



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Caio Seabra Binhardi**

**ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES EM PASSAGENS  
EM NÍVEL FERROVIÁRIAS COM TECNOLOGIA DE SENSORES:  
ESTUDO DE CASO EM EMPRESA FERROVIÁRIA BRASILEIRA**

**CURITIBA  
2024**

**Caio Seabra Binhardi**

**ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES EM PASSAGENS  
EM NÍVEL FERROVIÁRIAS COM TECNOLOGIA DE SENSORES:  
ESTUDO DE CASO EM EMPRESA FERROVIÁRIA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia de Produção da  
Universidade Federal do Paraná, como exigência  
parcial para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana de Paula Lacerda  
Santos

**CURITIBA**  
2024

***Aos meus pais, que sempre me deram  
apoio e incentivo sem fim para que meus  
sonhos se tornassem realidade.***

*A vocês minha eterna gratidão!*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me manter sempre confiante, mesmo nos momentos difíceis.

À Professora Dra. Adriana de Paula Lacerda Santos, por sua orientação e ensinamentos compartilhados.

À minha família, por todo o apoio no decorrer desses anos de graduação.

À minha companheira, por todo o suporte, paciência e palavras de ânimo.

À empresa ferroviária, que cedeu os dados utilizados neste trabalho.

Aos nossos amigos, o companheirismo nos bons e maus momentos.

Às professoras Dra. Ruth Margareth Hofmann e Dra. Márcia Maria Alves Alcântara, por sua participação na banca deste trabalho.

“O que nos cabe é decidir o que fazer  
com o tempo que nos foi dado”.

Gandalf

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os impactos da implementação de tecnologias de sinalização em passagens de nível (PNs) para a redução de acidentes ferroviários e custos relacionados. Foram instalados semáforos em 24 PNs de 2021 a 2023. Os resultados apontaram uma redução significativa no número de acidentes. O investimento mostrou-se justificável quando comparado aos custos diretos de acidentes. A análise também destacou que os benefícios vão além dos custos financeiros, abrangendo a preservação de vidas e a mitigação de impactos sociais. Contudo, identificou-se a impossibilidade de contabilizar custos jurídicos provenientes de ações movidas por vítimas de acidentes, dada a sensibilidade e confidencialidade desses dados. Conclui-se que a modernização das PNs por meio da instalação de tecnologias de sinalização é uma solução eficaz para reduzir acidentes e custos financeiros. O estudo reforça a importância de investir em infraestrutura ferroviária como medida preventiva. Recomenda-se, como próximos passos, a inclusão de custos jurídicos em análises futuras, a ampliação do estudo para períodos mais longos e regiões diversas, além de considerar impactos indiretos. Este trabalho contribui para o debate sobre segurança ferroviária e destaca a relevância de estratégias tecnológicas no gerenciamento de riscos.

Palavras-chave: Acidentes. Ferrovia. Segurança Operacional. Melhoria. Tecnologia.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Malha ferroviária – Empresa ferroviária estudada neste trabalho.....      | 5  |
| Figura 2 - Fatores de risco em passagens de nível.....                               | 9  |
| Figura 3 - Cálculo de f: condições de visibilidade da Passagem em Nível.....         | 10 |
| Figura 4 - Tipo de sinalização a ser adotado nas vias urbanas.....                   | 12 |
| Figura 5 - Classificação da pesquisa.....                                            | 14 |
| Figura 6 - Fases da pesquisa.....                                                    | 14 |
| Figura 7 - Total de acidentes antes e depois da instalação da sinalização ativa      | 20 |
| Figura 8 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Curitiba      | 21 |
| Figura 9 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Arapongas     | 22 |
| Figura 10 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Apucarana    | 23 |
| Figura 11 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Ponta Grossa | 23 |
| Figura 12 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Rolândia     | 24 |
| Figura 13 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Morretes     | 25 |
| Figura 14 - Número de acidentes por período.....                                     | 28 |

**LISTA DE TABELAS**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Tipo de sinalização a ser adotado nas vias urbanas..... | 11 |
| Tabela 2 - Causas dos novos acidentes nas passagens em nível.....  | 27 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| Gráfico 1 - Aumento do volume de carros no Paraná..... | 2 |
| Gráfico 2 - Projeção de TKU.....                       | 3 |

## SUMÁRIO

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1 Contextualização do problema.....                | 1         |
| 1.2 Objetivo geral.....                              | 3         |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                 | <b>4</b>  |
| 2.1 Malha ferroviária.....                           | 4         |
| 2.2 Abalroamentos e Passagens em nível.....          | 5         |
| 2.3 Código de Trânsito Brasileiro.....               | 6         |
| 2.4 Fatores de Risco em Passagens em nível.....      | 7         |
| 2.5 Indicadores de análise em Passagem em Nível..... | 9         |
| 2.6 Tipos de sinalização.....                        | 11        |
| <b>3 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>                    | <b>13</b> |
| 3.1 Tecnologia dos sensores de detecção.....         | 16        |
| 3.2 Conjunto de dados.....                           | 17        |
| 3.3 Local de implementação.....                      | 18        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                | <b>20</b> |
| 4.1 Comparativo do número de acidentes.....          | 20        |
| 4.2 Causas dos acidentes.....                        | 26        |
| 4.3 Períodos dos acidentes.....                      | 27        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                  | <b>29</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>                           | <b>30</b> |

## **1. INTRODUÇÃO**

A malha ferroviária brasileira começou a ser implantada em 1854, com a construção da Estrada de Ferro Mauá, no Rio de Janeiro. A partir daí, chegou a ter cerca de 37.000 km, na década de 1950. A Rede Ferroviária Federal, criada em 1957, operou por mais de 40 anos, até ser liquidada em 1999. Com a realização de concessões, a malha da extinta RFFSA passou a ser operada por empresas privadas e o patrimônio da estatal foi transferido para o DNIT.

O modal ferroviário é um meio de transporte que tem avançado e se desenvolvido nos últimos anos no Brasil, mesmo com um menor investimento por parte do governo, em comparação com o setor rodoviário.

As passagens de nível, que são os cruzamentos entre a rodovia e ferrovia, são locais de grande quantidade de acidentes. Isso é um problema tanto para as companhias ferroviárias quanto para a população, pois causam danos a ambos, inclusive podendo trazer risco à saúde dos envolvidos. A quantidade volumétrica de carros que passam em ruas de cruzamento com ferrovia é parte fundamental para esse número de acidentes. Observando os anos de 2020 a 2022, obteve-se cerca de 320 acidentes com causa atropelamento ou abalroamento, demonstrando-se assim a necessidade de tratar esses casos envolvendo a comunidade.

Nesse contexto, essa pesquisa tem como objetivo realizar uma análise sobre a redução de acidentes em PNs que obtiveram a implantação de uma nova tecnologia, que faz com o que o sinal de trânsito fique vermelho com a aproximação de um trem pelo sensor de movimento.

### **1.1. Contextualização do problema**

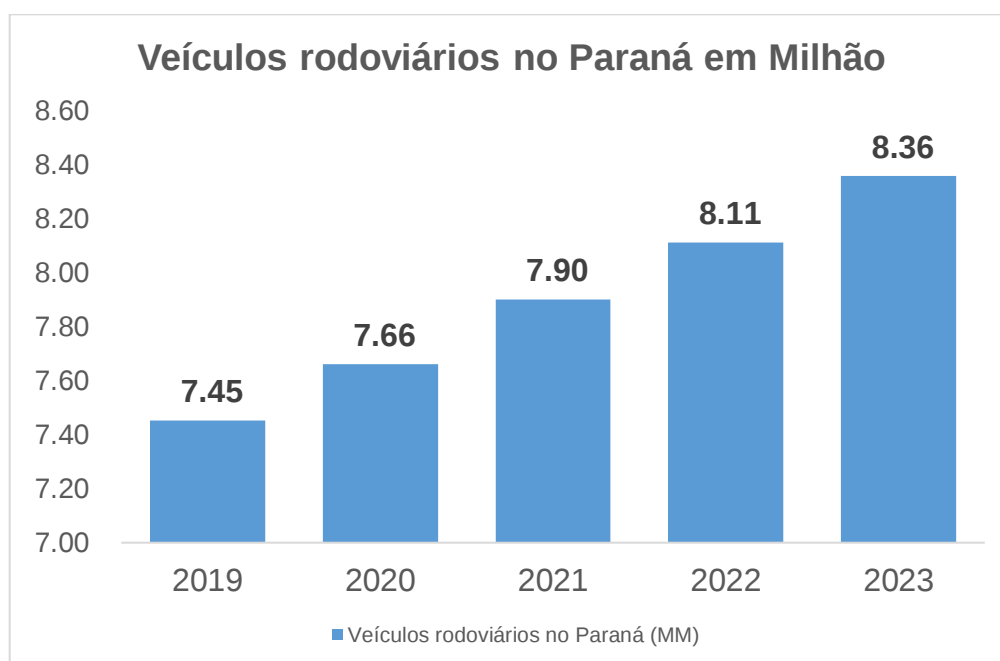
Por meio de análise do histórico de acidentes nos municípios, pôde-se perceber que a maior concentração de abalroamentos foi no Paraná. Este alto número de acidentes pode ser atribuído a vários fatores, incluindo a alta densidade de tráfego nas passagens em nível (PNs) e a localização dessas interseções em áreas urbanas densamente povoadas.

