão simples e múltipla, em que os coeficientes de regressão são estimados de forma a minimizar a soma total dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (tais diferenças são chamadas resíduos). Assim, tecnicamente, dizer que o modelo é ajustado utilizando a forma funcional de MQO significa que uma reta que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos será utilizada para resumir a relação linear entre Y e X_1 (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

A notação do modelo de regressão linear consiste em:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \epsilon$$

Onde: Y é a variável dependente, ou seja, aquilo que queremos explicar/entender/predizer.

X₁ é a variável independente, aquilo que o pesquisador acredita que pode ajudar a explicar/entender/predizer a variação de Y.

O intercepto (α), também chamado de constante, representa o valor de Y quando X₁ assume valor zero, ou seja, na ausência de variáveis independentes, o intercepto (α) representa o valor da média esperada de Y.

B é o coeficiente de regressão, que representa a mudança observada em Y associada ao aumento de uma unidade em X₁.

ϵ é o termo estocástico, que representa o erro em explicar/entender/predizer Y a partir de X₁. É a diferença entre os valores observados e os valores preditos de Y, ou seja, os resíduos do modelo (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Os resíduos de um modelo de regressão são parte fundamental para que se avalie a capacidade do pesquisador em produzir um modelo que represente de forma acurada a realidade estudada (representada pelos dados analisados). Assim, pode-se afirmar que, de forma geral, quanto menores os resíduos encontrados, melhor é o ajuste do modelo à realidade a ser explicada. Além disso, essas estimações são eficientes desde que os pressupostos subjacentes à análise de regressão sejam devidamente respeitados. Importante pontuar ainda que o modelo requer variáveis discretas ou contínuas, mas alguns tipos dessas variáveis podem não ter o tratamento mais adequado com o MQO. Esse é o caso de variáveis censuradas e variáveis de contagem. Para esses casos, modelos específicos (por exemplo *Probit* ou *Tobit*) oferecem melhores resultados (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Dessa forma, após a geração dos modelos utilizando as análises de regressão aqui propostas, procedeu-se ao teste de hipóteses. Dentre as estatísticas de teste, considerou-se principalmente o *p*-valor (valor de probabilidade ou probabilidade de significância). Através dela é possível examinar a probabilidade de que o resultado observado seja proveniente de erro amostral (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Em um teste de hipóteses, são comumente definidas duas hipóteses, a nula (H₀) e a alternativa (H_A). Em muitas aplicações da estatística, convencionou-se definir a hipótese alternativa como a hipótese formulada pelo pesquisador, enquanto a hipótese nula é o seu complemento. A princípio, a hipótese nula é considerada a verdadeira. Ao se confrontar a

hipótese nula com os achados de uma amostra aleatória tomada de uma população de interesse, verifica-se a sua significância em termos probabilísticos, o que leva a rejeitar ou não a H_0 . Se não rejeitada, toma-se a H_0 como verdadeira, caso contrário, toma-se H_A como verdadeira. É também amplamente aceito considerar que o valor de corte para rejeitar a hipótese nula é de 0,05, o que significa que, quando não há nenhuma diferença, um valor tão extremo para a estatística de teste é esperado em menos de 5% das vezes (Hirakata *et al.*, 2019).

Considerando o MQO, outra estatística de interesse é o coeficiente de determinação (r^2) que é uma medida de aderência dos dados em torno da reta de regressão e é usualmente interpretada como a proporção da variância na variável dependente, explicada pela variação das variáveis independentes, ou seja, a qualidade do ajuste do modelo aos dados. O r^2 ajustado é uma medida similar ao r^2 , mas que controla pelo número de observações e variáveis incluídas no modelo. Quanto maior o tamanho da amostra, menor será a diferença entre essas duas estimativas. Contudo, há uma grande controvérsia quanto à utilidade do coeficiente de determinação, sendo que o consenso na disciplina é de que não se pode avaliar a capacidade explicativa de um modelo de regressão a partir dele. Isto porque o foco da análise é na magnitude dos coeficientes, e não na produção de um r^2 maior. No entanto, o tamanho do r^2 pode servir como um indicador para avaliar em que medida a relação entre as variáveis pode ser descrita por uma função linear (Figueiredo Filho *et al.*, 2011).

Por fim, o erro padrão residual (erro padrão da estimativa) é uma medida do grau com que a média da amostra se desvia da média das possíveis médias amostrais. Quanto menor, melhor, já que ele representa a estimativa do efeito que o erro exerce sobre o ajuste geral modelo.

As combinações entre estes métodos de análise e variáveis distintas para as escalas espaciais adotadas neste estudo geraram 6 (seis) modelos, cujos resultados são apresentados no Capítulo 5.

4.4 TERCEIRA ETAPA: DIRETRIZES E MEDIDAS DE PREVENÇÃO

Esta etapa do trabalho teve o objetivo de analisar o estado da arte das medidas de segurança tipicamente adotadas nas passagens em nível de pedestres no Brasil (com base nas medidas observadas no estudo de caso) e a maturidade do arcabouço técnico e legal que rege o assunto, à luz das descobertas da literatura sobre as medidas de prevenção e monitoramento de atropelamentos ferroviários.

Para tanto, os estudos exploratórios foram complementados por fontes de pesquisa como normas técnicas e legais, propostas e projetos voltados para minimizar e monitorar os riscos de atropelamentos ferroviários, além daqueles já identificados na revisão bibliográfica. Isto permitiu, por exemplo, identificar lacunas de dados necessários para um monitoramento consistente e sistemático dos acidentes desta natureza e uma defasagem de normas brasileiras que regulamentam medidas de segurança voltadas para as passagens em nível de pedestres.

Os resultados desta análise poderão contribuir na elaboração de diretrizes para orientar políticas públicas e investimentos com vistas a reduzir os riscos de acidentes ferroviários envolvendo pedestres no país, sobretudo em travessias urbanas, atendendo, assim, um dos objetivos específicos desta dissertação. Isto se torna especialmente importante diante do cenário dos novos projetos, novos marcos regulatórios e renovação das concessões atuais que trazem expectativas de investimentos no setor ferroviário.

Uma outra contribuição consiste na sintetização dos achados da literatura sobre medidas preventivas de atropelamentos ferroviários que vêm sendo adotadas em vários países, formando um arcabouço de contramedidas que pode ser utilizado para incrementar as práticas adotadas no contexto brasileiro. Esta fonte de informações sobre medidas preventivas de atropelamentos ferroviários, no entanto, só faz sentido, se continuamente ampliada com novas descobertas da literatura e com a experiência prática das administrações ferroviárias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS NO BRASIL

Nesta seção são apresentados os resultados das análises estatísticas realizadas com os dados obtidos da ANTT e, na sequência, eles são comparados com estatísticas de atropelamentos nas rodovias federais e com estatísticas de fatalidades em acidentes ferroviários nos Estados Unidos.

De acordo com informações da ANTT, o Brasil contabilizou 3.701 acidentes ferroviários na malha federal concedida no período de 2017 a 2021, com 1.033 feridos e 521 mortos, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Números de acidentes ferroviários no Brasil (2017 a 2021)

Natureza do Acidente	N.º	%	Média anual	Limite		N.º Feridos	N.º Óbitos	% (N.º Óbitos/ N.º Eventos da Natureza)	% (N.º Óbitos/ Total Óbitos)
				Superior – Limite Inferior (IC = 95%)					
Abalroamento	1396	37,72	279,20	262-296		432	48	3,44	9,21
Descarrilamento	1224	33,07	244,80	203-287		14	1	0,08	0,19
Atropelamento	1037	28,02	207,40	186-229		587	472	45,52	90,60
Colisão e Incêndio	44	1,19	8,80	4-14		0	0	0	0
Total Geral	3701	100	740,20			1033	521	-	100

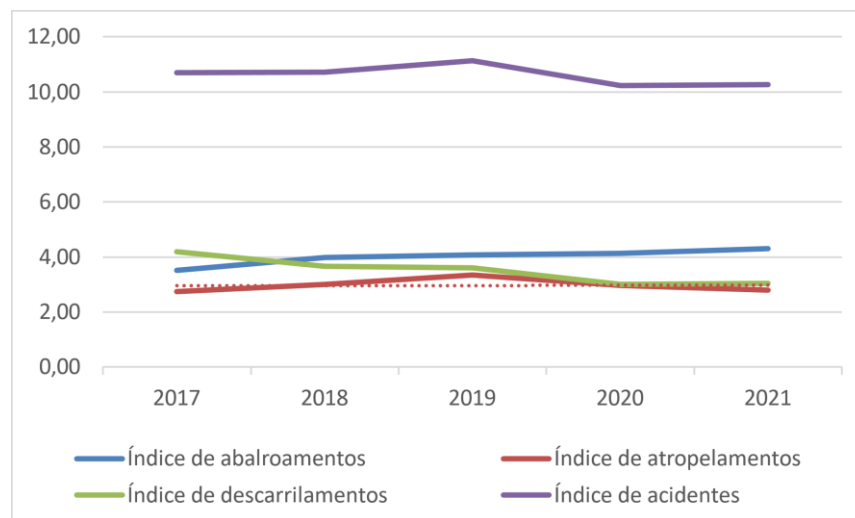
Fonte: Elaborada pela autora

Os acidentes que envolveram terceiros à operação dos trens (atropelamentos e abalroamentos) representaram a maioria das ocorrências (66%) do período. Apesar de menos frequentes que os abalroamentos, os atropelamentos são, disparados, os acidentes que mais resultaram em mortes no Brasil, representando quase 91% das fatalidades do período. Quase a metade (45%) das colisões trem-pedestre resultaram em óbito da vítima.

Para agravar a situação, a proporção dos acidentes envolvendo terceiros vem aumentando à medida que os descarrilamentos apresentaram uma tendência de queda nos últimos anos, conforme mostrado na Figura 6. A colisão entre trens e os incêndios representam uma parcela muito pequena dos acidentes e, por isso, foram retirados do gráfico. Para mostrar a evolução dos acidentes no período, foi utilizado o índice de acidentes, calculado pela divisão

do número absoluto de ocorrências no ano pelo somatório das distâncias percorridas por todos os trens que circularam na malha concedida no mesmo ano (em milhões) unidade denominada milhão de trem x km. Esta unidade é aceita internacionalmente e seu valor para cada Concessionária pode ser obtido no Anuário do Setor Ferroviário da ANTT (Brasil, 2022b). Observa-se, contudo, que os valores dos índices de acidentes mostrados abaixo não são os mesmos utilizados para acompanhar o cumprimento de metas contratuais de segurança, que possuem uma metodologia de cálculo própria.

Figura 6: Evolução do índice de acidentes (em milhão de trem x km), de 2017 a 2021



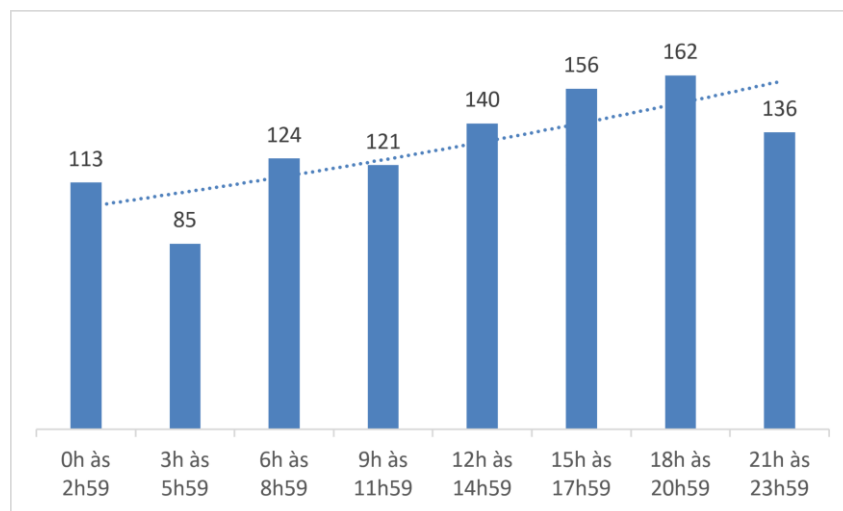
Fonte: Elaborado pela autora

Parece ocorrer que o uso de tecnologias e técnicas cada vez mais avançadas na manutenção da infraestrutura e na operação ferroviária estejam contribuindo para redução de acidentes relacionados aos equipamentos ferroviários. Contudo, isto não se verifica com os índices de abalroamentos, que cresceram ao longo do tempo, e de atropelamentos, que parecem se manter relativamente estáveis. Estes resultados corroboram com os achados da literatura de que os acidentes em passagens em nível (designadas ou clandestinas) vêm assumindo uma proporção cada vez maior em relação ao total de acidentes ferroviários em diversos países, principalmente em termos de fatalidade. Enquanto o índice médio de fatalidades dos acidentes ferroviários no Brasil foi de 0,33 mortes por milhão de trem x km ao ano, estes índices para os abalroamentos e para os atropelamentos foram de, respectivamente, 0,38 e 0,86 mortes por milhão de trem x km ao ano. Isto mostra a gravidade das colisões trem-pedestre e confirma a maior vulnerabilidade destes usuários das passagens em nível.

As Figuras 7 e 8 mostram a distribuição dos números absolutos de atropelamentos ferroviários em faixas horárias e nos dias da semana, respectivamente. Verifica-se que houve

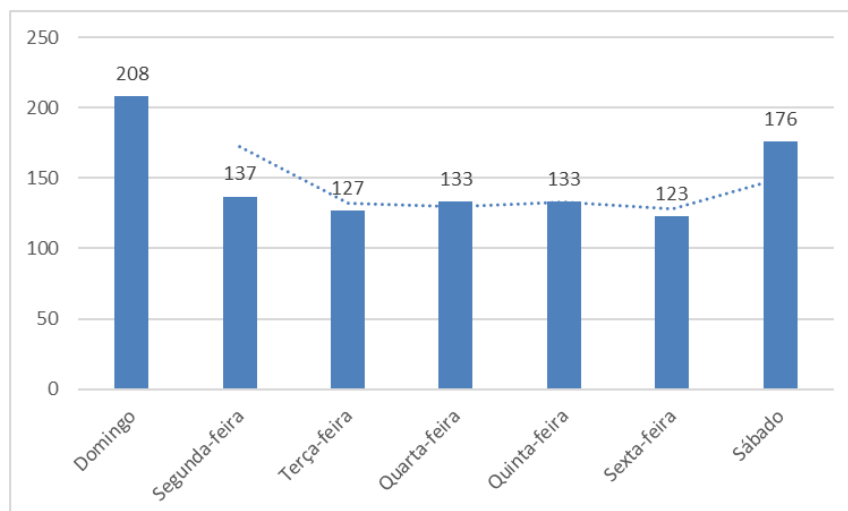
uma tendência de crescimento do número de atropelamentos ao longo do dia., a partir das 06hs da manhã. Apenas a última faixa horária, entre 21h e 23h59, não acompanhou esta tendência. Os horários de maior frequência dos atropelamentos, entre 17h e 19h, coincidem com o horário de pico da tarde de viagens do modo rodoviário (e a pé). No entanto, não é possível inferir se esta distribuição do número de atropelamentos ao longo do dia ocorreu em função da variação da frequência de trens, do fluxo de pedestres ou até mesmo por fatores humanos.

Figura 7: Distribuição dos atropelamentos ferroviários no Brasil em faixas horárias (2017 – 2021)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 8: Distribuição dos atropelamentos ferroviários no Brasil nos dias da semana (2017 – 2021)

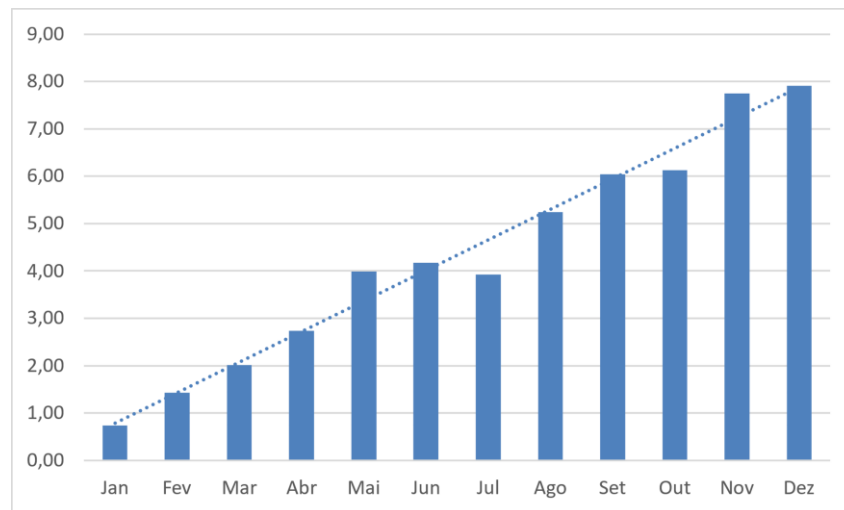


Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 8 parece confirmar a tendência da literatura sobre a maior ocorrência dos atropelamentos ferroviários nos finais de semana. Isto sugere que é importante investigar a influência de fatores humanos, como consumo de álcool, nos números de colisões trem-pedestre no Brasil.

Para analisar a distribuição ao longo do ano utilizou-se o índice de atropelamentos calculado em milhão de trem x km. Assim, foi considerada no gráfico da Figura 9 a sazonalidade dos fluxos de transporte ferroviários.