O Estado registrou um aumento significativo de 12% na frota de veículos em cinco anos, ultrapassando a marca de 8 milhões em 2023. Esse crescimento reflete o incremento tanto de carros de passeio quanto de veículos comerciais e pesados. Essa

alta densidade de veículos rodoviários contribui para a ampliação de conflitos em áreas de interseção ferroviária, onde os abalroamentos entre veículos rodoviários e trens têm sido um dos principais tipos de acidentes ferroviários, especialmente em cruzamentos por conta da imprudência dos motoristas dos veículos rodoviários.

O impacto dessa frota crescente no Paraná exige investimentos em infraestrutura e tecnologias que possam reduzir esses acidentes. Estratégias como o aprimoramento da sinalização ferroviária e rodoviária, uso de tecnologias e o fortalecimento de campanhas de conscientização para motoristas são fundamentais. Esses esforços podem ajudar a mitigar a interação perigosa entre os modais e garantir a segurança de pedestres, motoristas e operadores ferroviários.

*Gráfico 1 - Aumento do volume de carros no Paraná*



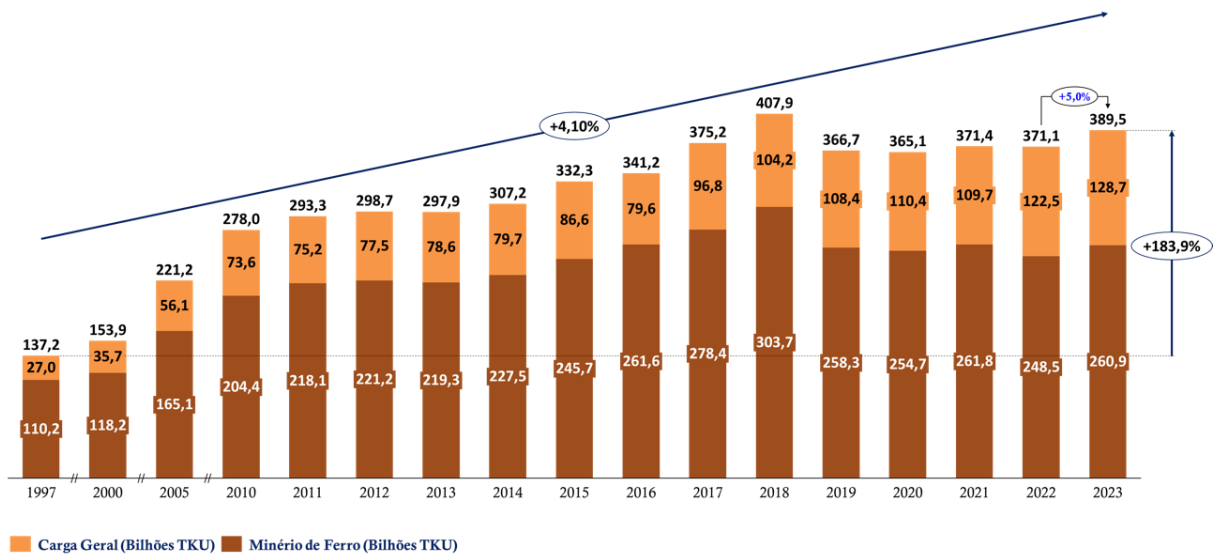
Fonte: Adaptado de Agência Estadual de Notícias (2023)

Outro fator que pode contribuir para o número de acidentes é o crescente volume anual de transporte de cargas no setor ferroviário brasileiro, torna-se essencial reduzir os acidentes associados a esse modal. Isso não apenas contribui para a segurança da população que vive próxima às ferrovias, mas também evita impactos no tempo médio de percurso (transit time) das operações e assegura a eficiência operacional.

Dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) mostram que a produção em milhões de TKU (toneladas por quilômetro útil) tem se mantido acima de 300 milhões anuais desde 2014, com uma tendência de crescimento para os próximos

anos (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Projeção de TKU



Fonte: Adaptado de ANTT (2023)

Diante do aumento projetado da produção ferroviária em TKU, é preocupante que os acidentes do tipo abalroamento sigam a mesma tendência de crescimento. Por isso, é imperativo implementar estratégias tecnológicas para mitigar esses eventos. O presente trabalho abordará possíveis soluções para essa problemática, utilizando o histórico de acidentes para identificar os pontos críticos, com o objetivo de reduzir significativamente a ocorrência de abalroamentos e aumentar a segurança geral da operação ferroviária.

Além disso, o Código de Transito Brasileiro (CTB) explicita que a preferência de passagem em passagens de conflito entre veículos rodoviários e ferroviários é **sempre** do veículo ferroviário segundo o artigo 212 do CTB, constatando infração gravíssima (7 pontos na CNH; e Penalidade – multa) àqueles que deixam de parar o veículo antes de transpor a linha férrea.

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho é analisar o comportamento dos dados sobre a mudança no número de acidentes em que houve aplicação da tecnologia sensorial em cruzamentos ferroviários x rodoviários no período entre 2018 e 2024.

Para tanto o seguinte problema de pesquisa foi investigado: Qual é a variação de acidentes com a aplicação da tecnologia sensorial em em cruzamentos ferroviários x rodoviários no período entre 2018 e 2024?

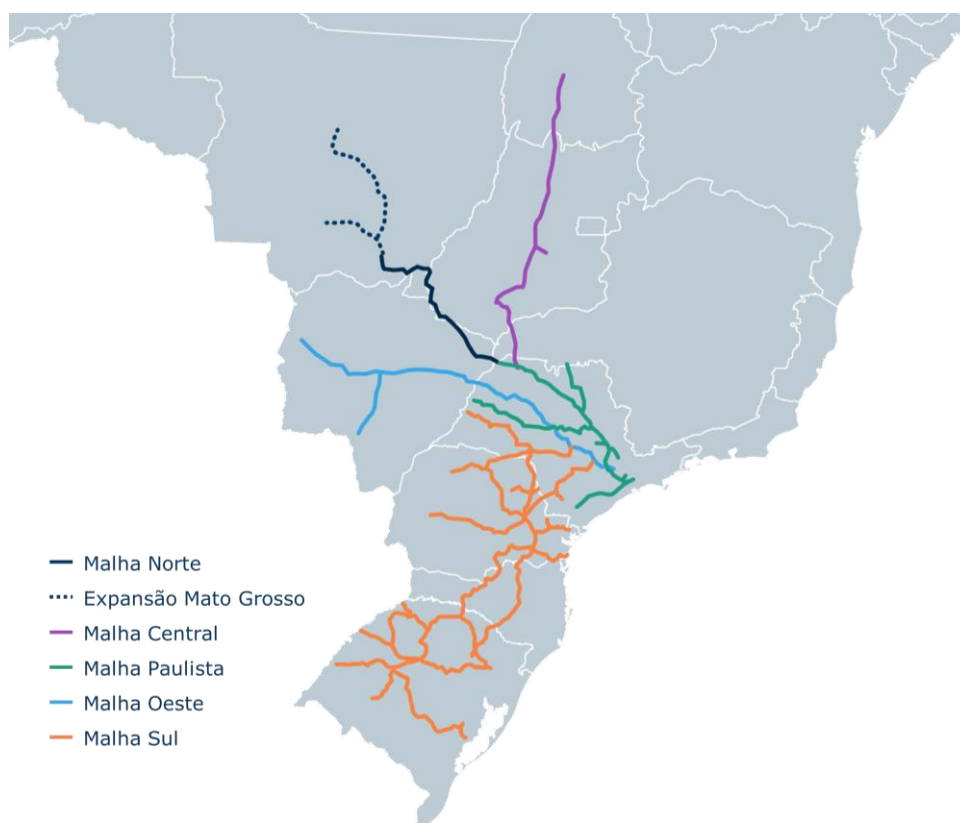
## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Malha ferroviária**

A malha ferroviária brasileira é composta por uma extensa rede de trilhos que interliga diversas regiões do país, permitindo o transporte de cargas e passageiros. Essa malha foi iniciada em 1854, com a construção da Estrada de Ferro Mauá, no Rio de Janeiro, e, ao longo dos anos, se expandiu significativamente, alcançando uma extensão de aproximadamente 37.000 km na década de 1950. A Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), criada em 1957, foi responsável pela gestão da malha ferroviária até sua extinção em 1999, quando o patrimônio foi transferido para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e as operações passaram para empresas privadas por meio de concessões (BRASIL, 2022; ANTT, 2022).