Figura 9: Distribuição mensal do índice de atropelamentos (acidentes por milhão de trem x km)



Fonte: Elaborado pela autora

Verifica-se que houve uma tendência de crescimento do índice de atropelamentos no decorrer do ano, ficando abaixo dela apenas nos meses de julho e outubro.

Ocorreram atropelamentos ferroviários na malha ferroviária concedida em 279 municípios e em 14 estados no período analisado.

A Tabela 5 apresenta o número de atropelamentos, feridos e óbitos por Estado.

Nota-se que os Estados do Sudeste, onde se localizam os maiores centros urbanos do país, são os que mais registraram atropelamentos ferroviários.

Tabela 5: Número de atropelamentos, feridos e óbitos por Estado (2017 a 2021)

Estado	Atropelamentos	Feridos	Óbitos
São Paulo	338	198	144
Minas Gerais	255	142	120
Paraná	195	114	83
Rio de Janeiro	106	61	50
Goiás	49	20	32
Santa Catarina	22	18	5
Espírito Santo	18	5	13
Bahia	16	7	9
Ri Grande do Sul	16	8	8
Ceará	8	5	3
Pará	6	4	2
Mato Grosso do Sul	4	3	1
Distrito Federal	2	2	0
Piauí	2	0	2
Total	1037	587	472

Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 6 mostra o ranking dos 10 (dez) municípios onde mais ocorreram atropelamentos ferroviários na malha concedida.

Tabela 6: Municípios mais críticos em relação aos atropelamentos ferroviários

Posição	Estado	Município	Nº de atropelamentos	Nº de Óbitos	Nº de Feridos
1	PR	Curitiba	73	45	30
2	MG	Juiz de Fora	67	29	39
3	PR	Ponta Grossa	19	8	11
4	SP	Cubatão	19	10	9
5	RJ	Barra Mansa	18	15	3
6	SP	Campinas	18	9	9
7	SP	Embu-Guaçu	17	14	3
8	MG	Belo Horizonte	15	11	4
9	PR	Piraquara	15	10	5
10	SP	Suzano	14	9	5

Fonte: Elaborado pela autora

É notável como duas cidades (Curitiba e Juiz de Fora) se destacam negativamente em relação aos atropelamentos ferroviários no Brasil. Juntas elas respondem por cerca de 13,5%

das ocorrências de atropelamentos ferroviários no período e por cerca de 14,6% das mortes. O número médio de atropelamentos ferroviários nestes dois municípios (70) é cerca de 3,6 vezes superior ao número dos Municípios que estão na terceira posição deste ranking (19). Isoladamente, os atropelamentos ferroviários em Juiz de Fora correspondem a cerca de 26% dos acidentes desta natureza no Estado de Minas Gerais. No caso de Curitiba, esta proporção é ainda maior (37,4%) em relação a todo Estado do Paraná.

Quanto aos trechos ferroviários, a Tabela 7 apresenta aqueles com os maiores números absolutos de atropelamentos no período.

Tabela 7: Linhas com maior número absoluto de atropelamentos (2017 a 2021)

Linha	Concessionária	Nº de atropelamentos	Nº de Óbitos	Nº de Feridos
Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	MRS	135	76	65
Paranaguá - Uvaranas	RMS	105	45	62
Linha de São Paulo	MRS	73	34	43
Araraquara - Ponte	RMP	56	28	28
Jundiai - Itirapina	RMP	54	20	34
Ourinhos - Cianorte	RMS	43	18	25
Ponta da Madeira - Carajás	EFFC	42	28	16
Canguera - Evangelista de Souza	RMP	40	11	29
Porto Velho - Itabira	EFVM	37	28	9
Canguera - Boa Vista Nova	RMP	37	21	16
Variante do Paraopeba	MRS	35	11	26
Garças de Minas - Calafate	FCA	31	10	22
Uvaranas - Apucarana	RMS	27	15	12

Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se na Tabela 7 que a Linha do Centro, onde está inserido o Município de Juiz de Fora, é o trecho ferroviário com maior incidência de atropelamentos ferroviários no período pesquisado, seguido pelo trecho Paranaguá – Uvaranas, que passa pelo Município de Curitiba, indicando que as ocorrências nestas cidades podem estar contribuindo para isto. Na Linha do Centro, por exemplo, os atropelamentos ferroviários em Juiz de Fora correspondem a quase a metade (49,6%) de todos os acidentes desta natureza, no período pesquisado. Contudo, o ideal para este tipo de comparação é usar os índices de acidentes, que consideram a densidade do tráfego ferroviários de cada trecho.

Dos 1037 atropelamentos ocorridos no período de 2017 a 2021 no Brasil, 785, o equivalente a cerca de 76% deles foram classificados como graves. Esta classificação de gravidade dos acidentes depende da gravidade das lesões provocadas às vítimas, do tempo de interrupção de tráfego e da ocorrência de danos ambientais conforme critérios definidos pela

ANTT (Brasil, 2006 e Brasil, 2020). Observa-se que o novo regulamento sobre registro de acidentes ferroviários, que entrou em vigor em 2020, passou a estabelecer como critério de gravidade de lesões aquele que resultar em tempo de internação das vítimas superior a 24 horas, o que até então não era bem definido. De fato, como apresentado na Tabela 8, no ano de 2021 uma proporção maior de atropelamentos foi considerada grave, o que pode ser efeito da Resolução ANTT nº 5.902/2020. Isto pode afetar inclusive as metas contratuais de segurança que consideram os acidentes graves no cálculo. Ademais, também passou a ser definido que a alteração do estado das vítimas deverá ser acompanhada até 30 dias após o evento, o que pode afetar também a proporção de óbitos.

Tabela 8: Atropelamentos graves versus não graves, de 2017 a 2021

Acidentes Graves	2017	2018	2019	2020	2021	Total Geral
Não	46	48	76	59	23	252
Sim	143	175	157	142	168	785
Total Geral	189	223	233	201	191	1037
% Graves	75,66%	78,48%	67,38%	70,65%	87,96%	

Fonte: Elaborado pela autora

Foi informado ainda pelas Concessionárias que 885 atropelamentos ferroviários no período estudado, o que corresponde a 85 % dos registros, ocorreram fora das passagens em nível, o que se supõe tratar de passagens clandestinas. Isto vai ao encontro das descobertas da literatura sobre a maior frequência de acidentes com pedestres por invasão da faixa de domínio ferroviária.

Por fim, quanto à completude dos dados obtidos da ANTT, todas as características dos acidentes utilizadas nesta análise (natureza, data, horário, local, vítimas, gravidade e se ocorreu em PN) estavam completamente preenchidas. Contudo, como se verá adiante, outras informações poderiam ser exigidas das Concessionárias para melhorar o monitoramento e a compreensão dos atropelamentos ferroviários no Brasil.

5.1.1 Comparação com atropelamentos em rodovias federais no Brasil

A Tabela 9 apresenta alguns parâmetros para comparação dos números dos atropelamentos ferroviários na malha concedida do Brasil com os números dos atropelamentos em rodovias federais. Para tanto, foram utilizados dados das rodovias obtidos da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2022).

Tabela 9: Comparação de accidentalidade e fatalidade por atropelamentos entre as rodovias federais e ferrovias no Brasil (2017 a 2021)

Parâmetros	Rodovia	Ferrovia
Extensão média da malha	120695,81 km	29690,00 km
Número médio de acidentes por ano	70785,60	740,20
Número médio de atropelamentos por ano	4542,00	207,40
Número médio de mortes por atropelamentos por ano	999,60	94,40
% de atropelamentos do total de acidentes (n.º médio atropelamentos/n.º médio de acidentes)	6,42%	28,02%
% mortes por atropelamentos nos acidentes (n.º médio de mortes por atropelamentos/n.º médio de mortes nos acidentes)	18,16%	90,60%
Taxa de fatalidade dos atropelamentos (n.º de mortes por atropelamentos/n.º de atropelamentos)	22,01%	45,52%
Índice anual de atropelamentos por 1000 km (n.º médio de atropelamentos por ano/1000 km de via)	37,63	6,99
Índice anual de mortes por atropelamentos por 1000 km (número médio de mortes por atropelamentos por ano /1000 km de via)	8,28	3,18

Fonte: Elaborado pela autora

Pode-se observar que os atropelamentos nas rodovias federais são muito mais frequentes que os atropelamentos em ferrovias, tanto em números absolutos (mais de 20 vezes maior), quanto pelo índice de atropelamentos por 1.000 km de via (mais de 5 vezes maior). Em termos de fatalidade, morreram em média 3 pessoas atropeladas por ano a cada 1000 km de ferrovias, enquanto nas rodovias federais morreram mais que o dobro deste valor, em média 8 pessoas a cada 1000 km de estradas.

Contudo, os atropelamentos ferroviários representam uma proporção maior dos acidentes nas ferrovias (28%), comparativamente aos atropelamentos nas rodovias que representam apenas 6,42% do total de acidentes nas estradas federais. Além disso, os acidentes em ferrovias costumam ser mais graves, pois mais de 45% deles resultam em morte, enquanto para os atropelamentos rodoviários a taxa de fatalidade é de 22%.

5.1.2 Comparação com atropelamentos ferroviários nos Estados Unidos

Para comparar os índices de atropelamentos ferroviários no Brasil com os números dos Estados Unidos foram utilizados dados da Federal Railroad Administration – FRA (USA, 2023), que é a Agência do Departamento de Transportes do país responsável pela

regulamentação da segurança das ferrovias federais. As redes ferroviárias americanas reguladas pela FRA pertencem às operadoras ferroviárias de carga, que são empresas privadas e são segregadas daquelas onde circulam os trens de passageiros (Clausen e Voll, 2013), operados pela National Railroad Passenger Corporation, denominada de Amtrak.

Assim, o sistema ferroviário americano regulado pela FRA é mais voltado para o transporte de cargas, assim como as concessões ferroviárias brasileiras, com exceção no caso brasileiro dos serviços regulares de passageiros da Estrada de Ferro Vitória Minas – EFVM e da Estrada de Ferro Carajás – EFC.

A Tabela 10 mostra a comparação de fatalidades em acidentes ferroviários nos Estados Unidos (EUA) e no Brasil.

Tabela 10: Comparação da fatalidade dos acidentes ferroviários nas ferrovias de cargas dos EUA e do Brasil (2017 – 2020)

Parâmetros	EUA	Brasil
Número médio de mortes em acidentes ferroviários por ano	546,25	106,00
Número médio de mortes em acidentes ferroviários envolvendo terceiros (passagens em nível e invasões) por ano	524,50	105,75
Milhões de trem x km percorridos em média pelos trens de carga por ano	767,67	63,95
Índice anual de mortes em acidentes ferroviários (n.º mortes/ milhões de trem x km)	0,71	1,66
Índice anual de mortes envolvendo terceiros em acidentes ferroviários (n.º mortes/ milhões de trem x km)	0,68	1,65

Fonte: Elaborado pela autora

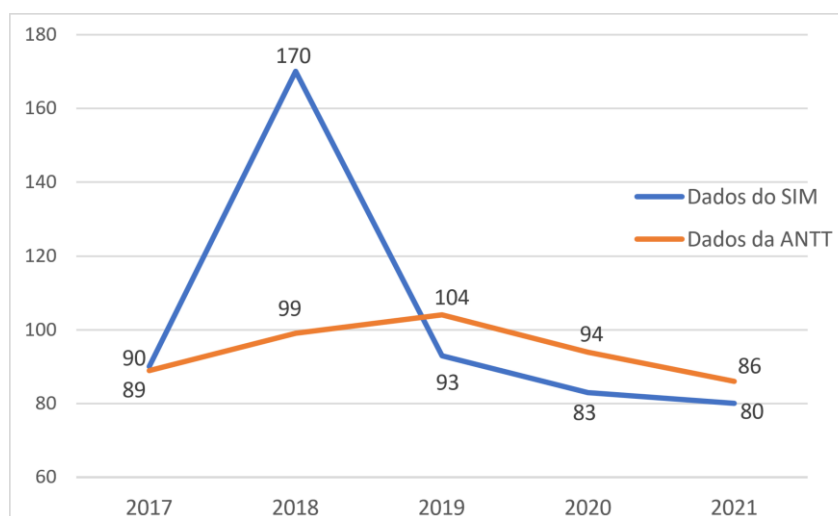
Tanto nos EUA quanto no Brasil, as mortes por atropelamentos e abalroamentos (em passagens em nível e em acidentes de invasões), em conjunto, representam uma parcela significativa do total de mortes nos acidentes ferroviários de cada país, chegando a atingir a sua quase totalidade. Apesar de possuir um fluxo de transporte de cargas por ferrovias muito inferior ao dos Estados Unidos (cerca de 12 vezes menor), o índice anual de mortes em acidentes de trens no Brasil (1,66) é maior que o dobro do índice americano (0,71), indicando que as ferrovias brasileiras são mais inseguras.

5.2 PERFIL DAS VÍTIMAS FATAIS SEGUNDO INFORMAÇÕES DO SIM

Nesta parte do trabalho serão apresentados os resultados da exploração dos dados do Sistema de Informações de Mortalidade – SIM.

Inicialmente foram comparados os dados obtidos da ANTT. A Figura 10 apresenta o resultado.

Figura 10: Comparação da quantidade de registros de óbitos do SIM e da ANTT (2017 a 2021)



Fonte: Elaborado pela autora

Foi registrado um total de 516 óbitos de pedestres traumatizados por colisões com trens no Brasil pelo SIM, no período de 2017 e 2021. No mesmo período, as Concessionárias registraram 472 óbitos por atropelamentos na malha ferroviária concedida. Era de se esperar um número mais elevado de óbitos pelo SIM relativamente aos dados da ANTT, pois aqueles supostamente abrangem todos os sistemas ferroviários do Brasil, inclusive de passageiros urbanos. O que chama atenção, no entanto, é a distribuição destes acidentes no período analisado. Os dados do SIM apresentam um pico muito acentuado em 2017, para logo em seguida permanecer em patamares inferiores aos quantitativos de óbitos da ANTT. Não foram encontradas razões para esta variação brusca, mesmo assim, prosseguiu-se com as análises.

A Tabela 11 mostra as principais características das vítimas fatais registradas no SIM no período de 2017 a 2021.

Estas informações confirmam resultados obtidos em estudos epidemiológicos de outros países que relataram que a maior parte das vítimas de atropelamentos são homens, jovens e solteiros. No caso brasileiro, considerando as informações preenchidas no SIM, 88% das vítimas de atropelamentos ferroviários no período são do sexo masculino, 61% tinham entre 20

e 49 anos, quase 67% eram negros, sendo 49% com cor da pele preta e 75% eram solteiros. Homens jovens já foram correlacionados em estudos de várias naturezas como mais propensos a assumir comportamentos de risco.

Tabela 11: Principais características das vítimas fatais registradas no SIM (2017 a 2021)

Variável	N.º	%	Completo (%)
Sexo	515	100,00	99,81
Feminino	88	17,09	
Masculino	427	82,91	
Idade	498	100,00	96,51
0-12	5	1,00	
13-19	49	9,84	
20-29	104	20,88	
30-39	102	20,48	
40-49	99	19,88	
50-59	73	14,66	
>60	66	13,25	
Cor	512	100,00	99,22
Branca	166	32,42	
Indígena	1	0,20	
Parda	254	49,61	
Preta	91	17,77	
Estado civil	448	100,00	86,82
Casado	79	17,63	
Separado judicialmente	18	4,02	
Solteiro	335	74,78	
Viúvo	16	3,57	
Escolaridade	375	100,00	72,67
Nenhuma	108	28,80	
1 a 3 anos	153	40,80	
4 a 7 anos	93	24,80	
8 a 11 anos	11	2,93	
12 e mais	10	2,67	
Área da Ocupação	263	100,00	50,97
Agricultura	31	11,79	
Construção civil	83	31,56	
Comércio	45	17,11	
Indústria	18	6,84	
Serviços	54	20,53	
Serviços domésticos	21	7,98	
Outros	11	4,18	

Fonte: Elaborado pela autora

N.º = número de registros. Na primeira linha de cada variável é o total de registros contabilizados, excluindo aqueles onde a informação no SIM constava como ignorada, nula ou apresentava erros.

% = distribuição percentual das variáveis em relação ao número de registros.

Completo (%) = percentual de registros contabilizados em relação ao total de 516 óbitos do período.

Quanto aos indicativos socioeconômicos, quase 70% das vítimas não possuíam nenhuma ou um baixo grau de escolaridade (até 3 anos). A baixa escolaridade também foi identificada na literatura como uma característica predominante das vítimas de atropelamentos ferroviários. Dos registros que continham informações sobre ocupação, verifica-se que uma grande parcela era de trabalhadores do setor de construção civil (31,56%) e de prestação de serviços (20,53%). Isoladamente, as ocupações mais registradas foram pedreiro (43), servente de obras (21), trabalhador agropecuário em geral (17), representante comercial autônomo (16) e empregado doméstico nos serviços gerais (14). Essas informações, somente disponíveis no SIM, apesar de sua relativa incompletude no sistema, são essenciais na definição de estratégias em políticas públicas para os grupos vulneráveis e, por isso, um maior empenho na pesquisa sobre elas deveria ser incentivado.

Quanto à completude das demais informações no SIM, os atributos de sexo, idade e cor tiveram maior taxa de preenchimento (mais de 90%), mas as informações das demais variáveis exploradas neste estudo também foram suficientes para a análise.

Quanto aos locais de ocorrência dos óbitos, 138 foram registrados na via pública, 136 em hospitais ou outros estabelecimentos de saúde. Porém, uma grande quantidade (237) foi registrada como ocorrida em outros locais, sem especificá-los.

Assim, como nos dados do SIM são registrados os municípios, data e horários de ocorrência dos óbitos e não necessariamente dos acidentes, estas informações não serão exploradas neste estudo. Entretanto, considerando apenas os 138 registros com óbitos ocorridos em via pública e, partindo do pressuposto de que isto significa que eles ocorreram nos locais dos acidentes, verifica-se que 80% das vítimas eram moradores das próprias cidades, sendo que Juiz de Fora (16), Rio de Janeiro (6) e Curitiba (5), foram as que tiveram mais registros neste grupo. Observa-se que Curitiba e Juiz de Fora também foram as cidades que mais tiveram registros de atropelamentos ferroviários pelos dados da ANTT.

Por fim, as duas fontes de informações com seus diferentes objetivos mostraram-se complementares e revelaram potencial para contribuir na compreensão dos atropelamentos ferroviários no Brasil e na identificação do perfil das vítimas mais vulneráveis a eles. Contudo, seria importante que elas pudessem também revelar de forma mais clara outros fatores contribuintes que foram relacionados na literatura, como a intoxicação das vítimas por álcool ou outras drogas e as circunstâncias dos acidentes, diferenciando, por exemplo, as intenções suicidas e as invasões.

5.3 ESTUDO DE CASO DE UM TRECHO CRÍTICO

Os resultados da análise descritiva com as informações de acidentes ferroviários ocorridos entre 2017 e 2021 apresentados na Seção 5.1 apontaram que um dos trechos ferroviários mais críticos em relação à frequência absoluta de atropelamentos ferroviários é a Linha do Centro (Posto do Km 64 – Km 452). Assim, este trecho foi escolhido para um estudo de caso onde foram aplicados métodos de análise de regressão. Dentre os municípios que são atravessados pela Linha do Centro, Juiz de Fora (JF) é aquele onde estão os maiores riscos de atropelamentos ferroviários, que culminaram em 67 ocorrências no período de 2017 a 2021, o que corresponde a quase metade dos acidentes do trecho. O segmento ferroviário deste município foi então o objeto da segunda etapa do estudo de caso, permitindo que fossem testadas outras variáveis em virtude de um recorte geográfico menor. Antes de apresentar os resultados das análises, é importante caracterizar os trechos ferroviários estudados.

5.3.1 Características e variáveis da Linha do Centro

A Linha do Centro tem uma extensão de 388 km, compreendido entre as estações de Posto do km 64, no Município de Japeri/RJ e Posto do km 452, no Município de Cristiano Ottoni/MG. Para fins deste estudo, porém o trecho estudado partiu da estação de Barra do Piraí, no km 108,500, localizada no município de mesmo nome. A área de abrangência do estudo em relação à linha férrea, portanto, foi de 343,5 km.

Historicamente a linha faz parte da E. F. Dom Pedro II, cujo primeiro trecho foi inaugurado em 1858, unindo as cidades do Rio de Janeiro e Barra do Piraí, onde, a partir de uma bifurcação ao norte, os trilhos seguem pela Linha Centro até Minas Gerais, com a intenção de chegar ao Rio São Francisco e depois a Belém do Pará. Em 1875, a ferrovia alcançou a cidade mineira de Juiz de Fora e, somente, em 1910 atingiu as margens do Rio São Francisco, no município de Pirapora, passando a leste de Belo Horizonte.

A linha é operada pela MRS Logística, que obteve recentemente autorização para renovação antecipada do seu Contrato de Concessão por mais 30 anos, a partir de 01/12/2026.

A malha concedida à MRS possui aproximadamente 1.643 km de extensão e interliga os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. As principais cargas transportadas na malha são minério de ferro, produtos siderúrgicos, bauxita, agrícolas (soja, farelo de soja, milho e açúcar). A MRS também efetua transportes de carvão mineral, coque, areia e celulose, além do transporte de contêineres. Como sua malha atravessa a região Sudeste, com importante

produção de siderúrgicos, combustíveis e volume crescente de cargas containerizadas, há uma tendência de melhorar o atendimento da carga geral (Assis *et al.*, 2017).

A produção de transporte, no entanto, se concentra no fluxo do heavy haul (minério de ferro, carvão e coque), operando em um sistema conhecido como “carrossel do minério”, com origem na produção das minas localizadas na região centro-oeste do Quadrilátero Ferrífero, podendo ter como destino o mercado externo, via portos localizados em Itaguaí (RJ), ou o mercado interno, para abastecimento das usinas siderúrgicas dos próprios produtores de minério de ferro nos estados de MG, RJ e SP. Dessa forma, a empresa utiliza o fluxo de retorno, caracterizado pelo aproveitamento do mesmo material rodante no sentido inverso ao do fluxo de maior representatividade, não resultando em impacto no cálculo de pares diários de trem, uma vez que o fluxo com maior volume já contempla todo o ciclo do trem. A Figura 11 representa a malha concedida à MRS, com destaque para as zonas de carga e descarga no minério de ferro.

Figura 11: Malha da MRS. Em destaque, as principais regiões de carga e descarga do minério de ferro



Fonte: MRS (2022)

Dessa forma, no trecho estudado da Linha do Centro predomina a circulação de trens vazios no fluxo de retorno da região portuária até as áreas de produção de minério em Minas Gerais.

De acordo com Assis *et al.* (2017), a MRS vem administrando um programa de gestão de segurança, tendo em vista a passagem por cidades densamente povoadas, o que gera impedâncias e maiores riscos de acidentes urbanos. Busca eficiência operacional, reduzindo o intervalo entre trens, limitada, entretanto, pelas características da sua malha, pequena, e pela localização dos pátios, em áreas urbanas, onde seriam requeridos investimentos adicionais.

As unidades de análise para recorte espacial foram os segmentos ferroviários de cada um dos 22 municípios inseridos no trecho, gerando, portanto, 22 observações para cada variável. As variáveis independentes para o estudo desta etapa, conforme descrito na Tabela 3 do Capítulo Metodologia, foram população estimada (IBGE 2021), densidade demográfica (IBGE), soma da extensão dos pátios, extensão dos perímetros urbanos e número total de passagens em nível urbanas e públicas, somadas as rodoviárias e as exclusivas de pedestres. Os valores das 3 últimas variáveis foram obtidas por meio dos recursos do *Google Earth*, que permitiram pelas suas imagens identificar as PNs e PNPs e calcular a extensão dos pátios e dos perímetros urbanos através das ferramentas de medição de distâncias. Quanto a estes últimos, cumpre esclarecer que, para este estudo, eles não se confundem com perímetros das zonas urbanas definidas por cada Município, mas foram estimados com base na observação das imagens de satélites, considerando a presença de ocupações urbanas no entorno da ferrovia.

Quanto à variável dependente desta etapa do estudo, utilizou-se o número total de atropelamentos registrados nos dados da ANTT em cada Município no período de 2017 a 2021. Apesar de ser o ideal, não foi possível obter informações sobre a frequência de trens para cada segmento ferroviário compreendido dentro dos municípios da Linha do Centro, para se utilizar o índice de atropelamentos nas análises. Contudo, pelas características relativamente homogêneas do fluxo de transporte ferroviário no trecho, entende-se que não há grandes variações de frequência de trens entre os municípios, de modo a influenciar de forma significativa os resultados do estudo.

Os valores de algumas variáveis independentes considerados nas análises são mostrados na Tabela 12 para apresentar os Municípios do trecho de estudo.

Tabela 12: Características do Municípios do trecho de estudo

Município	Nº de Atropelamentos	Nº de Óbitos	População	Extensão do PU (km)	Total de PNs/PNPs
Alfredo Vasconcelos	1	1	7052	0,8	6
Antônio Carlos	6	6	11471	2	9
Barbacena	6	0	139.061	2,8	5
Barra do Piraí	5	2	101.139	9,37	16
Belmiro Braga	0	0	3.422	0	1
Carandaí	1	0	25.831	7,7	33
Comendador Levy Gasparian	0	0	8.590	0	2
Congonhas	1	0	55.836	0,6	1
Conselheiro Lafaiete	3	2	130.584	7,4	15
Cristiano Ottoni	0	0	5.161	0	1
Ewbank da Câmara	1	1	3.932	3,5	3
Juiz de Fora	67	39	577.532	21,15	49
Matias Barbosa	3	1	14.626	0,2	7
Ouro Preto	0	0	74.824	0	0
Paraíba do Sul	9	3	44.741	7,36	18
Ressaquinha	0	0	4.826	1,1	5
Santana do Deserto	0	0	3.985	1	2
Santos Dumont	12	7	46.357	8,8	18
Simão Pereira	3	3	2.621	0,6	4
Três Rios	10	8	82.468	8,1	21
Valença	2	1	77.202	1	4
Vassouras	3	2	37.262	0,145	5

Fonte: Elaborado pela autora

5.3.2 Características e variáveis da ferrovia em Juiz de Fora/MG

O segmento da Linha do Centro que passa pelo Município de Juiz de Fora tem uma extensão aproximada de 45,5 km, cortando o centro da cidade. A sede da MRS e o Centro de Comando Operacional - CCO da malha se localizam em Juiz de Fora.

No Município também há outro trecho ferroviário que é o Ramal do Terminal da Paraibuna Metais, com 6 km de extensão, que se conecta à Linha do Centro na Estação de Benfica. Este ramal, porém, não faz parte do trecho do estudo.

A Tabela 13 reúne informações de diversas fontes para caracterizar a ferrovia em Juiz de Fora.

Tabela 13: Características operacionais da ferrovia em JF/MG

Extensão da ferrovia (Linha do Centro)	45,573 km (Km 258, 374 a 303,947)
Extensão do perímetro urbano	MRS: 21,15 km. Prefeitura: 36 km (km 294 ,300 ao km 258,300)
Bitola	Larga (1,60m)
Pátios	Posto do km 261 (km 261), Retiro km 266,233, Posto do km 271 (km 271), Juiz de Fora (km 275,077, Mariano Procópio (km 277,068), Francisco Bernardino (km 281,577), Benfica (km 288,582), Dias Tavares (km 293,771), Chapéu D'Uvas km 303,201
Velocidade máxima autorizada (VMA)	50 km/h
Restrição de velocidade	40 km/h (km 273,800 a 288,721)
Velocidade média comercial (VMC)	19 km/h
Frequência (trens/dia)	34,55 trens/dia
Comprimento do trem tipo	683, 76m
Taxa de ocupação da linha	66,1%

Fonte: Elaborada pela autora

A história da cidade de Juiz de Fora se confunde com a da própria ferrovia. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano - (PDDU) do Município reconhece a linha férrea como uma das referências marcantes da cidade e como um dos fatores que têm orientado a implantação e distribuição da mancha urbana. Assim, a ferrovia parece ter contribuído para determinar os vetores de crescimento da cidade (Gonçalves, 2016).

Assim, de acordo com Gonçalves (2016), é perceptível que em Juiz de Fora a ferrovia desempenhou papel fundamental em sua constituição. Porém, à medida que se instituíram novos bairros, o limite físico estabelecido pela ferrovia precisou ser articulado, a fim de que houvesse certa fluidez no trânsito de veículos e pedestres que precisam acessar os dois lados de seu leito. Assim, essas travessias estabelecidas ao longo da linha férrea são responsáveis por inúmeros casos de acidentes.

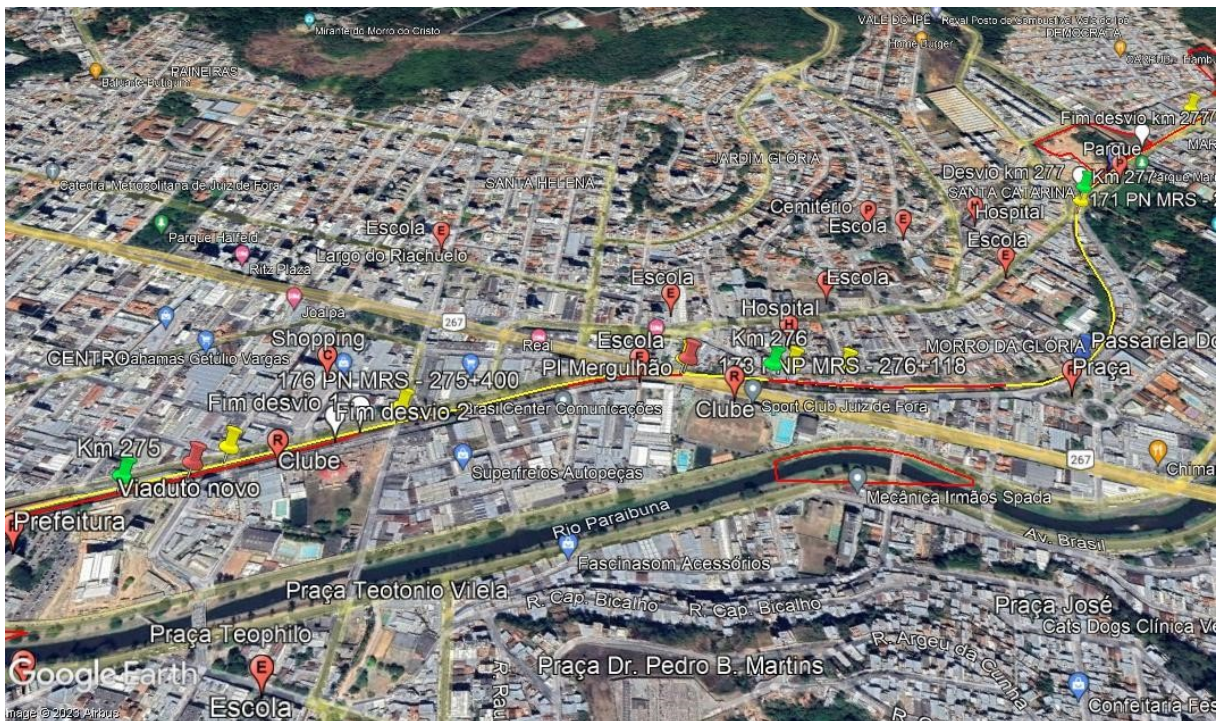
De fato, conforme mostrado, a cidade é uma das mais críticas do país em número de registros de atropelamentos ferroviários. As Figuras 12 e 13 apresentam imagens de satélite de uma parte do trecho que atravessa a cidade, onde foram cadastrados vários elementos e pontos de referência para os estudos.

Figura 12: Imagem de satélite de um segmento ferroviário entre os kms 282 e 284 em JF/MG



Fonte: *Google Earth*

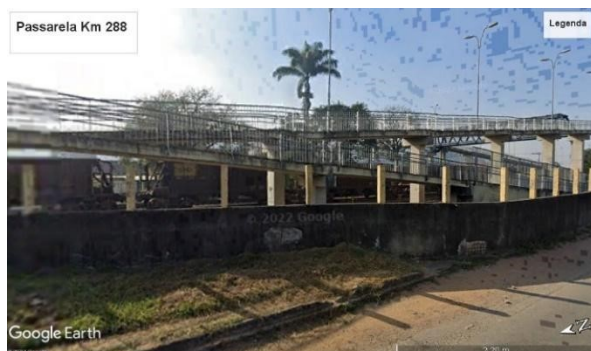
Figura 13: Imagem de satélite do segmento ferroviário entre os kms 275 e 277, em JF/MG



Fonte: *Google Earth*

Assim, além de servir para coletar as informações que foram utilizadas como variáveis independentes nas análises explicativas, a ferramenta do *Google Earth* contribuiu para observar como a ferrovia se desenvolve dentro da cidade (ou a cidade se desenvolve ao longo da ferrovia). Verifica-se que a ferrovia e o tecido urbano estão quase sempre no mesmo nível, gerando muitas oportunidades de interação dos dois domínios. A vedação, quando existente, não é capaz de impedir de forma eficiente o acesso de transgressores às áreas ferroviárias. Os pontos de travessia desta malha ferroviária, onde o acesso da população é permitido, respeitadas as posturas de segurança, são as 16 passagens em nível rodoviárias, 32 passagens em nível de pedestres, 16 passarelas, que foram identificadas neste estudo, além dos viadutos rodoviários e trincheiras. As Figuras 14 e 15 apresentam fotos do trecho extraídas da ferramenta do *Street View do Google Earth*.

Figura 14: Passarela no km 288



Fonte: *Google Earth*

Figura 15: PNP no km 266



Fonte: *Google Earth*

Além destes pontos de interseções das malhas rodoviária e ferroviária, foram coletadas informações de características da ferrovia (extensão das linhas, somadas as linhas dos pátios, extensão dos segmentos em curva, existência de vedação) e de seu entorno (escolas e hospitais existentes, tipo de uso do solo predominante e taxa de ocupação urbana). Estes atributos da ferrovia e de seu entorno foram observados e, quando possível, cadastrados nas imagens do *Google Earth* para formar o conjunto de variáveis (independentes) que foram usados para tentar explicar o número de atropelamentos (ou o índice) nos modelos propostos, conforme mostrado na Tabela 3 do Capítulo Metodologia. Os recursos do *Google Earth* de medição de distâncias e de cálculo de áreas de polígonos foram usados para medir as extensões de linhas e áreas das manchas de ocupação urbana.