A malha ferroviária brasileira é composta por diferentes tipos de bitola (distância entre os trilhos) e por trechos operados por diversas concessionárias. A bitola larga, predominante em algumas regiões, é mais adequada para o transporte de cargas pesadas, enquanto a bitola métrica é comum em áreas de menor tráfego. A empresa ferroviária opera com as duas bitolas: nas malhas Sul e Oeste a bitola é métrica e nas malhas Norte, Paulista e Central a bitola é larga. Além disso, a malha inclui tanto ferrovias dedicadas ao transporte de passageiros quanto de carga, com destaque para os corredores que conectam grandes centros urbanos aos portos, facilitando o escoamento de commodities, como grãos e minérios, essenciais para a economia brasileira (INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA, 2022; ANTT, 2022).

Figura 1 - Malha ferroviária – Empresa ferroviária estudada neste trabalho



Fonte: Empresa ferroviária estudada neste trabalho (2024)

## 2.2. Abalroamentos e Passagens em nível

Segundo a RESOLUÇÃO Nº 5.902 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (2020), acidentes ferroviários são ocorrências em que, com a participação direta de veículo ferroviário, provoca danos a este, a pessoas, a bens materiais, ao meio ambiente e, desde que ocorra paralisação do tráfego, a animais. Eles podem ser classificados como:

- Atropelamentos: quando ocorrer choque entre veículo ferroviário e ser humano;
- Abalroamentos: quando ocorrer choque entre veículo ferroviário e veículo não ferroviário;
- Colisão entre veículos: quando ocorrer choque entre veículos ferroviários;
- Colisão com obstáculo, quando ocorrer choque entre veículo

ferroviário e outros objetos inanimados ou animal

- Descarrilamento: quando ocorrer saída de roda de veículo ferroviário de cima do boleto dos trilhos;
- Explosão: quando ocorrer inesperada e violenta liberação de energia;
- Incêndio: na ocorrência de fogo em material rodante, via permanente ou faixa de domínio;
- Outros: quando o acidente não se subsumir às hipóteses anteriores.

Os abalroamentos são o objeto de estudo deste trabalho, que são o choque entre veículo ferroviário e veículo rodoviário, como carros, motocicletas, caminhões, caminhonetes, ônibus, etc.

Uma passagem em nível, também conhecida como cruzamento rodoferroviário, é o ponto onde uma linha férrea cruza uma rodovia, um caminho pedestre ou, em casos raros, uma pista de aeroporto, no mesmo nível. As passagens em nível são pontos de conflito entre o tráfego de veículos e pedestres e a operação ferroviária. Para garantir a segurança, as passagens em nível são sinalizadas com placas de advertência, sinais sonoros e luminosos, além de barreiras físicas que descem quando um trem está próximo, a depender do local segundo o Caderno de Obrigações 1 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

### **2.3. Código de Trânsito Brasileiro**

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (1997) estabelece regras específicas para a passagem de trens em cruzamentos com vias rodoviárias, com o objetivo de garantir a segurança de motoristas e pedestres. Os principais pontos são:

#### **Preferência Absoluta para o Trem:**

De acordo com o Art. 212 do CTB, os veículos rodoviários devem dar prioridade ao trem em passagens de nível. Motoristas que não respeitam a parada obrigatória cometem infração gravíssima, sujeitando-se a multa e pontos na carteira de habilitação.

#### **Sinalização e Responsabilidade:**

As passagens de nível devem ser devidamente sinalizadas, conforme o Art. 24, que estabelece a competência do órgão responsável pela via para implantar e manter

essa sinalização. Essa sinalização pode incluir placas, cancelas automáticas ou manuais, e sinais luminosos ou sonoros.

#### **Regras de Parada Obrigatória:**

O Art. 212 e o Art. 212-A especificam que o condutor deve reduzir a velocidade ou parar completamente ao se aproximar de uma passagem de nível, especialmente quando houver indicação de um trem se aproximando.

#### **Fiscalização:**

O CTB prevê penalidades severas para motoristas que desrespeitam as regras de cruzamento ferroviário, reforçando a necessidade de fiscalização constante nesses pontos.

Essas disposições visam mitigar o risco de acidentes em cruzamentos ferroviários, promovendo um trânsito mais seguro para todos. Para detalhes completos, pode-se consultar o texto integral do CTB no site do Denatran ou em publicações jurídicas especializadas.

### **2.4. Fatores de Risco em Passagens em nível**

As características físicas do local onde está localizada a passagem de nível (PN), seja ela em área rural ou urbana, juntamente com os aspectos operacionais do tráfego ferroviário e rodoviário no local, tem influência sobre a ocorrência de situações de risco e, conseqüentemente, possíveis acidentes. Existem diversos tipos de medidas de proteção que podem ser aplicadas em cruzamentos entre estradas e linhas de trem, e é importante identificar os fatores que podem representar riscos nessas passagens de nível, a fim de determinar a proteção adequada para reduzir esse risco. Esses fatores são utilizados para análise, avaliação e definição do tipo de proteção adequada, visando minimizar o risco e estabelecer níveis de segurança adequados nas passagens de nível. Portanto, é necessário realizar uma análise dos parâmetros que afetam a segurança nessas passagens de nível, conforme descrito no DENATRAN (1987), USDT (1986) e USDT (2002).

- Tipo de rodovia;
- Número de faixas
- Condições do pavimento
- Volume do tráfego rodoviário

- Trânsito de pedestres
- Velocidade máxima autorizada na rodovia
- Iluminação
- Distância de visibilidade de parada
- Número de linhas
- Volume de tráfego ferroviário
- Histórico de acidentes
- Inclinação da rampa

A probabilidade de ocorrência de riscos em uma passagem de nível está intimamente ligada aos parâmetros mencionados. É de extrema importância identificar alguns indicadores que relacionem esses parâmetros, tanto para determinar as necessidades específicas do local quanto para estabelecer prioridades de intervenção. Portanto, esses fatores foram utilizados para desenvolver indicadores de segurança nas passagens de nível, que serão apresentados a seguir.

As propriedades geográficas e as condições práticas (fluxo ferroviário e fluxo rodoviário) da área onde uma passagem de nível é localizada exercem influência sobre a probabilidade de ocorrerem situações arriscadas. Alguns elementos de risco foram identificados pelo DNIT (2006), Carmo (2006) e Hoel, Garber e Sadek (2012) e são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Fatores de risco em passagens de nível.

| Fatores                       | Risco                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Condição do pavimento         | As vias de acesso à passagem em nível devem apresentar pavimento asfáltico por pelo menos 40m para cada lado da via férrea, além disso o nível do pavimento deve ser o mesmo da superfície de rolamento dos trilhos e deve permitir o trânsito rodoviário sem diminuição da velocidade ou derrapagem.                                                                                                                                                         |
| Volume de tráfego rodoviário  | O volume de tráfego é o número de veículo que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo. A composição do tráfego deve ser contabilizada através de fatores de equivalência em carros de passeio.                                                                                                                                                                                                             |
| Trânsito de pedestres         | Em algumas áreas a passagem em nível pode estar próxima a áreas comerciais, escolas, residências ou zonas industriais. Quanto mais intenso fluxo, maior a incidência de riscos no cruzamento.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Iluminação                    | Os cruzamentos devem ser dotados de iluminação diferenciada da existente na via pública local, visando facilitar sua identificação para motoristas e pedestres. A iluminação insuficiente pode resultar em acidentes, principalmente à noite, escondendo os perigos do cruzamento rododiferroviário.                                                                                                                                                          |
| Distância de visibilidade     | Intersecções em nível entre rodovia e ferrovia devem possuir dispositivos de alerta que permitem que o motorista de um veículo que se aproxima determine a existência de um perigo eminente pela aproximação de um trem, a decisão de parar ou prosseguir a travessia é de responsabilidade total do motorista do veículo. Deve-se então providenciar uma distância de visibilidade suficiente para os motoristas atravessarem de forma segura a intersecção. |
| Volume de tráfego ferroviário | A determinação do volume de trafego ferroviário é de extrema importância. Não é permitido intersecções onde o intervalo entre a passagem de um trem e outro é inferior a 30 minutos.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Rampa                         | A intersecção rododiferroviária deve ser em trecho em nível para ambas as vias, admitindo-se, excepcionalmente, uma rampa de até 3% para a via férrea. Na rodovia, o trecho em nível deve se estender pelo menos pelo comprimento do maior veículo a transitar pela passagem para ambos os lados.                                                                                                                                                             |
| Histórico de acidentes        | O número de acidentes é um indicador de segurança oferecida em uma passagem em nível, representa o potencial de perigo da via.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Número de vias férreas        | Quanto maior o número de trilhos a serem transpostos, maiores serão os riscos, pois os veículos irão demandar mais tempo para atravessar a passagem em nível.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Fonte: Adaptado de DNIT (2006), Carmo (2006) e Hoel, Garber e Sadek (2012)

## 2.5. Indicadores de análise em Passagem em Nível

Existem três indicadores de análise de Passagens de Nível: o grau de importância (Gi), especificado pela norma brasileira NB 1238 (1989), o Fator ponderado de Acidentes (FPA), definido pela NB 1239 e o Momento de Circulação definido pela NB 666 (1989).