Quanto à área de influência utilizada como limite para coletar as informações do entorno da ferrovia, que foi definido em 200 metros para cada lado da faixa de domínio ferroviária implantada, é necessário esclarecer que ela foi dimensionada em função da

configuração local. Ocorre que o desenho da ferrovia acompanha relativamente o curso do Rio Paraibuna em grande parte de sua extensão, ora se afastando, ora se aproximando dele, mas mantendo uma distância média em torno de 200 metros de suas margens. Como o rio também é um elemento segregador do espaço urbano, esta distância foi utilizada para delimitar a área do estudo. A bem da verdade é que a ferrovia exerce influência sobre toda a cidade, por isto, entende-se que dimensionar a extensão de seu impacto depende do objetivo do estudo e do modo de viagem que está sendo considerado. Como neste caso, o foco dos estudos são os pedestres, a área de influência escolhida de 200 metros para cada lado da ferrovia parece razoável para travessias a pé.

Feitos estes esclarecimentos adicionais sobre a metodologia utilizada, na Seção 5.3.4 são apresentados e interpretados os resultados dos modelos gerados a partir dela.

5.3.3 Atropelamentos Ferroviários em Juiz de Fora

Para melhorar a compreensão sobre os atropelamentos ferroviários em Juiz de Fora foi realizado um breve estudo exploratório dos dados da ANTT e do SIM cujos resultados são mostrados a seguir.

Como mostrado na Tabela 14, no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021 foram registradas 67 colisões de trens com pedestres em Juiz de fora, de acordo com as informações da ANTT. O número de eventos, em termos absolutos, aumentou em 2021, considerando que nos anos anteriores ele oscilava entre 12 e 14 e subiu para 16 naquele ano. Porém é mais adequado utilizar o índice de atropelamentos para inferir sobre isto.

Tabela 14: Número de atropelamentos ferroviários em JF (2017 a 2021)

	2017	2018	2019	2020	2021	Tota l
N.º de atropelamentos (ANTT)	14	12	13	12	16	67
N.º de óbitos (ANTT)	9	7	10	9	4	39
N.º de óbitos (SIM)	9	10	7	5	2	33

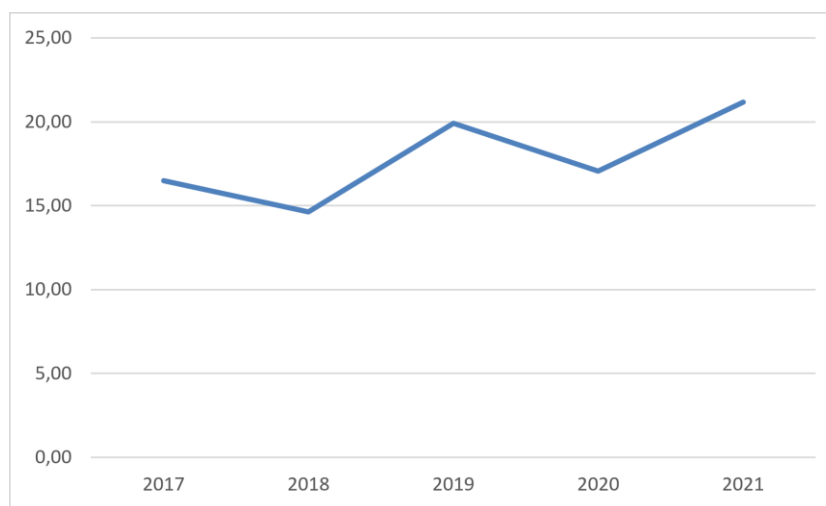
Fonte: Elaborado pela autora

Apesar do aumento no número de eventos ter aumentado no último ano de análise, o número de óbitos decorrentes deles reduziu nos últimos 3 anos. Observa-se que o número de óbitos registrados no período em Juiz de Fora pelo SIM (33) é inferior àqueles registrados na

ANTT (39), porém esta diferença pode ser justificada pelo fato de que os primeiros se referem ao local do óbito, inclusive hospitais, e a segunda fonte registra o município de ocorrência dos acidentes, e, por isto, é mais indicada para este tipo de análise. Pode ocorrer, por exemplo, que pessoas atropeladas em Juiz de Fora sejam hospitalizadas e venham a óbito em outra cidade, ou o contrário, o que é mais provável, já que Juiz de Fora é classificada como uma capital regional, de acordo com critérios do IBGE. A Figura 15 apresenta a evolução do índice de atropelamentos (n.º de atropelamentos/ 1000 trens) no município.

Sobre ela, cabe esclarecer que o índice de atropelamentos utilizado nesta análise foi calculado pelo quociente do número de acidentes por ano pela frequência média de trens por ano, sendo o resultado multiplicado por 1000 para se obter a unidade n.º de atropelamentos/ 1000 trens. Como se trata de um uma unidade de análise espacial bem menor que a de um país, não se julgou razoável utilizar a unidade milhões de trem x km neste cálculo. Isto posto, pode-se perceber pelo gráfico da Figura 16 que de fato houve um aumento do índice de atropelamentos no último ano de análise, apesar de não ser verificada uma variação muito brusca em todo o período.

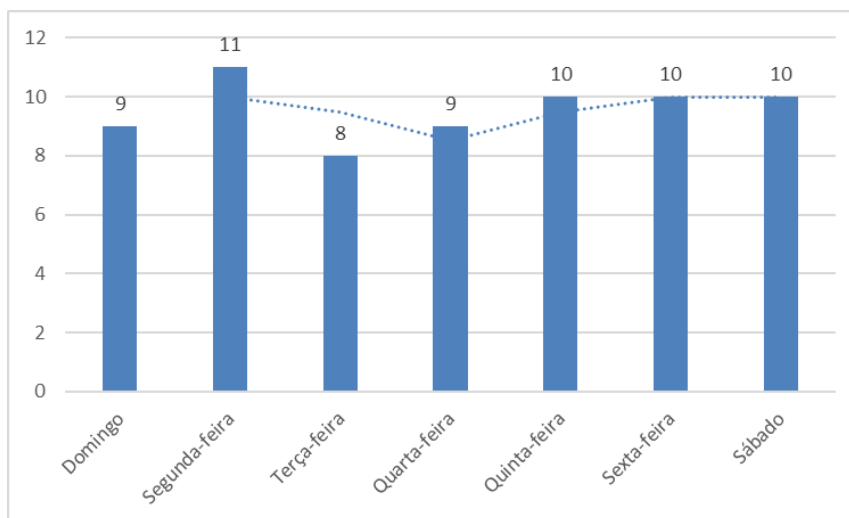
Figura 16: Evolução do índice de atropelamentos (n.º de atropelamentos/ 1000 trens) em JF (2017 a 2021)



Fonte: Elaborado pela autora

Para investigar uma possível influência dos dias da semana no comportamento dos 67 atropelamentos ferroviários registrados pela ANTT em JF, no período em análise, é apresentado o gráfico da Figura 17.

Figura 17: Distribuição dos atropelamentos ferroviários em JF nos dias de semana (2017 a 2021)

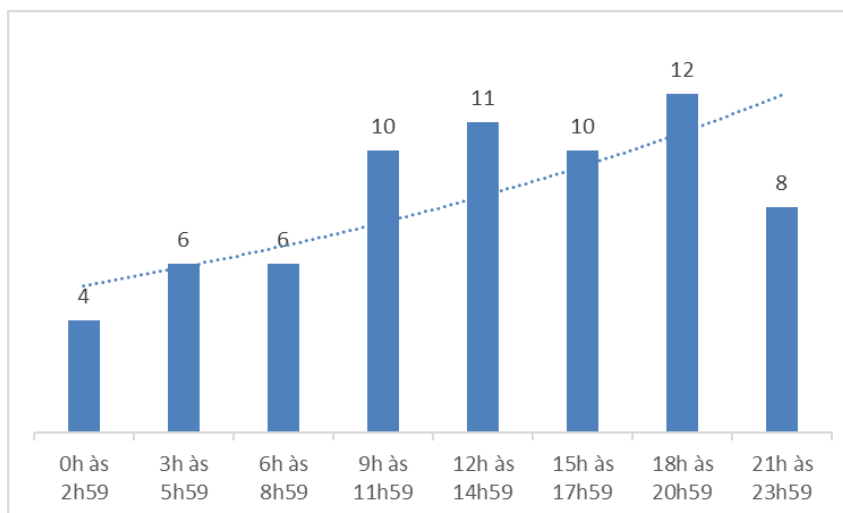


Fonte: Elaborado pela autora

Pelo gráfico, parece não haver grande influência dos dias da semana no número de ocorrências de atropelamentos ferroviários, de forma que o comportamento nos dias da semana e nos finais de semana não sofreram grandes variações.

Em relação às faixas horárias, o gráfico apresentado na Figura 18 indica que os eventos ocorrem com maior frequência no horário de 09hs às 21hs, mantendo-se relativamente homogêneos neste período do dia, com um leve pico na última faixa horária, de 18hs às 21hs. Seria necessário conhecer a frequência horária de trens que passam pelo município para inferir se uma eventual variação dela ao longo do dia interfere na distribuição horária dos acidentes ou isto pode ser explicado por outros comportamentos, como fatores humanos.

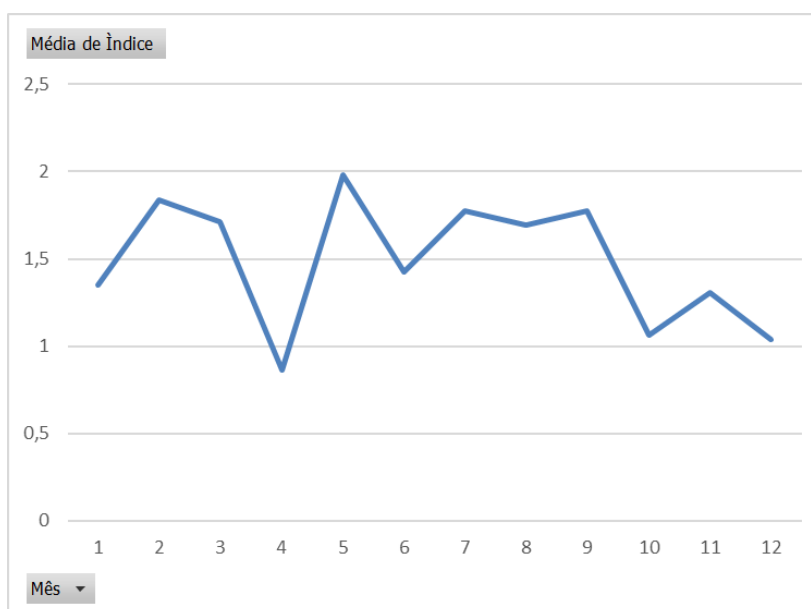
Figura 18: Distribuição dos atropelamentos ferroviários em JF em faixas horárias durante o dia (2017 a 2021)



Fonte: Elaborado pela autora

Para investigar um possível comportamento sazonal dos atropelamentos ferroviários em JF é apresentado o gráfico da Figura 19.

Figura 19: Distribuição ao longo do ano do índice de atropelamentos ferroviários em JF (n.º de atropelamento/1000 trens), para o período de 2017 a 2021.



Fonte: Elaborado pela autora

Passa-se em seguida a analisar as possíveis contribuições do SIM para compreender o fenômeno dos atropelamentos ferroviários em Juiz de Fora.

Mesmo considerando que nem todos os óbitos por atropelamentos registrados no município neste sistema de informações decorreram de acidentes ocorridos em suas linhas férreas, julgou-se válido explorar estas informações, que são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15: Principais características das vítimas fatais registradas no SIM, de óbitos ocorridos em JF/MG, no período 2017 a 2021 (elaborado pela autora)

Variável	N.º	%	Completo (%)
Sexo	33	100,00	100
Feminino	7	21	
Masculino	26	79	
Idade	33	100,00	100
0-12	0	0	
13-19	2	6	
20-29	10	30,3	
30-39	5	15,2	
40-49	8	24,3	
50-59	4	12,1	
>60	4	12,1	
Cor	33	100,00	100
Branca	15	45,5	
Parda	11	33,3	
Preta	7	21,2	
Estado civil	26	100,00	79
Casado	5	19,2	
Separado judicialmente	1	3,8	
Solteiro	20	77	
Escolaridade	23	100,00	70
Nenhuma	8	35	
1 a 3 anos	6	26	
4 a 7 anos	8	35	
8 a 11 anos	0	0	
12 e mais	1	4	

Fonte: Elaborado pela autora

N.º = número de registros. Na primeira linha de cada variável é o total de registros contabilizados, excluindo aqueles onde a informação no SIM constava como ignorada, nula ou apresentava erros.

% = distribuição percentual das variáveis em relação ao número de registros.

Completo (%) = percentual de registros contabilizados em relação ao total de 516 óbitos do período.

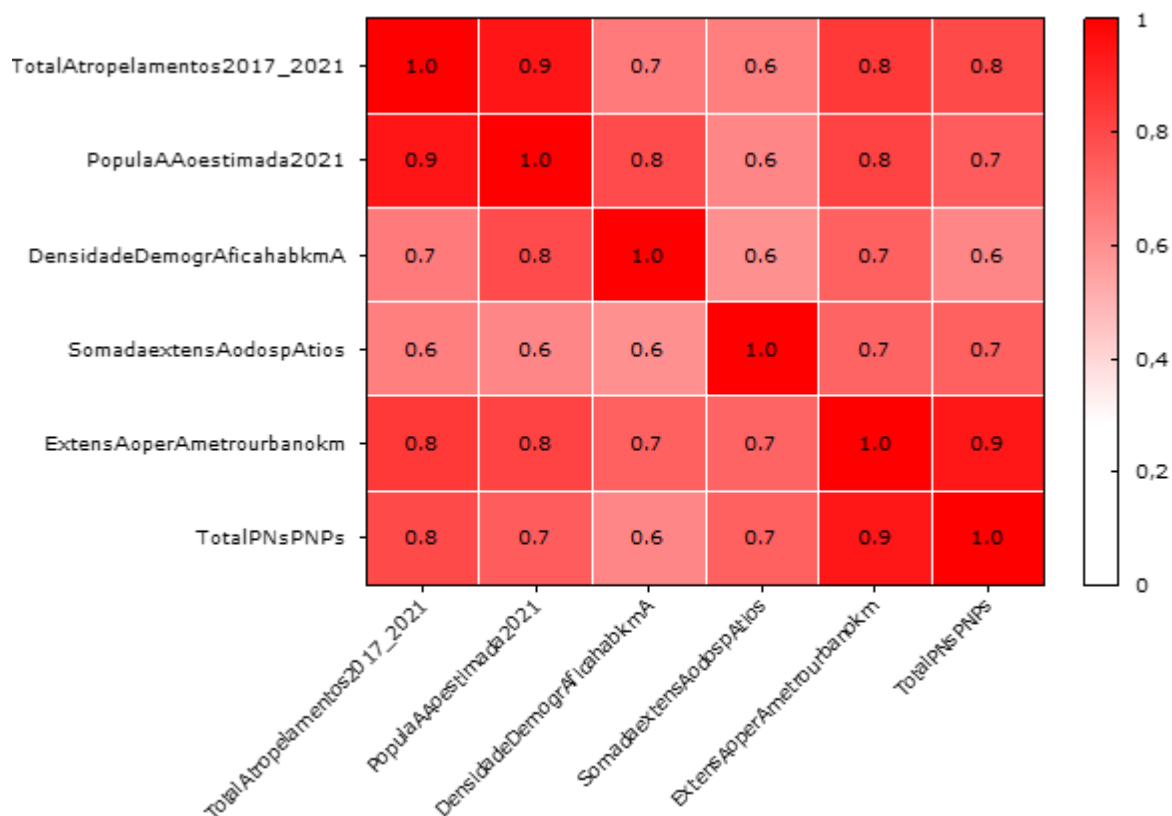
Estas estatísticas mostram que o perfil típico das vítimas de atropelamentos ferroviários se repete em Juiz de Fora, com predomínio de homens (79%), jovens (69% com idade entre 20 e 49 anos), solteiros (77%) e de baixa escolaridade (61% 0 a 3 anos de estudo). Quanto à raça, não se observa desproporção acentuada entre os indivíduos considerados de raça negra (54,5%) em comparação com os reconhecidos como de raça branca (45,5%).

5.3.4 Resultados dos modelos

Feitas as considerações necessárias sobre a metodologia e os estudos estatísticos preliminares, passa-se a apresentar os resultados da aplicação dos métodos de análise propostos para este trabalho.

Os primeiros resultados apresentados nas Figuras 20 a 22 provêm da aplicação do método de Correlação de Person, detalhado na Metodologia, utilizando as variáveis da Tabela 3 do mesmo Capítulo.