### A) Grau de importância de Travessia Rodoviária

O Grau de importância (Gi) está relacionado à quantidade de veículos rodoviários e ao número de trens que cruzam uma passagem de nível em um dia, levando em consideração um fator f que representa as condições físicas da passagem. Esse cálculo é realizado pela equação abaixo.

$$Gi = f \times T \times V$$

Onde:

V = Volume de veículos rodoviários em ambos os sentidos;

T = Quantidade de trens em ambos os sentidos;

f = Fator que representa as condições de visibilidade, podendo variar de 1,00 a

1,97.

O fator  $f$  pode ser calculado de acordo com a Figura 3, onde cada característica listada na coluna A corresponde a uma opção na coluna B, que é multiplicada pelo peso de importância da coluna C. Por fim, somam-se todos os valores da coluna D e divide-se o resultado por 100 para obter o fator representativo.

Figura 3 - Cálculo de  $f$ : condições de visibilidade da Passagem em Nível

| Característica da travessia                    | Valor              |   | Peso de importância | Valor final<br>(2ª coluna x 3ª coluna) |
|------------------------------------------------|--------------------|---|---------------------|----------------------------------------|
| (1ª coluna)                                    | (2ª coluna)        |   | (3ª coluna)         | (4ª coluna)                            |
| Visibilidade                                   | Acima de 300 m     | 2 | 10                  |                                        |
|                                                | (150 a 300) m      | 3 |                     |                                        |
|                                                | Abaixo de 150 m    | 4 |                     |                                        |
| Rampa máxima de aproximação da via pública     | Abaixo de 3 %      | 2 | 7                   |                                        |
|                                                | (3 a 5) %          | 3 |                     |                                        |
|                                                | Acima de 5 %       | 4 |                     |                                        |
| Velocidade máxima autorizada (VMA) do trem 'a' | Abaixo de 40 km/h  | 2 | 6                   |                                        |
|                                                | (40 a 80) km/h     | 3 |                     |                                        |
| Número de vias férreas                         | Via simples        | 2 | 5                   |                                        |
|                                                | Via dupla          | 3 |                     |                                        |
|                                                | Via tripla ou mais | 4 |                     |                                        |
| VMA na via pública 'b'                         | Abaixo de 50 km/h  | 2 | 5                   |                                        |
|                                                | (50 a 80) km/h     | 3 |                     |                                        |
| Trânsito de ônibus                             | Até 5 %            | 2 | 5                   |                                        |
|                                                | (5 a 20) %         | 3 |                     |                                        |
|                                                | Acima de 20 %      | 4 |                     |                                        |
| Trânsito de caminhões                          | Até 5 %            | 2 | 4                   |                                        |
|                                                | (5 a 20) %         | 3 |                     |                                        |
|                                                | Acima de 20 %      | 4 |                     |                                        |
| Condições do pavimento 'c'                     | Regular            | 2 | 6                   |                                        |
|                                                | Irregular          | 3 |                     |                                        |
|                                                | Inexistente        | 4 |                     |                                        |
| Trânsito de pedestres                          | Até 5 %            | 2 | 2                   |                                        |
|                                                | (5 a 20) %         | 3 |                     |                                        |
|                                                | Acima de 20 %      | 4 |                     |                                        |
| Iluminação 'd'                                 | Eficiente          | 0 | 2                   |                                        |
|                                                | Insuficiente       | 3 |                     |                                        |
|                                                | Inexistente        | 4 |                     |                                        |
| Total                                          |                    |   |                     | 0                                      |

## B) Momento de circulação (MC)

Este indicador relaciona o volume de tráfego ferroviário e rodoviário durante o dia e noite pela Equação (1).

$$MC = (VD \times TD + 1.4VN \times TN) \times L \quad (1)$$

Onde:

VD = Volume de veículos rodoviários durante o dia;

VN = Volume de veículos rodoviários durante a noite;

TD = Quantidade de trens durante o dia;

TN = Quantidade de trens durante a noite;

L = Fator de ajustamento para a quantidade de vias férreas;

Podendo L assumir valores de: 1,0 para via singela; 1,3 para via dupla e 1,5 para via tripla ou com mais linhas.

C) Índice de criticidade:

Os outros dois índices de desempenho citados acima não consideram fatores importantes, portanto, propõem-se a junção deles pela Equação (3).

$$IC = f (VD \times TD + 1,4Vn \times TN) (3)$$

A partir do valor do IC é possível identificar o tipo de sinalização a ser adotado nas passagens de nível, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Tipo de sinalização a ser adotado nas vias urbanas.

|                               | IC Intensidade de Tráfego – ( $\times 10^3$ ) | Necessidades dos Pedestres: Alta ou baixa | Classificação Funcional da Via                       |                |                |             |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------|
|                               |                                               |                                           | Vias Expressas                                       | Vias Arteriais | Vias Coletoras | Vias Locais |
| Sem acesso à energia elétrica | 0 – 10                                        | .                                         | Cruzamentos rodoferroviários em nível não permitidos | Tipo 1b        | Tipo 1b        | Tipo 1a     |
|                               | 10 – 50                                       |                                           |                                                      | Tipo 2c        | Tipo 1b        | Tipo 1a     |
|                               | 50 – 100                                      |                                           |                                                      | Tipo 2c        | Tipo 2c        | Tipo 2a     |
|                               | >100                                          |                                           |                                                      | Tipo 2d        | Tipo 2c        | Tipo 2b     |
| Com acesso à energia elétrica | 0 – 10                                        | Baixa                                     |                                                      | Tipo 1b        | Tipo 1b        | Tipo 1a     |
|                               |                                               | Alta                                      |                                                      | Tipo 3a        | Tipo 3a        | Tipo 3a     |
|                               | 10 - 50                                       | Baixa                                     |                                                      | Tipo 3b        | Tipo 3b        | Tipo 2c     |
|                               |                                               | Alta                                      |                                                      | Tipo 4         | Tipo 4         | Tipo 3c     |
|                               | 50 - 100                                      | Baixa                                     |                                                      | Tipo 4         | Tipo 4         | Tipo 3c     |
|                               |                                               | Alta                                      |                                                      | Tipo 4         | Tipo 4         | Tipo 3d     |
|                               | >100                                          | Baixa                                     |                                                      | Tipo 5         | Tipo 5         | Tipo 3e     |
|                               |                                               | Alta                                      |                                                      | Tipo 5         | Tipo 5         | Tipo 3f     |

Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

Além dos três parâmetros utilizados para avaliar o potencial de risco de uma passagem de nível, é importante também considerar a análise da sinalização presente no cruzamento entre rodovias e ferrovias.

## 2.6. Tipos de sinalização

Por meio da NBR 15942:2011, a ABNT propõe uma tipologia de sinalização nos cruzamentos rodoferroviários. Esses cruzamentos são identificados segundo a situação da sinalização e classificados como Proteção Ativa e Passiva, conforme mostra o quadro abaixo.

Figura 4 - Tipo de sinalização a ser adotado nas vias urbanas.

| Proteção de passagem em nível                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PROTEÇÃO PASSIVA:</b><br>Tipo 0: proteção passagem em nível particular.<br>Tipo 1a: proteção simples.<br>Tipo 1b: simples com sinalização de advertência.                                                                                                                                                                                                       |
| <b>PROTEÇÃO ATIVA (Operação manual, sem energia elétrica):</b><br>Tipo 2a: balizador manual;<br>Tipo 2b: cancela manual;<br>Tipo 2c: balizador manual com sinalização de advertência.<br>Tipo 2d: cancela manual com sinalização de advertência.                                                                                                                   |
| <b>PROTEÇÃO ATIVA (Operação manual, com energia elétrica):</b><br>Tipo 3a: campainha com controle manual.<br>Tipo 3b: sinal luminoso com controle manual.<br>Tipo 3c: campainha e sinal luminoso com controle manual.<br>Tipo 3d: campainha e cancela manual.<br>Tipo 3e: sinal luminoso e cancela manual.<br>Tipo 3f: campainha, sinal luminoso e cancela manual. |
| <b>PROTEÇÃO ATIVA (Operação automática)</b><br>Tipo 4: campainha e sinal luminoso com controle automático.<br>Tipo 5: cancela automática.                                                                                                                                                                                                                          |

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

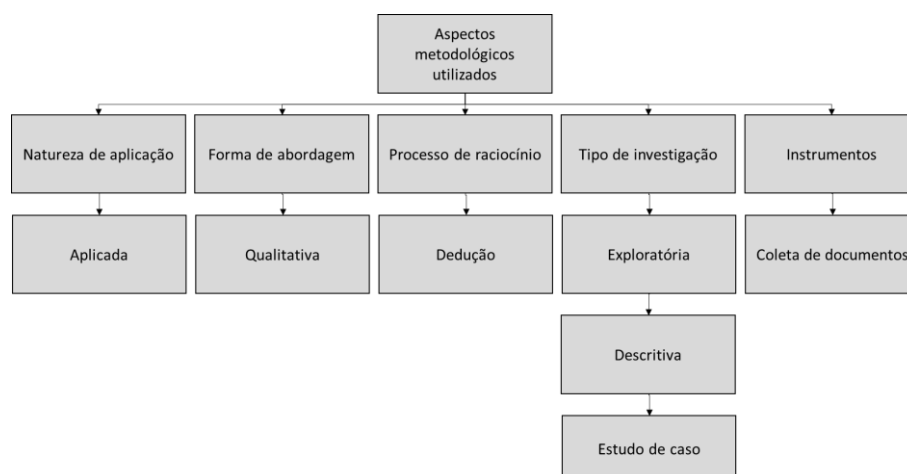
A metodologia utilizada é um Estudo de Caso, utilizando-se da forma de abordagem qualitativa do tipo exploratória. Objetiva-se através de textos, artigos e casos pesquisados gerar conhecimento para que estes possam ser aplicados na prática resultando na resolução de problemas específicos e na melhora de processos.

Segundo Merriam (1998), a pesquisa qualitativa tem por objetivo decodificar e traduzir o sentido dos fatos e acontecimentos, e envolve (RODRIGUES, OLIVEIRA, SANTOS, 2021):

1. Obter de dados descritivos na perspectiva da investigação crítica ou interpretativa;
2. Estudar as relações humanas nos mais diversos ambientes assim como a complexidade de um determinado fenômeno

Gil (1999) considera que a pesquisa exploratória tem como objetivo principal “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. De acordo com o autor, as pesquisas exploratórias são as que apresentam menor rigidez no planejamento, pois devem proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato estudado (OLIVEIRA, 2011).

*Figura 5 - Classificação da pesquisa*



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

A pesquisa foi realizada em quatro fases, sendo algumas divididas em

subfases, que são demonstradas na Figura 6. As fases tiveram início na revisão bibliográfica e se estenderam até as considerações finais.

*Figura 6 – Fases da Pesquisa*

| Etapas | Descrição das atividades                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Revisão Bibliográfica                                                                               |
| 2      | Levantamento e detalhamento das normas sobre passagens em nível                                     |
| 3      | Coleta de dados dos acidentes                                                                       |
| 3.1    | Entendimento de causas dos acidentes                                                                |
| 3.2    | Comparativo entre número de acidentes antes e após instalação dos sensores de aproximação dos trens |
| 3.3    | Comparativo entre custos diretos dos acidentes e custos dos investimentos                           |
| 4.0    | Considerações Finais                                                                                |

**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

A partir do problema de pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica. O problema chave da pesquisa e a revisão bibliográfica foram a base para a entendimento do funcionamento da sinalização ferroviária e sobre a proposta de uma inovação colaborativa com foco na segurança operacional e seus impactos, tanto das possíveis vítimas de acidentes ferroviários, quanto da própria empresa.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica detalhada, com o objetivo de fundamentar teoricamente o tema, abordando as tecnologias aplicadas ao controle de sinais de trânsito em cruzamentos ferroviários, os desafios relacionados à segurança viária e ferroviária, e os diferentes níveis de sinalização em contextos semelhantes. A revisão bibliográfica permitiu compreender as melhores práticas em sistemas de sinalização e os impactos dessas tecnologias na redução de acidentes, além de fornecer uma base sólida para a análise do caso específico.

A fase seguinte envolveu o levantamento e detalhamento das normas sobre passagens em nível, considerando a legislação e as diretrizes técnicas para a instalação e operação de sistemas de sinalização em cruzamentos ferroviários. Nesse contexto, foi realizada uma análise das regulamentações que governam o uso de semáforos de segurança, bem como as diretrizes para a implementação de

tecnologias de controle automático de sinais em situações de aproximação de trens. Esse levantamento foi fundamental para avaliar a adequação da tecnologia aplicada às normas vigentes e a necessidade de ajustes ou atualizações nas práticas regulamentares.

Na fase de coleta de dados, foi realizada uma análise detalhada dos acidentes ocorridos nos cruzamentos ferroviários antes da instalação da tecnologia de controle automatizado do sinal de trânsito. Os dados coletados incluíram informações sobre o número de acidentes, suas causas, e os tipos de impactos (materiais, pessoais e fatais). Além disso, foi feita uma comparação entre o número de acidentes registrados antes e depois da implementação da tecnologia, com o objetivo de avaliar a eficácia da inovação no aumento da segurança.

Foram também coletados dados relativos aos custos diretos de acidentes (como danos materiais e custos com atendimento de emergência) e aos custos de investimento necessários para a instalação dos novos equipamentos de sinalização automatizada (sensores, sistemas de comunicação e semáforos inteligentes). A análise focou na comparação entre esses custos, a fim de entender o custo-benefício do projeto, levando em consideração os custos de implementação versus a redução no número de acidentes e os benefícios de segurança pública gerados pela tecnologia.

Nas considerações finais, foi realizada uma análise dos resultados obtidos com a implementação da tecnologia de sinalização automatizada. A pesquisa indicou que a tecnologia trouxe uma redução significativa no número de acidentes nos cruzamentos ferroviários analisados, demonstrando a sua eficácia até o momento deste estudo na melhoria da segurança viária. A comparação entre os custos de investimento e os custos diretos de acidentes mostrou que os investimentos feitos na instalação dos sistemas de sinalização inteligente resultaram em uma economia significativa em longo prazo, tanto em termos de custos com danos materiais quanto com serviços de emergência.

#### 4. O ESTUDO DE CASO

A empresa que foi parte deste estudo de caso é do setor de logística ferroviária brasileiro, cuja principal atividade é o transporte de cargas. Em conjunto com uma empresa terceira, que criou e foi a fornecedora da tecnologia de sensores com inteligência artificial para interpretar a aproximação dos trens e, por consequência, fechar o sinal.

Em cada passagem em nível, são colocados quatro sensores: dois ficam nas bordas da rodovia, checando a passagem do trem pelo pavimento, e outros dois ficam a 400 metros em sentidos opostos, validando se o trem está chegando e depois se passou por todo o caminho, livrando a passagem. Entre a primeira e a segunda câmera, o sinal fica amarelo, e quando passa pelo segundo sensor, a sinalização fica vermelha, sinalizando parada obrigatória aos veículos rodoviários. Estes sensores estão conectados com a sinalização semafórica, em parceria com cada município em que essa tecnologia foi implantada. Assim que a câmera em tempo real consta que o trem livrou a passagem, o semáforo volta a ficar na cor verde, liberando a passagem dos veículos.

A empresa possui um processo sistemático para o tratamento de acidentes ferroviários, abrangendo desde a comunicação inicial até o envio da documentação à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Este fluxo inclui as seguintes etapas:

**Comunicação e Registro:** O maquinista realiza o registro inicial do acidente por meio do sistema CBL, gerando automaticamente um evento no sistema de gestão de acidentes.

**Coleta de Dados:** Durante o atendimento ao acidente, são coletados os dados conforme o Manual de Coleta de Dados de Acidentes Ferroviários e inseridos no sistema de gestão de acidentes.

**Investigação:** A Comissão Interna de Prevenção de Incidentes e Acidentes (CIPIA Técnica) conduz a investigação com base na metodologia padronizada pela área de Segurança e Riscos Operacionais (SRO), identificando anomalias e desvios.

**Consenso de Ações:** São definidas ações corretivas com base na metodologia 5W2H, que são aprovadas e endereçadas aos responsáveis por meio do workflow do sistema de gestão de acidentes.

**Análise da Segurança:** A área de Segurança e Riscos Operacionais avalia a investigação e o plano de ação, aprovando ou reprovando as propostas apresentadas.

**Envio de Documentação à ANTT:** Após a aprovação, o laudo técnico e a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) são submetidos ao setor Regulatório para envio à ANTT, cumprindo as exigências normativas.

**Desdobramento de Riscos:** Riscos e aprendizados são compartilhados em fóruns de segurança para nivelar o conhecimento entre as regiões envolvidas.

**Auditoria de Ações:** É realizada uma auditoria para garantir a conclusão das ações definidas, assegurando a conformidade com os padrões estabelecidos.

Este processo reflete o compromisso da empresa ferroviária com a segurança operacional e o atendimento às exigências regulatórias, culminando em uma base com as informações dos acidentes, como data, horário, identificação da composição, localização, custos diretos, entre outros.

Essa pesquisa analisou vinte e quatro (24) passagens em nível no estado do Paraná, as quais tiveram um investimento privado por parte da concessionária da ferrovia para instalar sensores de aproximação dos trens, conectados a um semáforo que sinaliza a cor vermelha quando um trem está se aproximando e, assim, buscar prevenir acidentes.

Conforme análise realizada sobre os abalroamentos considerando o período de 2018 a 2023 na empresa ferroviária, foi constatado que 31% dos abalroamentos estavam concentrados em apenas 30 Passagens em Nível, enquanto há um total de mais de 6000 cruzamentos oficiais. Dessa forma, como o custo de implantação em cada PN era de cerca de R\$400.000,00, foram selecionadas as 24 mais críticas conforme o histórico de acidentes, que por serem dados sensíveis da empresa, não poderão ser expostos a rigor neste estudo.