Figura 20: Matriz de Correlação de Person para grupo de Municípios da Linha do Centro



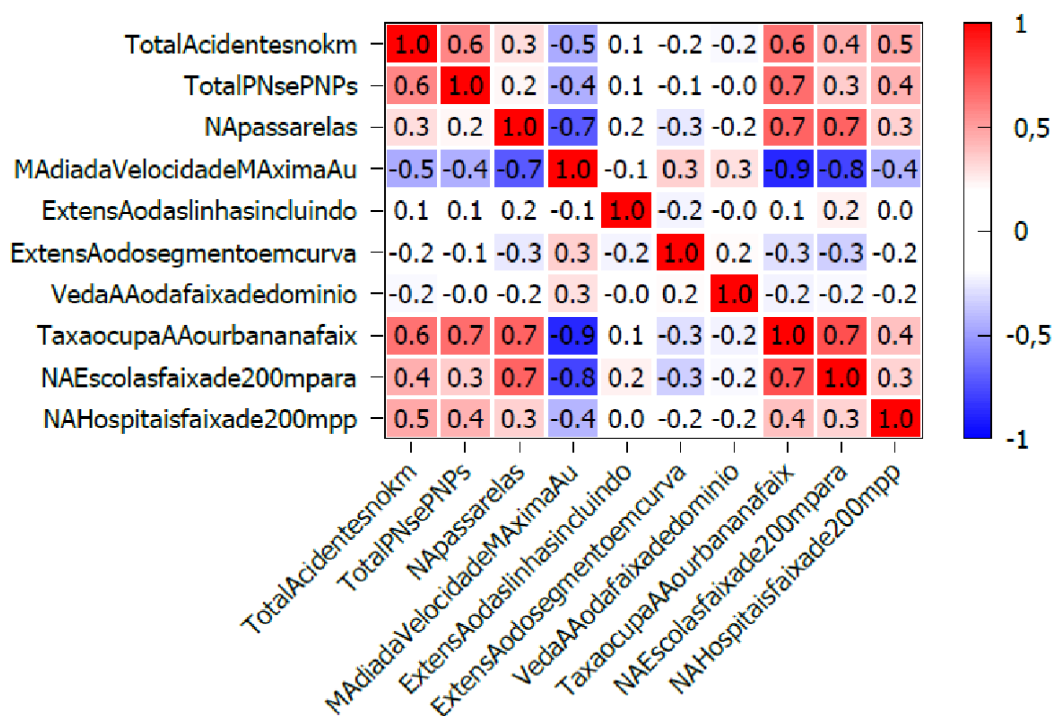
Fonte: Elaborado pela autora

Considerando como variável dependente o número total de atropelamentos no período 2017-2021 (TotalAtropelamentos2017_2021), as variáveis independentes que apresentaram

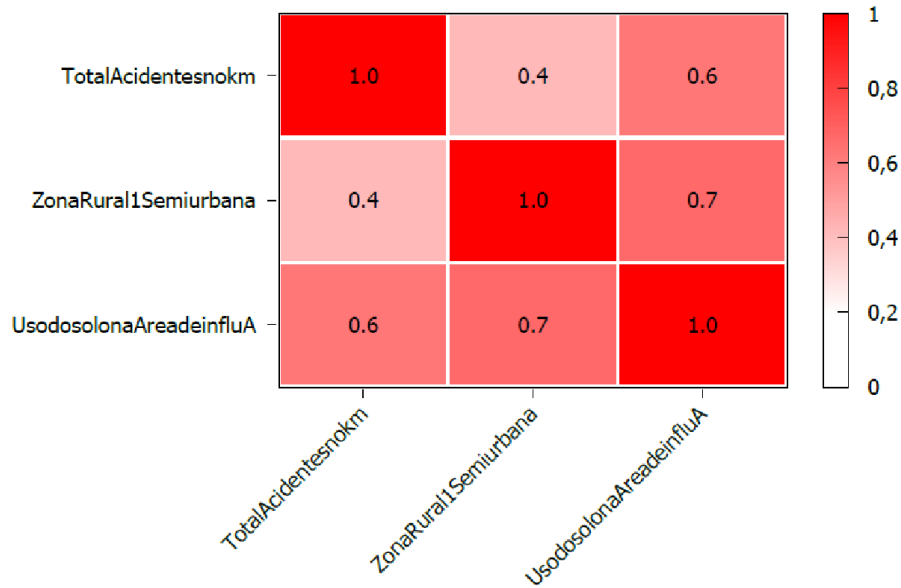
uma correlação forte com ela (0,8 a 0,9) foram a população estimada, a extensão dos perímetros urbanos e o total de PNs e PNPs. Apresentaram uma correlação moderada, a densidade demográfica e a soma da extensão dos pátios. Todas as associações foram positivas e foram geradas um total de 22 observações para cada variável.

As Figuras 21 e 22 apresentam os resultados da Correlação de Person para as variáveis do Município de Juiz de Fora, divididas em dois grupos

Figura 21: Matriz de Correlação de Person para grupo para variáveis em JF



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 22: Matriz de Correlação de Person para grupo 2 de variáveis em JF

Fonte: Elaborado pela autora

As Figuras 20 e 21 mostram que as associações para as variáveis coletadas no Município de Juiz de Fora não foram tão significativas quanto as anteriores. Os resultados mais promissores, em relação ao total de acidentes no km (TotalAcidentesnokm) foram de uma correlação moderada e positiva (em vermelho) com o total de PNs e PNPs, com a taxa de ocupação urbana e os tipos de uso do solo. Este resultado chama a atenção para a importância das medidas de controle de fatores relacionados à ocupação urbana no entorno da ferrovia.

Foram geradas 46 observações referentes a cada quilômetro de ferrovia dentro de JF. Recomenda-se, no entanto, nos próximos estudos, estender a área de observações para além dos limites do município ou para outras linhas para minimizar efeitos de uma possível homogeneidade de características dentro do mesmo recorte espacial. Um exemplo disso é a Velocidade Máxima Autorizada - VMA, que, em que pese as restrições de seu limite impostas para algumas áreas mais sensíveis a risco de acidentes, tendem a sofrer pouca variação em segmentos muito curtos.

Feitos estes primeiros ensaios, as variáveis que se mostraram mais significativas foram priorizadas para gerar os modelos, do software *Gretl*, cujas saídas são apresentadas na Tabela 16, com aplicação dos Métodos *Tobit* e MQO (OLS).

Tabela 16: Resumo das estatísticas dos modelos econométricos

<i>Modelo</i>	<i>Variável Dependentes</i>	<i>Variável independente</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>Estatística - z</i>	<i>Razão t</i>	<i>p-valor</i>	<i>R²</i>
(1) <i>Tobit</i>	Número de atropelamentos 2017-2021 no município (22 observações)	População estimada 2021	0,00010	1,4206	7,249		<0,0001	-
		Densidade demográfica	-0,0382	0,0154	-2,490		0,0128	-
		Extensão do Perímetro Urbano	0,9817	0,3272	3,001		0,0027	-
(2) <i>MQO</i>	Número de atropelamentos 2017-2021 no município (22 observações)	População estimada 2021	0,0001	1,3723	-	7,903	<0,0001	0,935
		Densidade demográfica	-0,044	0,0146	-	-3,020	0,0074	
		Extensão do perímetro urbano	0,8100	0,2912	-	2,782	0,0123	
(3) <i>Tobit</i>	Índice de atropelamentos no km em JF (46 observações)	Média da VMA	0,0057	0,0029	1,981		0,0476	
		Taxa de ocupação urbana	0,2540	0,0554	4,584		<0,0001	
(4) <i>MQO</i>	Índice de atropelamentos no km em JF (46 observações)	Média da VMA	0,0035	0,0018		1,882	0,0666	0,4533
		Taxa de ocupação urbana	0,133816	0,0305		4,384	<0,0001	
(5) <i>Tobit</i>	Índice de atropelamentos no km em JF (46 observações)	Média da VMA	0,0077	0,0022	3,538		0,0004	
		Zona urbana/rural	0,0366	0,0155	2,352		0,0187	
		Taxa de ocupação urbana	0,2259	0,0467	4,838		<0,0001	
		Número de hospitais	0,0553	0,0308	1,795		0,0727	
(6) <i>MQO</i>	Índice de atropelamentos no km em JF (46 observações)	Média da VMA	0,0069	0,0019		3,647	0,0008	0,7038
		Existência de vedação	-0,0114	0,0060		-1,910	0,0638	
		Zona urbana/rural	0,01942	0,01042		1,864	0,0703	
		Taxa de ocupação urbana	0,1271	0,0352		3,611	0,0009	
		Número de hospitais	0,0367	0,0151		2,421	0,0205	

Fonte: Elaborado pela autora

Observando os resultados, parece que ambos os métodos se aderiram bem aos modelos, ou seja, apresentaram boa capacidade explicativa. A grande maioria das variáveis independentes nos modelos mostraram-se significantes (p -valor $< 0,05$), ou sejam, elas exercem influência sobre o a soma total ou o índice de acidentes conforme o caso, para o período analisado, de 2017 a 2021. Isto não se observa apenas para as variáveis média da VMA no

Modelo 4 (MQO), número de hospitais no Modelo 5, existência de vedação e número de hospitais, ambos no Modelo 6.

Observa-se, contudo, que no Modelo 3 a distribuição dos resíduos não foi normal, indicando que pode haver algo que o modelo não captou.

Por fim, verifica-se que os resultados confirmam a influência de fatores relacionados à ocupação do espaço nos atropelamentos ferroviários

5.4 PROPOSIÇÕES PARA MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MONITORAMENTO DOS ATROPELAMENTOS FERROVIÁRIOS

A partir de uma melhor compreensão de fatores que podem influenciar os riscos de atropelamentos ferroviários, a última etapa deste trabalho pretende discutir o estado da arte das medidas de segurança adotadas nas passagens em nível no Brasil e a maturidade do arcabouço legal que rege o assunto, à luz das descobertas da literatura sobre as ações propostas para prevenir e monitorar acidentes ferroviários envolvendo pedestres. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas adicionais, inclusive documentais, sobre normas técnicas e legais, programas e ações em curso ou previstos voltados para a segurança de pedestres nas travessias ferroviárias, tanto por parte do Governo Federal, quanto por parte das Concessionárias. Da análise destes documentos, foi possível identificar algumas lacunas e propor melhorias que podem orientar políticas públicas e investimentos com vistas a reduzir os riscos de acidentes ferroviários envolvendo pedestres em travessias urbanas no Brasil, de acordo com o último dos objetivos específicos deste trabalho. Estas diretrizes são especialmente importantes diante das recentes perspectivas de investimentos para o setor ferroviário.

É necessário, contudo, identificar primeiramente os atores que estão envolvidos neste complexo sistema de segurança das passagens em nível.

5.4.1 Os atores envolvidos no sistema de segurança das passagens em nível de pedestres

Como descrito anteriormente, de acordo com a abordagem sistêmica, os acidentes resultam de uma cadeia de decisões e ações (ou da falta delas) de atores alocados em níveis hierárquicos, que vão desde aqueles mais próximos dos eventos, no espaço e no tempo, até os níveis decisórios mais elevados. Assim, os atores envolvidos neste sistema ao mesmo tempo que afetam, são afetados pelas posturas dos demais.

Baseado nisso, para compreender a estrutura funcional do sistema de segurança das passagens em nível no contexto brasileiro é necessário identificar os principais atores e analisar suas posturas, bem como as responsabilidades que lhes cabem. Passa-se então a apresentar aqueles que foram considerados os principais atores deste sistema, tendo como referência os níveis hierárquicos propostos por Read *et al.* (2021)

5.4.1.1 *Usuários das vias*

Este grupo abrange terceiros à operação ferroviária, que utilizam suas áreas, num espaço e tempo limitados, para realizar travessias das linhas férreas e acessar as funções urbanas. Diz-

se usuários da via porque se espera que eles façam esta travessia numa via pública designada que se cruza com a via férrea, sendo esta área de interseção denominada passagem em nível, como já esclarecido. Fundamentalmente os usuários desta via são os motoristas, motociclistas, pedestres, ciclistas, etc., que podem ser agrupados apenas em motoristas e não motoristas, embora esta definição acabe por reforçar a preferência que se dá para estes usuários da via. Contudo o foco deste estudo são os pedestres, aqui entendidos por todos aqueles que fazem a travessia da linha pelo modo a pé, por bicicletas ou outros modos ativos de transporte, em vias designadas ou não (trilhas clandestinas).

Pedestres são as principais vítimas de acidentes ferroviários em todo o mundo, em termos de fatalidade. Ao mesmo tempo que são o grupo mais vulnerável, eles têm a maior latitude de comportamentos dentro do sistema das passagens em nível. Assim, a combinação da inércia dos trens em movimento, com a latitude de comportamentos dos pedestres e a diferença de massa entre eles justifica a gravidade típica dos atropelamentos ferroviários.

Acontece que muitas vezes os pedestres se utilizam desses graus de liberdade de movimento para comportamentos inseguros nas áreas ferroviárias, de forma deliberada ou não. Não por acaso que fatores humanos têm sido apontados como aqueles que mais contribuem para os acidentes nas passagens em nível. As contramedidas, neste sentido, auxiliam a criar barreiras a estes movimentos e a conduzi-los às áreas de travessias indicadas onde, supostamente, teriam mais segurança. Mesmo assim, elas (as medidas de engenharia) nem sempre são suficientes para impedir os comportamentos inseguros de transgressores deliberados. Existe, no entanto, um consenso de que, quanto mais eficazes as medidas de segurança, menos graus de liberdade para comportamentos inseguros os pedestres terão. Travessias seguras, portanto, deveriam ser o objetivo de todos os atores envolvidos no sistema das passagens em nível, ou pelo menos quando não for possível a eliminação delas.

Neste sentido, a responsabilidade dos pedestres neste sistema, pode ser resumida em abster-se de comportamentos inseguros nas travessias ferroviárias. E isto inclui comportamentos que são proibidos por força de lei, como invadir áreas ferroviárias (os acidentes ferroviários com pedestres resultantes de invasão foram apontados como os mais frequentes), ou apenas desaconselhados pelas posturas de segurança, como usar dispositivos de distração (celulares, fones de ouvido) ao atravessar as linhas férreas.

Quanto ao dever da obediência às normas legais, o Código de Trânsito Brasileiro - CTB, em seu Art. 29, Inciso XI, definiu que os veículos que se utilizam de trilhos têm preferência de passagem em relação aos demais. O Manual Brasileiro de Sinalização de Cruzamentos Rodoferroviários (Brasil, 2021) menciona também dispositivos da Convenção de Viena sobre

o Trânsito Viário com o mesmo teor. A razão para esta medida, amplamente adotada em todo o mundo, reside na necessidade de maior tempo para parada completa (maior inércia) das composições ferroviárias relativamente aos demais modos de transporte. Para o motorista, constitui falta gravíssima desobedecer a esta norma.

Não obstante à discussão sobre um conceito mais amplo de veículos, parece que o diploma legal brasileiro não considerou expressamente os pedestres nesta obrigatoriedade e muito menos define punição para a transgressão da norma por este grupo de usuários da via. Apesar de ter sido mostrado em um dos estudos da literatura que as ações punitivas tiveram mais eficácia do que as educativas para coibir comportamentos inseguros nas travessias ferroviárias, muitos estudos reconheceram que elas não são colocadas em prática, mesmo quando regulamentadas no país

Por fim, mesmo que não participem na sua elaboração (técnica) das contramedidas para prevenção de acidentes em passagens em nível (embora seja desejável que participem da concepção delas em alguns casos), os usuários da via têm um papel prático de significativo impacto nesses projetos. Dessa forma, cada usuário deve estar comprometido, no seu dia a dia, com a melhoria da segurança viária (Brasil, 2021).

5.4.1.2 Concessionárias e outras Administrações ferroviárias

As ferrovias são operadas pelas empresas que receberam por intermédio da União a concessão para exploração do serviço ferroviário de cargas, as Concessionárias.

Num sentido mais amplo, a Administração Ferroviária define-se como a empresa privada, o órgão ou entidade pública competentes, que já existam ou venham a ser criados, para construção, operação ou exploração comercial de ferrovias (Brasil, 1996).

Dentre as obrigações contratuais e legais das Concessionárias estão a de manter as condições de segurança operacional da ferrovia, implantando dispositivos de proteção e segurança ao longo dela e de prestar serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, atendendo às condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia e modicidade das tarifas. Elas têm que cumprir ainda metas contratuais de segurança para redução de acidentes.

Quanto à postura que se aplica às passagens em nível, as Concessionárias devem estar em conformidade com o seu próprio Regulamento de Operação Ferroviária (ROF) e com as normas técnicas aplicáveis à ferrovia.

Contudo, como os cruzamentos rodoferroviários são locais de convergência dos dois modos de transporte, é necessário definir as responsabilidades de cada um dos responsáveis sobre as vias (fêrrea e rodoviária).

Sobre a fixação dos pontos de cruzamento das linhas ferroviárias, o Decreto nº 1.832, de 4 de março de 1996, que aprova o Regulamento dos Transportes Ferroviários – RTF, definiu que a Administração Ferroviária não pode impedir a travessia de suas linhas (que deve ser feita preferencialmente em desnível), mas cabe a ela a decisão sobre os pontos de cruzamento, sendo as condições de travessia no mesmo nível estabelecidas entre as partes (Administração Ferroviária e órgão com circunscrição sobre a via). Quanto aos encargos decorrentes da construção e manutenção das obras e instalações necessárias ao cruzamento, bem como pela segurança da circulação no local, estes deverão ser assumidos pelo responsável pela execução da via mais recente (Brasil, 1996).

Não há dúvida de que os responsáveis pela circulação dos trens devem manter as condições de segurança das linhas fêrreas, inclusive na área dos cruzamentos rodoferroviários garantindo, entre outros requisitos, a adequada manutenção da via permanente, a regularização da sua drenagem e o cumprimento dos procedimentos operacionais na ferrovia, que inclui a sinalização ferroviária. Também é clara a responsabilidade do órgão com circunscrição sobre a via quanto à implantação, manutenção e operação do sistema de sinalização, dos dispositivos e dos equipamentos de controle viário, inclusive nas vias rodoviárias dos cruzamentos rodoferroviários.