A seguir apresenta-se a localização das passagens analisadas nesse estudo.

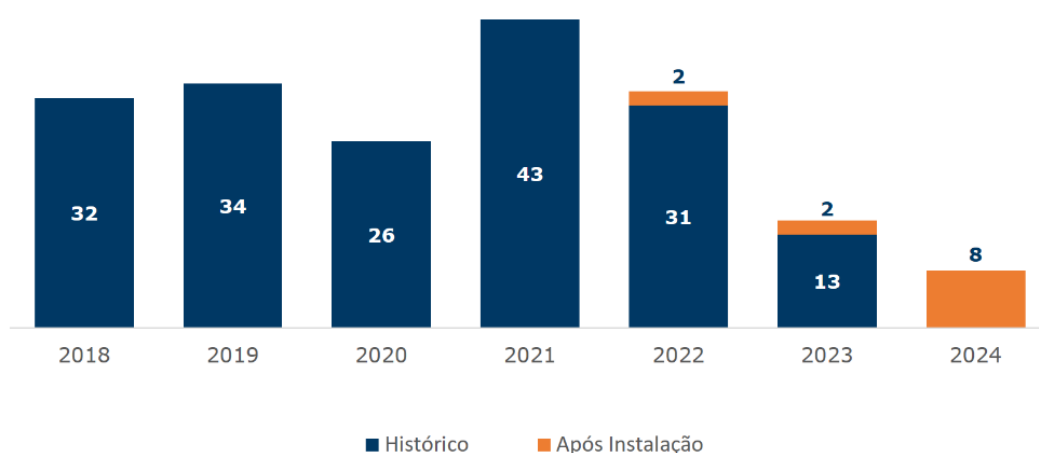
- Curitiba - 5 semáforos:
  - PN da R. Sebastião Marcos Luiz
  - PN da R. Rutildo Pulido
  - PN da R. Jornalista Aderbal Stresser
  - PN da R. dos Ferroviários
  - PN da R. Amador Bueno

- Arapongas - 4 semáforos:
  - PN da Av. Arapongas
  - PN da R. Patativa
  - PN da R. Abelheiro
  - PN da R. Pavãozinho do Pará
- Apucarana - 3 semáforos:
  - PN da R. Grande Alexandre
  - PN da R. Dom Pedro II
  - PN da R. Marcílio Dias
- Ponta Grossa - 3 semáforos:
  - PN da R. Sabiá
  - PN da R. Visconde de Sinimbú
  - PN da Av. Monteiro Lobato
- Rolândia - 3 semáforos:
  - PN da R. Dom Pedro I
  - PN da Av. Francisco Serpeloni
  - PN da R. Epitácio Pessoa
- Sarandi - 2 semáforos:
  - PN da R. América
  - PN da R. Atilio Salvalagio
- Mandaguari - 2 semáforos:
  - PN da Tv. Dr. João Cândido
  - PN da R. Vereador Tertuliano Guimarães Junior
- Morretes - 1 semáforo:
  - PN da Rod. Miguel Bufara
- Jandaia do Sul - 1 semáforo:
  - PN da R. Tancredo Neves

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho avaliou os impactos da instalação de tecnologias de semáforos em passagens de nível (PNs) na redução de acidentes ferroviários e na mitigação de custos financeiros diretos, com o número de acidentes nas 24 PNs antes e depois da instalação. As duas primeiras sinalizações foram aplicadas em 2021 como pilotos, e as vinte e duas restantes foram colocadas ao longo do ano de 2023, e os resultados podem ser vistos na Figura 7.

*Figura 7 - Total de acidentes antes e depois da instalação da sinalização ativa*

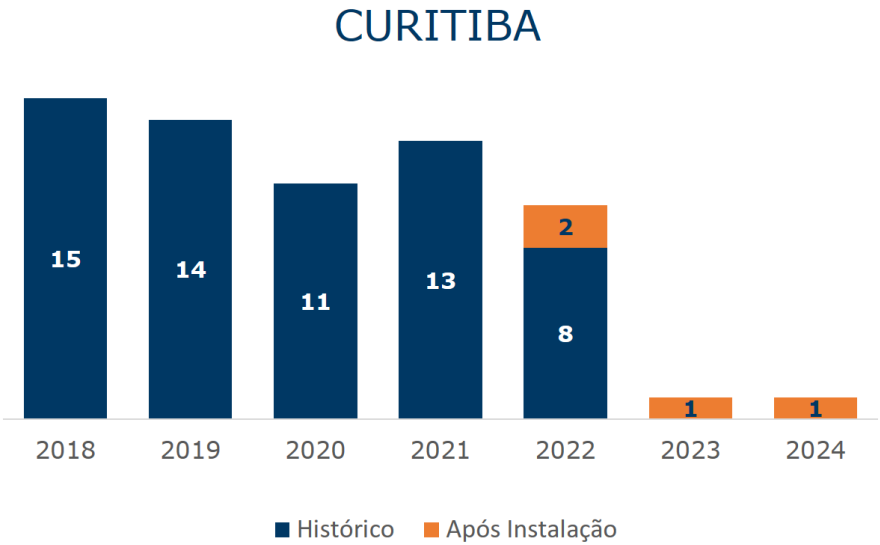


**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

A análise dos dados da Figura 07 nos permite observar os efeitos da implementação da tecnologia de semáforos inteligentes com IA nos cruzamentos ferroviários:

Antes da instalação dos sensores, o número de acidentes era consistentemente alto, com variações de 26 a 43 acidentes por ano, alcançando seu pico em 2021, com 43 ocorrências. Dois sensores foram instalados no segundo semestre de 2021 em Curitiba, e os resultados começaram a ser visíveis em 2022. Houve uma queda significativa no número total de acidentes, de 43 em 2021 para 31 em 2022, representando uma redução de aproximadamente 28%. Visando detalhar as localidades onde ocorreram os acidentes após instalação, foi dividido o número de acidentes totais em nos principais municípios afetados:

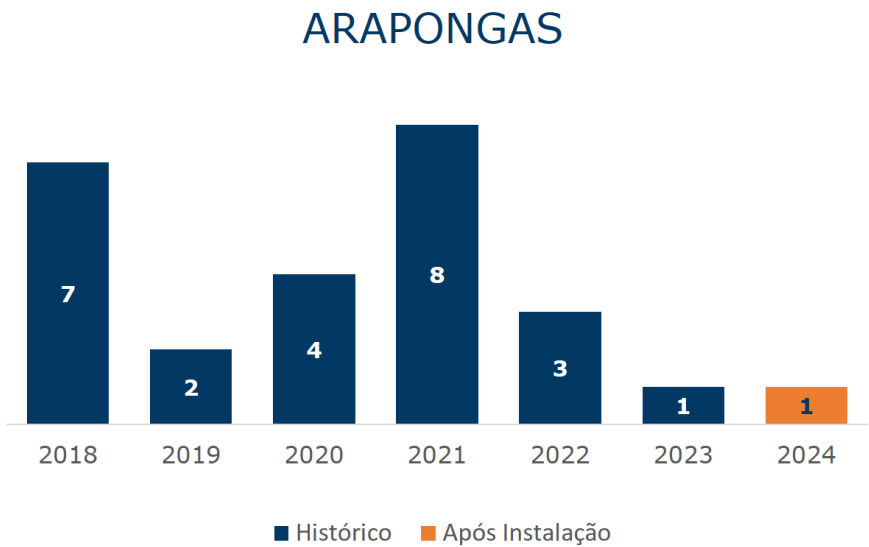
Figura 8 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Curitiba



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Curitiba demonstrou a maior redução, indo de uma média de 13 acidentes anuais, considerando a média de 2018 a 2021, para apenas 1 acidente nos anos de 2023 e 2024 (redução de 92,3%), que tinham a tecnologia em funcionamento. Observa-se dois acidentes no ano de 2022 mesmo com a sinalização ativa já instalada, pois era ainda o período de adaptação dos motoristas nas vias rodoviárias.

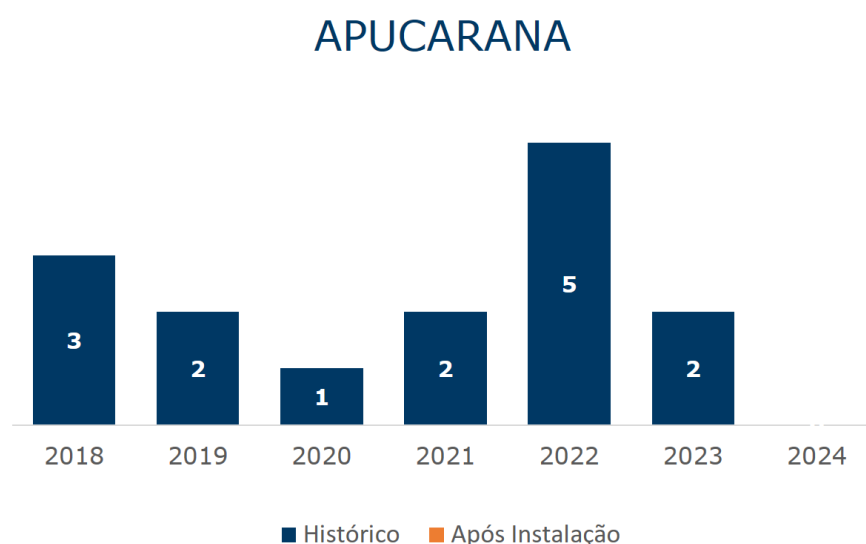
Figura 9 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Arapongas



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

A redução em Arapongas reflete uma melhora expressiva na segurança ferroviária local, com uma queda de 87,5% no número de acidentes entre o pico de 2021 (8 acidentes) e 2024 (1 acidente). Essa grande variação se deve aos fatores humanos de imprudência no trânsito, visto que a sinalização passiva estava coerente com as exigências da ANTT nos cruzamentos em questão. Havia sinalização passiva, como placas de trânsito alertando aos motoristas rodoviários da passagem de trem, e também sinalização horizontal, com pinturas na via. Esses números reforçam a eficiência da tecnologia de semáforos inteligentes com IA na prevenção de abalroamentos ferroviários e indicam que a solução pode ser uma referência para outros municípios com cruzamentos ferroviários críticos.

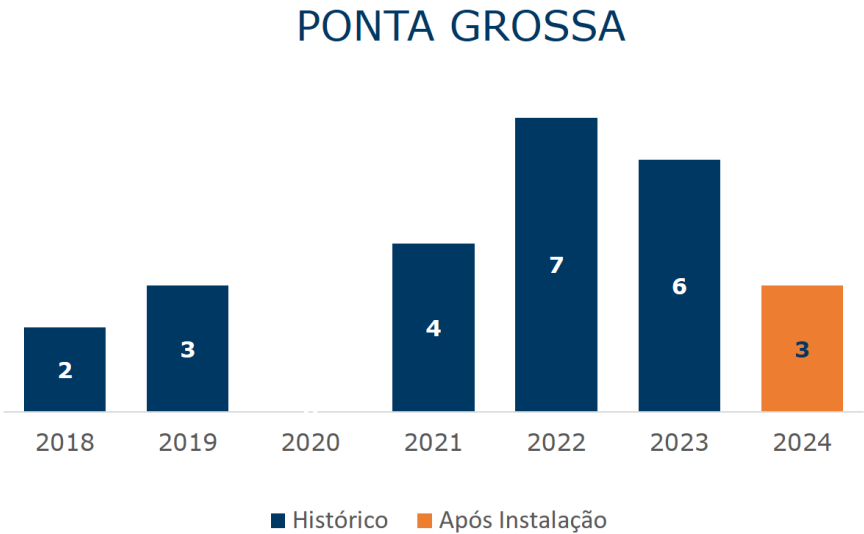
*Figura 10 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Apucarana*



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Apucarana teve uma elevação atípica no número de acidentes em 2022 antes de ser impactada pela expansão da tecnologia. Apesar disso, os resultados de 2023 mostram uma retomada no controle dos abalroamentos, voltando aos níveis mais baixos da série histórica, sem nenhum acidente nos dez primeiros meses do ano de 2024. Nos próximos anos, espera-se que a segurança ferroviária em Apucarana se aproxime ainda mais de níveis ideais.

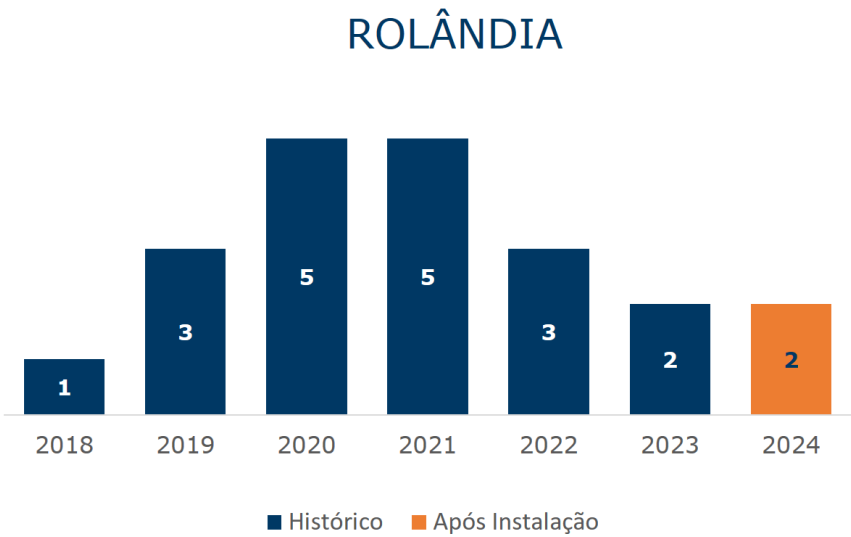
Figura 11 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Ponta Grossa



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Em Ponta Grossa, a instalação dos semáforos inteligentes com IA foi eficaz para reduzir os acidentes após um aumento alarmante em 2022. A redução para **3 acidentes em 2024**, o menor número desde 2021, demonstra que a tecnologia está cumprindo seu papel ao aumentar a segurança ferroviária. Essa queda expressiva sugere que o investimento está trazendo resultados claros.

Figura 12 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Rolândia

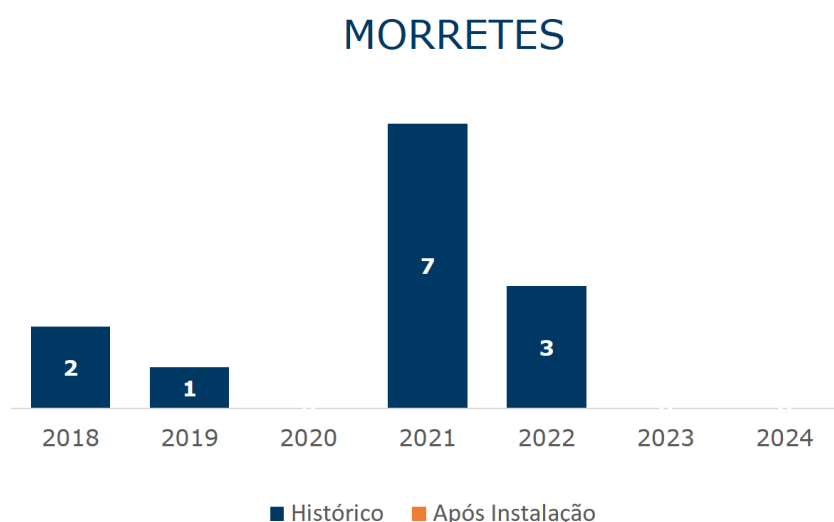


**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Rolândia tinha uma média de 3,4 acidentes por ano entre os anos de 2018 a

2022, e por conta da sinalização continua abaixo da média em 2024. A tecnologia está cumprindo seu papel ao aumentar a segurança ferroviária e a expectativa é que fique ainda melhor nos próximos anos.

Figura 13 - Total de acidentes antes e depois da sinalização nas PNs de Morretes



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Em Morretes, apenas a Rodovia Miguel Bufara possui a nova tecnologia de sinalização. Mesmo não tendo nenhum acidente em 2023, esta PN levou o investimento por conta de seu alto histórico de acidentes, principalmente no seu pico em 2021 com 7 acidentes. Após a instalação não houve mais nenhum evento nesta localização, o que mostra o bom resultado do projeto

Com a instalação de 22 sensores adicionais ao longo de 2023, a redução tornou-se ainda mais evidente. O número de acidentes históricos (sem sensores) caiu para 13, enquanto apenas 2 acidentes ocorreram nos cruzamentos já protegidos pela tecnologia.

Isso reflete uma queda drástica de acidentes em áreas protegidas pela nova tecnologia, totalizando 15 acidentes, contra 31 no ano anterior — uma redução de mais de 50%.

Em 2024 apenas 8 acidentes foram registrados, e todos com a causa de imprudência dos motoristas dos veículos rodoviários, que cruzaram a passagem mesmo com o sinal vermelho. Durante a investigação, foi constatado que alguns

estavam até embriagados e alguns destes foram no período noturno/madrugada. Como os acidente do ano de 2024 estão atualizados até o mês de outubro, têm-se uma projeção de 10 acidentes até o fim do ano. Considerando essa projeção, têm-se um ritmo de redução de 77% em relação ao pico de 2021 (43 acidentes) e de 33% em relação ao ano anterior (15 acidentes).

O projeto recebeu um investimento total de R\$ 10 milhões, destinado à instalação e operacionalização dos sistemas de semáforos em passagens de nível (PNs) selecionadas. Embora esse valor ainda não tenha sido integralmente recuperado, as projeções indicam que o retorno financeiro ocorrerá nos próximos anos.

A redução de acidentes promove uma diminuição direta nos custos associados, como despesas com reparos, interrupções logísticas e indenizações, o que fortalece a viabilidade econômica do projeto a médio prazo.