Ocorre, contudo, que a sobreposição destas responsabilidades, principalmente relativas à área da interseção propriamente dita, muitas vezes dá margem ao “jogo de empurra” entre os atores responsáveis pela segurança das passagens em nível. Isto pode indicar uma necessidade de regulamentações adicionais sobre o tema, inclusive quanto às responsabilidades relativas às passagens em nível exclusivas de pedestres. Fato é que as Administrações Ferroviárias e os órgãos responsáveis pelas vias rodoviárias das passagens em nível (geralmente os Municípios) deveriam atuar em consonância para garantir as condições de segurança destes pontos sensíveis aos riscos de acidentes, que, por sua vez, trazem danos tanto à comunidade quanto às operações ferroviárias.

Por fim, para além das questões afetas ao cumprimento de obrigações, as posturas das Concessionárias Ferroviárias influenciam o sistema das passagens em nível, desde os níveis técnicos mais próximos delas até os níveis decisórios mais elevados, responsáveis pelas políticas da empresa e alocação de se seus recursos, embora submetidos em parte aos órgãos de regulação.

5.4.1.3 *Governo Local*

Este grupo é composto basicamente pelas Prefeituras e algumas vezes pelos Estados, casos em que eles são os responsáveis pelas vias rodoviárias dos cruzamentos rodoferroviários.

Além das obrigações anteriormente descritas relativas às passagens em nível, as Prefeituras são responsáveis por garantir, à despeito de seu municípios, a reserva das áreas não edificáveis ao longo das ferrovias (de 15 metros para cada lado) estabelecidas pela Lei n.º 6.766/1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Trata-se de uma área adicional à faixa de domínio da ferrovia (de propriedade da União) que visa aumentar a segurança (e por que não a saúde?) da população lindeira à ferrovia. Ela é, portanto, uma área de propriedade particular que possui uma limitação administrativa de não construção, que, por sua vez, deve ser fiscalizada pelas Prefeituras, responsáveis pelo ordenamento do uso e ocupação do solo.

Dessa forma, as posturas das Prefeituras (e seus municípios) têm um impacto significativo na segurança das operações ferroviárias que ocorrem em seu território. Foi inclusive demonstrado neste estudo que fatores relacionados à ocupação urbana influenciam a ocorrência de atropelamentos ferroviários. Assim, as Prefeituras, ao não impedirem o crescimento desordenado das cidades às margens da ferrovia ou ao pressionarem pela abertura de vias com cruzamentos em nível, sem as contrapartidas de segurança necessárias, podem contribuir para o aumento dos riscos de atropelamentos ferroviários,

5.4.1.4 *ANTT (Reguladores)*

Lidar com tantas Concessionárias, por si só, já parece um desafio para a ANTT, que foi instituída em 2001 pela Lei n.º 10.233, como órgão regulador da atividade de exploração da infraestrutura ferroviária e rodoviária federal, e da atividade de prestação de serviços de transportes terrestres, sob regime autárquico especial (Castorino, 2014).

A seguir são destacados os principais dispositivos deste texto legal, que evidenciam o papel da ANTT na regulação do transporte ferroviário, com ênfase no tratamento das questões relacionadas aos conflitos urbanos das ferrovias.

Dentre os objetivos de criação da ANTT estão: regular ou supervisionar as atividades de prestação de serviços e de exploração da infraestrutura de transportes exercidas por terceiros, visando, neste caso, garantir a movimentação de pessoas e bens e harmonizar os objetivos dos agentes do setor, arbitrando conflitos e prevenindo condutas anticoncorrenciais e infrações à ordem econômica (Brasil, 2001).

O parágrafo 2º do artigo 22 prevê que a ANTT harmonize sua esfera de atuação com a de órgãos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios encarregados do gerenciamento de seus sistemas viários e das operações de transporte intermunicipal e urbano (Brasil, 2001).

Esta atribuição foi internalizada pela Agência por meio da Resolução nº 5.976/22, que aprova seu Regimento Interno, dispondo como uma das competências da Superintendência de Infraestrutura e Serviços de Transporte Ferroviário de Cargas - SUFER, a de propor medidas para mitigar conflitos entre a ferrovia e os centros urbanos em articulação com entidades públicas e de governo envolvidas (Brasil, 2022d).

De acordo com Castorino (2014) a União, por meio da atuação da ANTT no âmbito da mediação de conflitos ferroviários urbanos, tem como objetivos principais garantir a segurança do tráfego, a incolumidade das populações lindeiras, a preservação das faixas de domínio e a convivência pacífica entre a ferrovia e os centros urbanos. Ele pondera que a Agência deve, assim, por determinação legal, buscar junto aos demais órgãos a solução para os problemas que decorram do gerenciamento, ou da falta dele, da malha viária concedida com os sistemas viários estaduais e municipais (Castorino, 2014).

Assim, como no sistema das passagens em nível, os interesses de seus atores são muitas vezes conflitantes, faz-se necessário uma atuação mediadora e propositiva da ANTT, no uso de suas atribuições, para harmonizar (e às vezes arbitrar) os conflitos em prol da segurança deste sistema.

5.4.1.5 Órgãos de Governança e Controle

O Governo Federal, por meio de seus órgãos ministeriais (atualmente Ministério de Infraestrutura) são os formuladores das políticas nacionais de trânsito e de transportes, às quais se submetem os demais entes federados.

Além da ANTT, existem outros Órgãos do Governo Federal com atribuições afetas às ferrovias. Dentre eles, destaca-se o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, que recebeu, por força da Lei n.º 11.483 de 2007, a propriedade de bens móveis e imóveis, oriundos da extinta RFFSA que são utilizados pelas ferrovias, inclusive o próprio terreno da faixa de domínio.

Tem-se ainda a Valec Engenharia (atualmente em processo de incorporação da EPL - Empresa de Planejamento e Logística S.A), criada pela Lei nº 11.772/2008, cuja principal função é construir e explorar a infraestrutura ferroviária em trechos a ela concedidos.

Assim, diante de diferentes agências e organizações do setor ferroviário, é necessário o esclarecimento das responsabilidades de cada uma e a adoção de estratégias para uma melhor

comunicação entre elas, conforme recomendado na literatura sobre medidas de prevenção de acidentes ferroviários com pedestres.

Por fim, vale a pena mencionar ainda os Órgãos de Controle, que podem afetar o ambiente regulatório das ferrovias, sejam atuando no controle das organizações públicas ligados ao setor, como no caso do Tribunal de Contas da União – TCU, sejam atuando em demandas de interesse dos cidadãos que envolvem as ferrovias (por exemplo conflitos urbanos), atribuição do Ministério Público.

5.4.2 Análise do arcabouço normativo sobre contramedidas de segurança em passagens em nível de pedestres

Considerando que as passagens em nível são locais de fluxos heterogêneos (rodoviário, ferroviário, ciclovário e pedestres) verifica-se a necessidade de se padronizar um conjunto de regras e especificações técnicas para que cada um de seus usuários possam atravessá-las com segurança.

No contexto brasileiro, as especificações técnicas das passagens em nível são fundamentalmente elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e incluem, dentre outras, normas de projeto, sinalização e proteção das PNs.

Tem-se ainda o Manual Brasileiro de Cruzamentos Rodoferroviários, que reúne os principais normativos e orientações técnicas sobre medidas de segurança nas PNs.

Sobre estes normativos, de caráter técnico, tem-se duas considerações. As primeiras delas é que a vinculação às normas técnicas, quando não expressamente definida em algum dispositivo com maior força, parece controversa. No caso das ferrovias, num breve exame de seu arcabouço normativo, incluindo normas contratuais e legais, verifica-se que a previsão expressa de obediência a especificações técnicas emanadas das normas da ABNT aparece apenas nos novos contratos de concessão. Portanto, entende-se que deveria haver uma regulamentação que estabeleça expressamente a obrigatoriedade da obediência às normas técnicas de interesse das ferrovias, especialmente referentes às passagens em nível, e que vincule todos as Administrações Ferroviárias.

A outra consideração é que, em que pese sua importância, as normas técnicas emitidas até o momento sobre passagens em nível, parecem não terem dado muita atenção aos pedestres, relativamente aos motoristas. Isto porque elas estabelecem normas de projeto para passagens em níveis rodoviárias, contemplando especificações técnicas para segurança e acessibilidade da travessia de pedestres nas calçadas adjacentes a elas, mas não estabelecem padrões técnicos

para as passagens em nível exclusivas de pedestres. Um flagrante disso é que em novos contratos de concessão decorrentes das renovações antecipadas, além da norma de acessibilidade (NBR 9050), os parâmetros técnicos adotados para este tipo de travessia estão definidos em um documento intitulado “Referência para Regularização de PNPs – Passagens em Nível de Pedestres”, produzido por técnicos de uma unidade de fiscalização a ANTT, a COFERSP. Entende-se, portanto, que este documento técnico deve ser regulamentado pela ANTT, proporcionando amparo legal às contramedidas de segurança voltadas para passagens em nível de pedestres nele previstas, mas não necessariamente se atendo a elas.

Assim, ainda que não devidamente regulamentadas no Brasil, não faltam referências de padrões técnicos, incluindo internacionais, para medidas de engenharia com foco no projeto ambiental das PNPs, com vistas a melhorar a segurança deste sistema. Exemplo disso, além dos já citados, pode ser encontrado em USA (2007).

Também de grande importância é a adoção de especificações mínimas para projetos de vedação de faixa de domínio ferroviária, inclusive em complementação aos projetos da PNPs. Embora se verifique que elas estão presentes nos cadernos de engenharia dos novos contratos, entende-se que a obrigação da observância destes parâmetros técnicos não deveria estar restrita às obras decorrentes deles.

Outro ponto importante a se considerar nos projetos ambientais de PNPs é que, nem sempre, a obediência às especificações técnicas é suficiente para garantir a adequação dos projetos às necessidades locais, e, portanto, deve-se dar atenção a fatores específicos de cada lugar. A literatura mostrou que o método observacional tem potencial para auxiliar nisso.

Para além dos projetos ambientais das PNPs, outras questões relacionadas a elas parecem merecer um esforço normativo visando a sua padronização. É o caso da definição de uma metodologia de priorização de projetos de regularização das PNPs às especificações técnicas. Além de padronizar estes critérios entre as Concessionárias, isto poderia minimizar a influência de pressões externas, de cunho político ou social, nestas decisões. Na literatura foram encontradas diversas referências de metodologias de priorização de projetos de regularização de PNs, mas nenhuma voltada para as PNPs.

Por fim, parece que no Brasil há uma maior maturidade das normas que beneficiam a segurança dos motoristas no sistema das passagens em nível relativamente aos pedestres, o que reflete a percepção da literatura sobre uma menor atenção dos estudos a este grupo de usuários, em detrimento de sua maior vulnerabilidade. Entende-se que é urgente, portanto, a inclusão dos temas que visem a prevenção de acidentes ferroviários envolvendo pedestres na agenda de todos os entes com atribuições legislativas, normativas ou regulatórias, inclusive nos procedimentos

operacionais das Concessionárias. Como contribuição deste trabalho, algumas medidas de prevenção de atropelamentos ferroviários identificadas na literatura foram sistematizadas e se encontram no Apêndice I desta dissertação.

5.4.3 Análise de contramedidas implantadas e de alguns programas em curso no Brasil

Após analisar a maturidade do normativo brasileiro sobre medidas de prevenção de atropelamentos ferroviários, julgou-se necessário mostrar como isto tem se refletido na prática adotada no país, no nível mais baixo do sistema, ou seja, no nível físico da PN ou PNP. Para tanto, utilizou-se como referência as passagens em nível de pedestres de Juiz de Fora, que foram objeto do estudo de caso. Embora não seja uma amostra significativa em termos de extensão de trecho, entende-se que devido a criticidade de suas passagens em nível, pressupõe-se que melhores práticas adotadas no Brasil nos projetos ambientais de PNPs estejam presentes lá ou pelo menos devessem.

As Figuras 23 a 30 mostram imagens de alguns pontos da faixa de domínio ferroviária de JF. Foram identificadas 16 PNs, 32 PNPs e 1 passagem clandestina de pedestre no Município. Como o foco deste trabalho, são os pedestres as observações a seguir se referem principalmente às PNPs.

Há uma concentração de PNs e PNPs entre os kms 272 e 277 que passam pela área central da cidade. Verifica-se que a grande maioria das PNPs identificadas no trecho possuem um tratamento mínimo com pavimentação do caminho de travessia e placa de sinalização adaptada de “Pare, Olhe e Escute”. Muitas delas, principalmente as mais centrais, possuem sistema de retenção e canalização do fluxo de pedestres (chicanas), executados com gradil ou concreto.



Figura 23: PNP inaccessível no km 282



Figura 24: Passagem clandestina e vedação precária no km 303

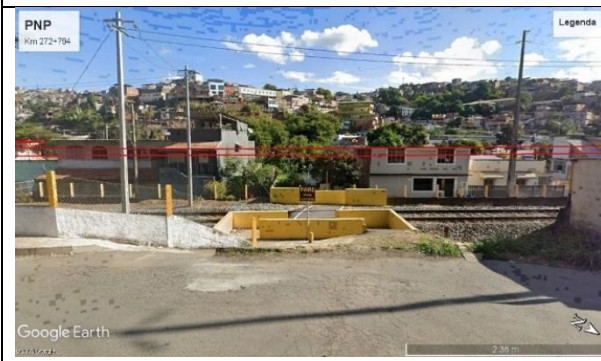


Figura 25: PNP no km 272



Figura 26: PNP no km 274 Rua Halfeld

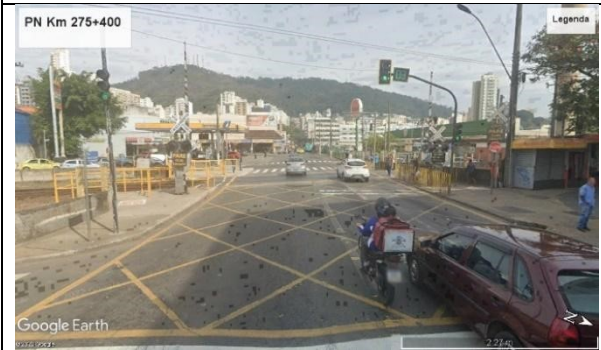


Figura 27: PN no km 275



Figura 28: Passarela e PNP no km 279



Figura 29: Vedação padrão no km 279



Figura 30: Vedação precária no km 273

Chama atenção a PNP do Km 274,592 da Rua Halfeld, que é a mais movimentada do trecho, porém ela não conta com sistema de canalização do fluxo. Parece que ela foi recentemente reformada e, por isso, pressupõe-se que isso foi uma escolha de projeto, possivelmente devido ao elevado fluxo de pedestres. Na literatura e no Manual de Cruzamentos Rodoferroviários é recomendado, para locais com elevado fluxo de pedestres, o uso de portões que são fechados, automaticamente ou não, quando da passagem do trem e cancelas. Porém nenhuma medida de proteção ativa foi verificada no trecho. De forma geral, parece que as PNPs possuem contramedidas de segurança que são recomendadas, mas não de forma completa e nem padronizada entre elas. Assim, entende-se que muitas PNPs de JF precisam ser regularizadas quanto às especificações técnicas recomendadas, inclusive avaliando a implantação de dispositivos de proteção ativa. O ideal, contudo, é que elas fossem eliminadas, por meio de negociação com a comunidade, sendo substituídas (ou não) por passarelas. Enquanto em outros países se observa programas consistentes de fechamento de PNs, aqui elas parecem se proliferar, sem o devido controle.

Quanto às passarelas, foram identificadas 16 em JF, porém parte delas são de estrutura metálica, sem acessibilidade, pelo que não substituíram as PNPs junto delas. Parece que elas quase não são usadas, tendo em vista a preferência típica do pedestre pelo caminho mais curto. Portanto, entende-se que nem sempre as soluções em desnível são as mais eficazes, pois elas dependem de aceitação de seus usuários principalmente em relação ao seu alinhamento com as linhas de desejo, caso contrário, acabam por estimular as transgressões. Daí a importância da participação popular na concepção dos projetos. A literatura também mostrou que é importante definir também as responsabilidades sobre a manutenção contínua destas obras, provendo condições necessárias para que o pedestre se sinta seguro ao atravessá-la, por exemplo, com iluminação adequada.

Quanto à vedação da faixa de domínio, observou-se também uma falta de padronização, com trechos sem nenhum tipo de vedação, trechos com vedação precária, ou seja, facilmente transponível, e trechos com a vedação completa, embora não se possa avaliar sua eficácia.

Do exposto, ficou latente uma falta de padronização dos projetos ambientais implantados das PNPs e talvez isto possa ser em parte explicado pelas lacunas normativas que regem o assunto. Aparentemente algumas receberam mais atenção da Concessionária que outras. Sobre isto, entende-se que os investimentos disponíveis possam não ser suficientes para, de uma só vez, promover a adequação de todas as PNPs aos padrões de segurança. A atualização

gradativa das passagens em nível parece ser aceita em outros países, conforme mostrado na literatura. Contudo, é desejável que se desenhe o caminho até lá. Daí a importância da padronização de metodologias de priorização de projetos de regularização de PNPs e do acompanhamento sistemático dos programas das Concessionárias pela ANTT.

Por fim, no contexto de Juiz de Fora, parece recomendável se promover campanhas educativas de forma contínua para apoiar as medidas de engenharia e fomentar uma cultura de segurança na população em relação às posturas no leito ferroviário. A literatura também falou da importância de medidas educativas combinadas com outras medidas como de engenharia ou punição. A comunicação geral de posturas de segurança nas travessias ferroviárias deve ser contínua e, esta medida se beneficiou nos últimos tempos do uso das redes sociais, de maior alcance. Quanto às medidas educativas voltadas para as escolas, é importante seguir a recomendação da literatura de se adotar “kits de ferramentas” para serem trabalhados pelos educadores, ao invés de se deixar a cargo deles a metodologia de abordagem do tema junto aos alunos. A diversificação de atividades, inclusive com projetos experimentais, também é recomendável.

Quanto aos programas do setor ferroviário em curso, possam impactar na segurança de pedestres nas travessias ferroviárias no Brasil, tem-se o PROSEFR, já descrito anteriormente e as renovações antecipadas dos contratos de concessão.

O primeiro programa, o PROSEFER é voltado para os projetos de minimização de conflitos urbanos das ferrovias. Nos seus estudos, foi adotada uma metodologia de avaliação matricial multicritérios para classificar os empreendimentos que são indicados para cada Município.

Para Juiz de Fora, na atualização do Programa de 2019, foi indicado projeto de soluções integradas, contemplando 3 passagens em nível, que, segundo consta em seu Relatório Executivo, interferem diretamente no tráfego local, ocasionando congestionamentos e riscos à segurança da população. Na classificação dos empreendimentos, ele ficou em 29º lugar. Observa-se, contudo, que na versão anterior do Programa, de 2009, a solução proposta para JF foi a construção de uma variante com extensão de 52 km, que atenderia também os municípios de Matias Barbosa, Belmiro Braga e Simão Pereira.

Sobre este Programa, cabem duas considerações. A primeira é que ele parece ter se voltado basicamente para as passagens em nível rodoviárias e, por isso, entende-se que não contemplou adequadamente os projetos para pedestres. Prova disso é que em Juiz de Fora, um dos municípios mais críticos no país em relação a ocorrências de atropelamentos ferroviários, não foram indicados empreendimentos para pedestres.

A segunda consideração é que, não obstante a importância dos estudos promovidos dentro do Programa, a implantação dos projetos depende da capacidade de investimento do Estado, já que ele não conta com um fundo específico.

Neste sentido, as renovações antecipadas dos contratos de concessão estão trazendo oportunidades para que investimentos para minimização de conflitos urbanos da ferrovia possam ser inviabilizados.

No processo de renovação da MRS, os investimentos para minimização de conflitos foram determinados a partir da relação de intervenções estabelecida pelo Ministério da Infraestrutura e incluem obras de passarelas, viadutos, vedações, melhorias em passagem e acessos veiculares ou passagens de pedestres, sendo contemplados 51 municípios. Dentre eles, Juiz de Fora que será contemplada com os investimentos relacionados na Tabela 17.

Tabela 17: Investimentos previstos em JF para minimização de conflitos na renovação de Contrato de Concessão da MRS

Obra	Custo
Melhoria em PN	571546,86
Sin.Ativa-1 Linha	1651366,59
Vedação Cerca D	351152,16
Vedação Cerca E	78977,32
Vedação Muro D	1272526,23
Vedação Muro E	1728162,21
Viaduto	63988825,02
Melhoria em PP	1450023,9
Total Geral	71092580,29

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar da importância das obras para minimização dos riscos de atropelamentos ferroviários (vedação, melhorias em PNPs), nota-se que 90% dos investimentos previstos são destinados a viadutos rodoviários. Considerando que o investimento total previsto para minimização de conflitos é de 930.685.495,59, as obras em Juiz de Fora representam 8% deste montante, o que parece razoável pela criticidade do Município em relação aos acidentes envolvendo terceiros. Contudo, parece que os motoristas continuam sendo mais beneficiados por projetos em detrimento dos pedestres, especialmente em JF.

Embora os investimentos para minimização de conflitos urbanos possam trazer mais segurança para a operação ferroviária e para a comunidade, por outro lado, é prudente considerar o efeito das projeções de aumento da demanda por transporte ferroviário, com aumento da

frequência dos trens, nos riscos de acidentes envolvendo terceiros, especialmente pedestres. Portanto, é recomendável um acompanhamento sistemático dos impactos destas mudanças sobre os riscos de atropelamentos ferroviários, estabelecendo indicadores específicos para mensurar estes efeitos.

5.4.4 Registro de informações e monitoramentos de acidentes

As informações sobre acidentes envolvendo trens e pedestres podem ajudar a identificar fatores contributivos para suas ocorrências. Assim, a falta de relatórios detalhados e padronizados sobre estes acidentes foi apontada na literatura como uma das dificuldades para os estudos e a compressão sobre o tema.

No Brasil, os procedimentos para comunicação pelas concessionárias da ocorrência de acidentes ferroviários são determinados pela Resolução ANTT nº 5.902/2020 que substituiu a Resolução ANTT nº 1.431/2006, conforme já informado. Assim, novas instruções para o registro de informações de acidentes foram introduzidas no atual regulamento e detalhadas na Portaria SUFER/ANTT nº 144/2020. Passa-se então a discorrer sobre alguns destes avanços com foco nas informações sobre os atropelamentos ferroviários.

Todos os acidentes ferroviários devem ser comunicados. Os procedimentos de comunicação variam de acordo com a classificação dos acidentes graves ou não graves. Porém, em ambos os casos, dentre os dados mínimos que devem ser informados estão: data, hora e local da ocorrência, incluindo município, trecho ferroviário e a posição quilométrica do local exato, a quantidade total de pessoas envolvidas, de feridos e de óbitos. Quanto ao local exato do acidente, uma novidade foi a exigência de informar as coordenadas geográficas, tanto no registro quanto nos relatórios fotográficos, além do quilômetro ferroviário.

Para os acidentes não graves, as concessionárias deverão produzir uma sindicância de apuração, mais simples e sucinta.

Já para os acidentes graves, os procedimentos são mais rigorosos. Os acidentes graves são aqueles que envolvem o transporte de passageiros, de produtos perigosos ou que acarretem morte, lesão corporal, interrupção do tráfego a partir de determinados limites, prejuízo superior a determinado valor (reajustável a cada ano), dano ambiental ou outros danos de impacto à população. Para eles, são exigidos laudos de acidentes elaborados por profissionais habilitados. Dentre as informações dos laudos, deverá ser fornecida a identificação das vítimas, se houver ferido ou óbito. Nenhum atributo destes indivíduos, no entanto, foi exigido (declaração de óbito, por exemplo, onde podem ser obtidas características das vítimas, além de outras informações como exames toxicológicos).

Ainda sobre os acidentes graves, uma inovação foi a fixação de critérios objetivos para o registro de óbito, que agora leva em conta tanto a morte ocorrida no momento do acidente, quanto aquela ocorrida em até 30 dias, em consequência dele. O ferido grave passou a ser considerado aquele com tempo de hospitalização superior a 24 horas. Estas definições são particularmente relevantes para os casos de atropelamentos ferroviários, pois são os mais propensos a resultar em feridos e mortes.

No caso de acidente grave ocorrido em passagem em nível, passou-se a exigir avaliação de sua adequação às normas e legislação vigentes, o que indica uma preocupação com as condições de segurança das PNs.

Um outro dispositivo também mostra uma atenção do regulamento às passagens em nível. Ele definiu que os atropelamentos e abalroamentos ocorridos em passagens em nível devem ser diferenciados daqueles ocorridos fora das passagens em nível.

Quanto às causas dos acidentes, além de mais detalhadas, foram acrescentadas três hipóteses: (i) interferência de terceiros, (ii) gestão e (iii) outros. Além da causa direta, definida como aquela que melhor descreve os fatos, o regulamento passou a exigir que se indiquem as causas contributivas, ou seja, aquelas que porventura tenham contribuído para a sua ocorrência.

As causas de gestão, por sua vez, podem ser consideradas aquelas decorrentes de insuficiência ou omissão de ações preventivas de minimização de riscos ou de inadequação destas ações. Esta inovação é importante porque pode contribuir para identificação de fatores organizacionais, ou seja, aqueles que residem nos níveis mais altos do sistema das passagens em nível. A literatura mostrou que os estudos são tendenciosos em identificar fatores nos níveis mais baixos, relacionados ao ambiente físico das PNs, seu entorno e seus usuários.

Uma outra evolução importante em relação às causas que envolvem terceiros é a definição de que serão divididas em:

- I - Ato de vandalismo ou sabotagem;
- II - Desobediência de sinal (por terceiros);
- III - Falta de atenção à circulação (por terceiros);
- IV - Invasão da faixa de segurança (por terceiros); e
- V - Suicídio ou tentativa de suicídio.

Portanto, entende-se que será possível, a partir do novo regulamento, diferenciar os suicídios e as invasões dos demais atropelamentos, apontados como os mais frequentes na literatura internacional. Para aqueles classificados como suicídios, a literatura mostra que a entrevista da tripulação tem potencial para contribuir na melhor elucidação dos fatos que levam

à distinção destes acidentes, o que parece não estar previsto no regulamento para estes casos. Um exemplo disso é a informação sobre posição da vítima antes do acidente (sentada, deitada ou em pé), o que pode fornecer indícios para a classificação do evento.

Portanto, de forma geral, entende-se que a nova Resolução poderá contribuir para melhorar a compreensão dos acidentes ferroviários envolvendo terceiros no Brasil, ajudando a identificar fatores relacionados a eles. No entanto, a melhoria da qualidade desses registros deve ser continuamente incentivada.

Neste sentido, uma medida que se considera importante para contribuir com o monitoramento dos atropelamentos ferroviários seria a criação de um banco de dados com informações de quase-acidentes (ou precursores de acidentes) envolvendo terceiros. Trata-se dos eventos importantes para a operação ferroviária, mas que não chegaram a resultar em acidentes. Estas informações poderiam contribuir para o monitoramento de locais sensíveis aos riscos de acidentes, antes mesmo que eles se concretizem. Portanto, o papel dos operadores ferroviários é muito importante para viabilizar tal medida.

Uma última consideração a ser feita é sobre a importância da produção e disponibilização das informações a partir destes registros de acidentes, conferindo maior transparência para a sociedade, em consonância com a Lei de Acesso à Informação, e permitindo a contribuição de estudos voltados para a identificação de fatores que concorrem para os atropelamentos ferroviários. A Agência americana, Federal Railroad Administration, por exemplo, disponibiliza um banco de dados de acidentes ferroviários para consulta em painéis, que permite diversos filtros, de acordo com características detalhadas dos acidentes (USA, 2023). Por meio destes dados é possível distinguir os suicídios ferroviários e os acidentes decorrentes de invasão de faixa de domínio. Para atropelamentos ferroviários há informações inclusive da posição da vítima no momento do evento.

Para além das informações sobre os acidentes ferroviários, considera-se também relevante para os estudos a divulgação de outras informações sobre a malha ferroviária, como o cadastro de todas as passagens em nível e suas características, a exemplo Network Rail (2023) e características operacionais da malha por trecho, como frequência de trens.

Percebe-se que há uma grande assimetria de informações sobre ferrovias entre os atores do setor e a população. Isto fica mais evidente quando se compara com o nível de informações que a população tem sobre as vias rodoviárias. Essas informações estão amplamente inseridas no seu dia a dia, ao contrário das informações sobre ferrovias, ainda que para as comunidades lindeiras a ela. Acontece que a malha ferroviária, diferentemente da rodoviária, possui uma infraestrutura de uso privativo e não pode ser usada livremente pelas pessoas. Entende-se que

isto possa, em parte, explicar esta discrepância. Contudo as informações sobre ferrovias também são de interesse público e, por isso, deveriam estar mais acessíveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em meio à tendência crescente das políticas públicas de fomentar as ferrovias como meio de transporte mais sustentável, melhorias na segurança de todo o sistema ainda precisam ser buscadas. Isto implica necessariamente em medidas voltadas para minimizar os riscos das colisões de trens com pedestres, já que elas representam a maior parte das fatalidades em acidentes ferroviários.

Para contribuir com isto, o objetivo deste trabalho foi de analisar os acidentes ferroviários envolvendo pedestres no Brasil, identificando e correlacionando fatores contribuintes para a sua ocorrência.

Para tanto, foram exploradas duas fontes de informações sobre os atropelamentos ferroviários, para o período de 2017 a 2021: os registros de acidentes da ANTT e as fatalidades decorrentes de colisões de pedestres com trens do SIM. Os métodos de análise foram diversificados, sendo utilizadas técnicas de análise descritiva, Correlação de Person e análise de regressão (*Tobit* e MQO), nesta sequência, reduzindo a escala espacial à medida que se aprofundaram as investigações, até se chegar próximo ao ambiente físico das passagens em nível, no estudo de caso realizado. As variáveis foram identificadas na literatura com base nos fatores contributivos para os atropelamentos ferroviários.

Os resultados mostraram que: (i) os atropelamentos ferroviários, dentre outras características, são os que mais resultam em mortes no Brasil entre os acidentes ferroviários, são menos frequentes que os atropelamentos rodoviários, mas com maior potencial de fatalidade que eles, são mais graves que nos Estados Unidos em termos de fatalidade, atendendo com isso o primeiro objetivo específico; (ii) o perfil predominante de vítimas fatais é de homens, jovens, solteiros e de baixa escolaridade, atendendo o segundo objetivo específico de investigar fatores relacionados às características das vítimas e (iii) a ocorrência de atropelamentos ferroviários é fortemente influenciada por fatores do entorno das passagens em nível, como população, uso do solo e ocupação urbana, respondendo às hipóteses formuladas e atendendo, em conjunto com os demais resultados, ao objetivo geral deste estudo.

A partir destes resultados, passou-se a analisar o ambiente das passagens em nível onde foi possível: (i) identificar os atores, suas posturas e responsabilidades, em atendimento ao terceiro objetivo específico; (ii) discutir sobre o normativo brasileiro que rege a segurança das PNPs, especialmente quanto a seu projeto ambiental e analisar as contramedidas de segurança deste ambiente que vêm sendo implantadas, com base no estudo de caso, bem como propostas e programas do setor ferroviário que possam contribuir para redução dos atropelamentos ferroviários, atendendo assim o quarto objetivo específico; (iii) discutir o normativo brasileiro

sobre registros dos acidentes ferroviários, avaliando sua evolução e identificando lacunas de informações e oportunidades de melhorias para se alcançar um monitoramento consistente e sistemático, em atendimento ao quinto objetivo específico. Toda esta discussão foi desenvolvida à luz das descobertas da literatura sobre contramedidas de segurança em passagens em nível, com medidas propositivas ao longo da discussão sobre cada tema, atendendo, por fim, o sexto objetivo específico.

Espera-se com isto poder agregar algum conhecimento científico aos estudos sobre o tema, ou, pelo menos, instigar novos pesquisadores a fazê-lo, fomentando a discussão sobre esta modalidade de acidente que, apesar de socialmente relevante, tem sido relativamente negligenciado pela literatura, sobretudo brasileira.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Dessa forma, recomenda-se a realização de novos estudos sobre o tema tendo em vista as considerações que se seguem.

Primeiramente, entende-se que os modelos de análise gerados neste trabalho possam ser replicados em outros locais e expandidos geograficamente, de forma a se avançar na identificação de fatores que concorram para os acidentes ferroviários envolvendo pedestres. Uma consideração sobre isto, no entanto, é que pode haver diferenças contextuais, operacionais, geográficas e culturais que impactam no comportamento e nos resultados e elas podem ser captadas nos estudos

Mesmo sendo demonstrado o potencial dos registros de acidentes da ANTT e das informações sobre as fatalidades decorrentes deles no SIM para melhorar a compreensão dos atropelamentos ferroviários no Brasil, verifica-se a necessidade de constante evolução na coleta de informações sobre as circunstâncias em que ocorrem estes eventos, bem como as características dos grupos mais vulneráveis e locais de maiores riscos. Essas informações podem ser agregadas em bancos de dados de acidentes ferroviários envolvendo pedestres, para permitir a revisão e o monitoramento contínuos dos fatores que influenciam os riscos de sua ocorrência e apoiar as estratégias de prevenção dos atropelamentos ferroviários.

Assim, a análise do perfil das vítimas de atropelamentos ferroviários no Brasil pode ser complementada com as informações sobre os feridos, obtidas do Sistema de Internações Hospitalares – SIH. A investigação sobre a intoxicação das vítimas por álcool ou outras substâncias, por meio de busca ativa dos laudos periciais do Instituto Médico Legal – IML existentes no SIM ou de outras fontes de informações como boletins policiais, poderia ser muito

importante para confirmar os achados da literatura sobre a influência do uso destas substâncias nos riscos de atropelamentos ferroviários.

Ainda que não sejam utilizados como metas contratuais de segurança das concessões ferroviárias, índices específicos de atropelamentos ferroviários (ou outras metodologias de análise de riscos) podem contribuir para o monitoramento de trechos críticos, indicando aqueles deveriam ser beneficiados prioritariamente com medidas de redução de acidentes dessa natureza, bem como beneficiados com investigações de fatores contribuintes mais específicos dos locais.

Quanto aos investimentos para minimização de conflitos da ferrovia decorrentes das renovações de contratos das concessões, considera-se que eles são uma oportunidade para estudos capazes de avaliar o impacto efetivo das obras nos riscos de acidentes, por meio de Avaliações *Ex Post*.

Considerando, por fim, que nesta dissertação se defende a abordagem sistêmica, integrativa e de muitos modelos de análises para lidar com problemas complexos como o sistema de segurança das passagens em nível, recomendam-se, de forma geral, estudos qualitativos e quantitativos sobre o tema, com métodos variados de coleta de dados, por exemplo, entrevistas, grupos focais, pesquisas/questionários, estudos naturalistas, simulações/modelagem e investigação de acidentes. Importante também se considerar que o público-alvo destas pesquisas deve residir nos variados níveis hierárquicos do sistema, contemplando a diversidade dos atores envolvidos, como pedestres, maquinistas, técnicos, especialistas, gerentes, reguladores etc., captando, assim fatores de riscos de acidentes associados a cada um deles. Quanto ao grupo representado pelos pedestres, podem ser desenvolvidos, ainda, estudos sobre atributos que possam estar associados a um maior risco, como deficiência visual, auditiva ou de mobilidade, bem como comportamentos, como o uso de tecnologias de distração e intoxicação por álcool. Além disso, podem ser considerados especificamente outros usuários deste grupo como ciclistas e demais modos ativos de transporte.

REFERÊNCIAS

- Anciaes, P. R. (2015) What do we mean by "community severance"? *Street mobility and network accessibility series: Working Paper 04*, p. 1-18, ago. 2015.
- Assis, A. C. V., Da Silva, C. A., Marchetti, D. S., Dalto, E. J., Rios, E. C. S. D., Ferreira, M. A. (2017) Ferrovias de carga brasileiras: uma análise setorial. *BNDES Setorial 46/Logística*, p. 79-126.
- Baysari, M. T., McIntosh, A. S., Wilson, J. R. (2008) Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidentes. In: *Australia. Accident Analysis & Prevention*, 40(5), p. 1750-1757.
- Brasil (1996) *Regulamento dos Transportes Ferroviários (RTF), instituído pelo Decreto Presidencial 1.832/1996*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d1832.htm>. Acesso em: 05 out. 2022.
- Brasil (2001a) *Caminhos do Brasil*. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes-GEIPOT.
- Brasil (2001b) *Lei n.º 10.233, de 5 de Junho de 2001*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110233.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20reestrutura%C3%A7%C3%A3o%20dos,Transportes%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>. Acesso em: 05 out. 2022.
- Brasil (2006) *Resolução ANTT n.º 1.431 DE 26/04/2006*. Disponível em: <https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00001431&seqAto=000&valorAno=2006&orgao=DG/ANTT/MT&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161&pesquisa=true>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Brasil (2011) *Elaboração de estudos sobre intervenções em áreas críticas em corredores ferroviários com vistas à eliminação de conflitos entre operação ferroviária e as funções urbanas – Prosefer*. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Relatório.
- Brasil (2019) *Anuário estatístico*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Relatório. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html>. Acesso em: 15 set. 2019.
- Brasil (2020) *Resolução n.º 5.902, de 21 de julho de 2020 – estabelece procedimentos para comunicação pelas concessionárias e subconcessionárias da ocorrência de acidentes ferroviários e de interrupções temporárias de tráfego em infraestrutura ferroviária federal concedida*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.902-de-21-de-julho-de-2020-268193971>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

- Brasil (2021) *Manual Brasileiro de Sinalização de Cruzamentos Rodoferroviários*. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/MBST_Vol_IX.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Brasil (2022a) *Resolução nº 5.987, de 1º de setembro de 2022*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <https://anttleis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005987&seqAto=000&valorAno=2022&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161&pesquisa=true>. Acesso em: 10 out. 2022.
- Brasil (2022b) *Anuário do setor ferroviário*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario>>. Acesso em: 22 mai. 2022.
- Brasil (2022c) *Sistema de informação sobre mortalidade – SIM*. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <<https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/sim-1979-2019>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Brasil (2022d) *Resolução ANTT nº 5.976, de 7 de abril de 2022 – Aprova o Regimento Interno da Agência Nacional de Transportes Terrestres*. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/MBST_Vol_IX.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Brasil (2023a) *Concessões ferroviárias*. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Brasil (2023b) *Apuração de metas*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario/arquivos-tabelas-excel/apuracao-de-metas-1.xlsx/view>>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- Brasileiro, A., Santos, E. M., Aragão, E. J. G., Senna, J.M., Netto, O. L., Filho, R. D. O. (2001) *Transportes no Brasil: história e reflexões*. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT.
- Castorino, A. B. (2014) *Proposições para solução de conflitos ferroviários*. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres. Relatório.
- Cerbino, F. S., Seraco, I. P., Donato, M., Rattón Neto, H. X. (2019) Diagnóstico do setor ferroviário brasileiro frente às expectativas com a renovação antecipada das concessões. *Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, p. 2146-2157.
- Cina, S. J., Koelpin, J. L., Nichols, C. A., Conradi, S. E. (1994) *A decade of train-pedestrian fatalities: the Charleston experience*. *Journal of Forensic Science*, 39(3), 668-673.
- Confederação Nacional de Transporte – CNT (2016). *Transporte Metroferroviário de Passageiros*. Disponível em: <<https://cnt.org.br/transporte-metroferroviario-de-passageiros>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

- CNT (2022) *Anuário do Transporte*. Disponível em: <<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Inicial>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Clausen, U., Voll, R. (2013) A comparison of North American and European railway systems. *European Transport Research Review*, Vol. 5, n. 3, p. 129-133. DOI: 10.1007/s12544-014-0148-y.
- Da Luz, L. F. (2007). A ferrovia na cidade: estorvo ou oportunidade? *Revista dos Transportes Públicos*, Vol. 1, n. 115, p. 9-23.
- De Abreu, G. R., Shitsuka, D. M., Júnior, Z. A., Junior, D. M. P., Junior, A. O. M. (2018) Malha Ferroviária de 1890 a 2016: uma estrutura desfragmentada na história brasileira. *Research, Society and Development*, 7(9), p. 01-18.
- De Abreu, V. H. S.; Trindade, D. Q. L. (2019) Um estudo cientométrico e sistemático sobre acidentes de pedestres em ferrovias. In: *XXXIII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, Balneário Camboriú.
- De Abreu, V. H. S. (2020) Atropelamentos ferroviários: uma revisão da literatura. *REBESP*, Vol. 13, n. 1, p. 41 – 48.
- De Oliveira, M. M. (2004) *Modelos de regressão com variável dependente truncada ou censurada*. Disponível em: <https://www.fep.up.pt/disciplinas/2E112/pdf%20files/ec_cens.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.
- Evans, A. W. (2003) Accidental fatalities in transport. *J. Royal Stat. Soc. Series A (Statistics in Society)*. 166(2), p. 253-260
- Evans, A.W. (2011) Fatal accidents at railway level crossings in Great Britain 1946–2009. *Accidents Analysis & Prevention*, Vol. 43, n. 5, p. 1837–1845. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.019>
- Evans, A.W., Hughes, P. (2019). Traverses, delays and fatalities at railway level crossings. In: *Great Britain. Accident Analysis & Prevention*, 129, p. 66-75.
- Fernandes, R., Queirós, C., Fonseca, S., Guimarães, F., Martins, V., Hertegn, P., Borges, A. P. (2017) *Abordagem geográfica dos riscos associados ao transporte ferroviário: os grandes acidentes ferroviários no Mundo, na Europa e em Portugal*. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316.2/41806>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- Figueiredo Filho, D. B., Silva Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson ®. *Revista Política Hoje*, 18(1), p. 115-146.
- Figueiredo Filho, D., Nunes, F., Rocha, E. C., Santos, M. L., Batista, M., Silva Júnior, J. A. (2011) O que fazer e o que não fazer com a regressão: pressupostos e aplicações do modelo linear de mínimos quadrados ordinários (MQO). *Revista Política Hoje*, Vol. 20, n. 1, p. 44-99.

- Goldberg, B. A., Mootha, R. K., Lindsey, R.W. (1998) Train accidents involving pedestrians, motor vehicles, and motorcycles. *American Journal of Orthopedics* (Belle Mead, NJ), 27(4), p. 315-320.
- Havârneanu, G.M., Burkhardt, J.M., & Paran, F. (2015) A systematic review of the literature on safety measures to prevent railway suicides and trespassing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 81, 30-50.
- Hirakata, V. N., Mancuso, A. C. B., Castro, S. M. D. J. (2019) Teste de hipóteses: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem. *Teste de hipóteses: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem*, vol. 39, n. 2, p. 181-185.
- James, E., Millington, A., Tomlinson, P. (2005) *Understanding community severance Part 1: Views of practitioners and communities*. UK: Department for Transport. Report. Disponível em: <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.dft.gov.uk/adobepdf/163944/>>. Acesso em: 22 out. 2022.
- Larue, G. S.; Naweed, A.; Rodwell, D. (2018) The road user, the pedestrian, and me: Investigating the interactions, errors and escalating risks of users of fully protected level crossings. *Safety Science*, Vol. 110, p. 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.007>
- Lobb, B., Harre, N., Suddendorf, T. (2001) An evaluation of a suburban railway pedestrian crossing safety programme. *Accident Analysis & Prevention*, 33(2), p. 157-165.
- Lobb, B.; Harre, N.; Terry, N. (2003) An evaluation of four types of railway pedestrian crossing safety intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), p. 487-494.
- Lobb, B. (2006) Trespassing on racks: a review of railway pedestrian safety research. *Journal of Safety Research*, Vol. 37, p. 359 - 365. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.04.005>
- Lima, E. T., Pasin, J. A. B. (1999) Regulação no Brasil: colocando a competitividade nos trilhos. *Revista do BNDES*, Vol. 6, n. 12, p. 169-194.
- Khattak, A.; Tung, L.W. (2015) Severity of pedestrian crashes at highway-rail grade crossings. In *Journal of the Transportation Research Forum*. Vol. 54, n. 1424-2016-118066, p. 91-100.
- Kim, S. G., Park, I. H., Oh, J. K., Kim, Y. K. (2014) A Factor analysis of urban railway casualty accidents and establishment of preventive response systems. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 34(3), p. 1017-1022.
- McGinnis, R. G. (1980) Conflicts between urban areas and railroads: a status report. *Transportation Research Record*, n. 744, p. 58-66.
- Melo Filho, M. A. (2022) Novo marco regulatório do setor ferroviário (a Lei das Ferrovias): uma análise crítica à luz das teorias regulatórias apoiadas na responsividade. *Journal of Law and Regulation*, 8(2), p. 146-171.

- Metaxatos, P.; Sriraj, P.S. (2013) *Pedestrian/bicyclist warning devices and signs at highway-rail and pathway-rail grade crossings*.
- Miguel, D. A. A. (2020) Acidentes ferroviários no Brasil: análise comparativa com a União Europeia. In: *XXXIV Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*.
- MRS (2023) Malha Ferroviária. Disponível em: <<https://ri.mrs.com.br/mrs-ri/malha-ferroviaria/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- Netto, F. F. (1974) *150 Anos de transportes no Brasil*. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Publicações do Ministério dos Transportes – CEDOP.
- Network Rail (2023) Level Crossing Safety. Disponível em: <<https://www.networkrail.co.uk/communities/safety-in-the-community/level-crossing-safety/>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Pelletier, A. (1997) Deaths among railroad trespassers: the role of alcohol in fatal injuries. *J. Amer. Med. Assoc.*, 277(13), p. 1064-1067.
- Pereira, V. B. (2015) *Transportes: história, crises e caminhos*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.
- Rådbo, H., Svedung, I., Andersson, R. (2005) Suicides and other fatalities from train-person collisions on Swedish railroads: a descriptive epidemiologic analysis as a basis for systems-oriented prevention. *Journal of Safety Research*, 36(5), 423-428.
- Rasmussen, J. (1997) Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2-3), 183-213. DOI: 10.1016/S0925-7535(97)00052-0.
- Read, G. J., Salmon, P. M., & Lenné, M. G. (2013). Sounding the warning bells: The need for a systems approach to understanding behaviour at rail level crossings. *Applied ergonomics*, 44(5), p. 764-774.
- Read, G. J.; Salmon, P.M.; Lenné, M.G.; Stanton, N.A. (2016) Walking the line: understanding pedestrian behaviour and risk at rail level crossings with cognitive work analysis. *Applied ergonomics*, 53, p. 209-227.
- Read, G. J., Cox, J. A., Hulme, A., Naweed, A., Salmon, P. M. (2021) What factors influence risk at rail level crossings? A systematic review and synthesis of findings using systems thinking. *Safety science*, Vol. 138, p. 105207. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105207.
- Reis, E. A., Reis I. A. (2002) *Análise Descritiva de Dados*. Relatório Técnico do Departamento de Estatística da UFMG. Disponível em: <<https://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/rte0202.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2022.
- Silva, A. M. C. (2005) *Conflitos e rupturas em torno do transporte urbano: a geo-história dos trilhos como indutor da urbanização no Brasil no século XX*. Rio de Janeiro: CBTU - 1º Concurso de Monografia da Companhia Brasileira de Trens Urbanos - A Cidade nos

Trilhos: Transporte Metroferroviário, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano – Monografias Premiadas, p. 149-181.

- Silla, A., Luoma, J. (2009) Trespassing on Finnish railways: identification of problem sites and characteristics of trespassing behaviour. *European Transport Research Review*, Vol. 1, p. 47-53. DOI: 10.1007/s12544-008-0005-y.
- Silla, A., Luoma, J. (2011). Effect of three countermeasures against the illegal crossing of railway tracks. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), p. 1089-1094.
- Silla, A., Luoma, J. (2012). Opinions on railway trespassing of people living close to a railway line. *Safety science*, 50(1), 62-67.
- Stefanova, T., Burkhardt, J. M., Filtness, A., Wullems, C., Rakotonirainy, A., Delhomme, P. (2015) Systems-based approach to investigate unsafe pedestrian behaviour at level crossings. *Accident Analysis & Prevention*, n. 81, p. 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.001>.
- USA (2007). Railroad – Highway grade crossing handbook. Disponível em: <<https://railroads.dot.gov/gxhandbook>>. Acesso em: 10 jan. 2023
- USA (2023) Train accidents overview. Disponível em: <<https://railroads.dot.gov/accident-and-incident-reporting/train-accident-reports/train-accidents-overview>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- Vencovsky, V. P. (2006) *Sistema ferroviário e o uso do território brasileiro: uma análise do movimento de produtos agrícolas*. Tese. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Wali, B., Khattak, A. J., Zhang, M. (2018). Injury Severity Analysis of Pedestrian and Bicyclist Trespassing Crashes at Non-Crossings: *Application of Predictive Text Analytics* (n. 18-00209).
- Wang, X., Liu, J., Khattak, A. J., Clarke, D. (2016). Non-crossing rail-trespassing crashes in the past decade: A spatial approach to analyzing injury severity. *Safety science*, 82, 44-55.
- Zhang, M., Khattak, A. J., Liu, J., Clarke, D. (2018) A comparative study of rail-pedestrian trespassing crash injury severity between highway-rail grade crossings and non-crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 117, p. 427-438.
- Zhao, S., Iranitalab, A., Khattak A. J. (2019). A clustering approach to injury severity in pedestrian-train crashes at highway-rail grade crossings. *Journal of Transportation Safety & Security*, 11(3), p. 305-322.

APÊNDICE A

Tabela 18: Resumo das medidas de prevenção de atropelamentos identificadas na literatura

Barreiras físicas	Vedações da faixa de domínio (cercas, vegetação), que devem ser altas, fortes para evitar vandalismo e longas.
Projeto ambiental	Substituição das PNS por passagem superior ou inferior e/ou melhoria dos projetos das PNs não removidas, sobretudo com controles ativos.
Colaboração entre instituições	Nível local ou nacional. Empresas locais, autoridades, comunidade etc. Definição de responsabilidade entre diferentes instituições e melhor comunicação entre elas.
Sistemas de monitoramento e detecção	Câmeras com detectores de movimento combinados ou não com avisos sonoros.
Educação e informação a nível individual	Ações educativas dentro e fora das escolas, por exemplo, ações intensificadas em locais estratégicos próximos aos trilhos.
Fiscalização, punição e patrulhas	Tecnologias de apoio à vigilância (como sistemas de vídeo vigilância e CFTV), procedimentos aprimorados e presença ostensiva de fiscalização. esforços legislativos para eficácia das normas.
Comunicação de segurança pública	Campanhas de mídia de massa, comunicação pública ou conscientização pública. Pode ser uma campanha geral ou direcionada a categorias de pedestre de alto risco.
Sinalização	Sinais de alerta, sinais de proibição. Fazem parte de intervenções mais amplas do projeto ambiental.
Design técnico para reduzir impacto	Redesenho da frente do trem, <i>airbags</i> na frente dos trens, pits (poço entre os trilhos).
Treinamento de equipe	Treinamento de funcionários ferroviários e pessoal relacionado. O treinamento pode ser geral ou direcionado.
Avaliação de risco	Desenvolvimento de metodologia para gerenciar o risco em passagens em nível de pedestres que possam garantir: a uniformidade e continuidade dos programas de coleta de dados relacionados a essas travessias, a análise de riscos nesses cruzamentos, a priorização de upgrades de travessias, a introdução de controles de risco adequados e a avaliação da relação custo-benefício de tais medidas.
Aprendendo com pesquisas anteriores e boas práticas	Formas de aprendizagem organizacional para adquirir e atualizar conhecimentos para a prática de prevenção, o que inclui aprender com estudos de pesquisa; desenvolver tópicos de pesquisa específicos; e coletar, tratar e compartilhar dados sobre o tipo e frequência de incidentes. Eventos de trocas de informações como Workshops.
Tecnologias adicionais	Serve para auxiliar maquinistas: buzinas, holofotes, freio magnéticos, sistemas de detecção de obstáculos etc.
Gerenciamento operacional	Redução da velocidade dos trens em pontos críticos.