Além disso, os benefícios indiretos, que são o principal objetivo deste investimento, como a preservação de vidas da comunidade, a redução de impactos sociais negativos e o aumento da segurança nas comunidades adjacentes, agregam valor significativo ao investimento, destacando seu caráter estratégico e sustentável.

### **5.1. Causas dos acidentes**

Conforme a resolução 5.902/2020 da ANTT, que regulamenta o que é necessário nas investigações de cada tipo de acidente, todos os eventos nesses cruzamentos após a colocação de sinalização por aproximação também foram detalhadamente avaliados pela empresa ferroviária. Em apenas 1 do total de 12 eventos a sinalização não estava em pleno funcionamento devido a um vandalismo, onde furtaram os cabos do semáforo. Contudo, a sinalização ainda estava em amarelo piscante, que consiste em uma luz amarela que fica consistentemente piscando para alertar motoristas de veículos rodoviários que deve ser mantida total atenção ao cruzar a passagem.

Os 11 demais acidentes ocorridos tiveram como causa a imprudência dos condutores dos automóveis, pois mesmo com o maquinista do trem realizando todos os procedimentos de buzina corretamente, reduzindo a velocidade no cruzamento com a via, aplicando os freios do trem ao perceber que os automóveis não iriam parar

a tempo, e com a prioridade total de seguir em frente por conta do semáforo no sinal vermelho, ainda não obteve sucesso para evitar os acidentes. (

*Tabela 2 – Causas dos novos acidentes nas passagens em nível.*

| Abalroamentos PN's sensoreadas |                                   | Cidade       | Rua                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------|
| 15/08/2022                     | Avanço semáforo vermelho          | Curitiba     | Sebastião Marcos Luiz |
| 12/10/2022                     | Avanço semáforo vermelho          | Curitiba     | Sebastião Marcos Luiz |
| 12/08/2023                     | Amarelo piscante (PN vandalizada) | Curitiba     | Sebastião Marcos Luiz |
| 10/11/2023                     | Avanço semáforo vermelho          | Sarandi      | América               |
| 03/01/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Ponta Grossa | Sabiá                 |
| 18/02/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Rolândia     | Epitácio Pessoa       |
| 11/04/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Curitiba     | Dos Ferroviários      |
| 04/08/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Rolândia     | Francisco Serpeloni   |
| 01/09/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Arapongas    | Av. Arapongas         |
| 13/09/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Ponta Grossa | Sabiá                 |
| 16/09/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Mandaguari   | Tv. Dr. João Cândido  |
| 13/10/2024                     | Avanço semáforo vermelho          | Ponta Grossa | Av. Monteiro Lobato   |

**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

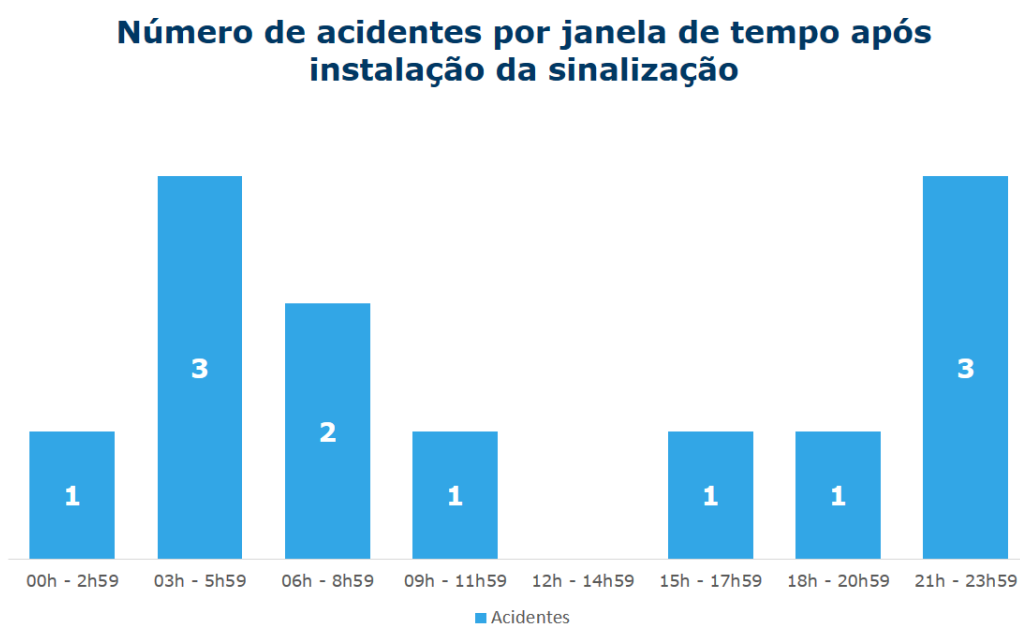
## 5.2. Períodos dos acidentes

Além da análise do número de acidentes e suas causas, também foi observado o horário em que ocorreram. Os acidentes entre trens e veículos rodoviários aconteceram com maior frequência em determinados horários ao longo do dia. Embora os semáforos com fechamento automático estivessem presentes para interromper o fluxo de veículos sempre que um trem se aproximava, foi observado que os acidentes se concentraram em períodos de pico de tráfego, como no final da noite e de madrugada, momentos em que o volume de veículos é maior e os motoristas tendem a agir com pressa para chegar a seus destinos, e horários em que pessoas estão voltando de momentos de lazer, com falta de atenção e por vezes alcoolizados.

Além disso, a concentração de acidentes também pode estar relacionada à

fadiga dos motoristas, especialmente no final do dia, quando há maior probabilidade de desatenção devido ao cansaço acumulado. Os motoristas nesses horários, especialmente aqueles que enfrentam congestionamentos, podem estar mais inclinados a ignorar sinais de alerta ou tentar atravessar o cruzamento antes que o trem chegue.

Figura 14 - Número de acidentes por período



**Fonte:** Elaborado pelo próprio autor (2024)

Dentro destes dados, foi observado que 2 dos 3 acidentes no período de 03h00 às 5h59 tinham motoristas alcoolizados, que imediatamente após a colisão com o trem se evadiram do local para evitar responder pela ocorrência.

A análise dos dados de acidentes entre trens e veículos, mesmo com a presença de semáforos automáticos, revela que a imprudência do motorista é o principal fator causador dos acidentes. A concentração de acidentes nos horários de pico, como no final da tarde e início da noite, pode ser atribuída à combinação de trânsito intenso, pressa e fadiga. Apesar da eficácia do sistema de semáforos, é fundamental que medidas adicionais sejam adotadas para educar os motoristas, como é realizado em diversas ações da empresa, como: conscientização por meio das redes sociais, entrega de panfletos informativos em locais com maior ocorrência de eventos, colocação de placas sobre reincidência de acidentes nos locais críticos, etc.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de tecnologias modernas de sinalização em passagens de nível mostrou-se altamente eficaz para aumentar a segurança ferroviária e reduzir significativamente os acidentes e seus custos associados. A análise dos resultados revelou que, com a instalação de semáforos em 24 PNs, há uma predição de redução expressiva de 67,7% nos acidentes entre 2022 e 2024. Este impacto positivo evidencia o valor do investimento de R\$ 10 milhões, tanto na preservação de vidas quanto na mitigação de custos financeiros e operacionais.

Também foi possível observar que todos os casos em que ocorreram acidentes nestes cruzamentos da linha férrea com a via rodoviária, foram causados por conta da imprudência dos motoristas, que avançaram nas passagens mesmo quando a sinalização estava vermelha. Deve-se continuar com foco na educação e conscientização dos riscos nas passagens em nível, utilizando mídias sociais, televisão, escolas e nos locais com quantidades consideráveis de acidentes.

Além disso, embora o estudo tenha considerado apenas os custos diretos dos acidentes, identificou-se que as ações judiciais movidas pelas vítimas contra a empresa ferroviária constituem uma variável importante que não pôde ser mensurada neste momento. Portanto, recomenda-se a continuidade da pesquisa, com o objetivo de incluir os custos jurídicos e outros impactos indiretos.

O trabalho reforça a relevância de medidas preventivas e a importância de projetos focados na modernização da infraestrutura ferroviária. Assim, como próximos passos, sugere-se expandir a análise para incluir um período mais longo de acompanhamento, abranger mais localidades que podem obter o mesmo investimento e considerar variáveis econômicas e jurídicas adicionais.

## 7. REFERÊNCIAS

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Frota de veículos cresce 12% no Paraná em cinco anos e passa de 8 milhões**. Agência Estadual de Notícias, 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Frota-de-veiculos-cresce-12-no-Parana-em-cinco-anos-e-passa-de-8-milhoes>. Acesso em: 20 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Panorama do Setor 2023-2024: Boletim de Informações Gerenciais**. Brasília: ANTT, 2023. Disponível em: <[www.gov.br/antt](http://www.gov.br/antt)>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. **Histórico das Ferrovias**. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br>. Acesso em: 19 nov. 2024.

INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

BRASIL ESCOLA. **Transporte ferroviário no Brasil**. Brasil Escola, 2022. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/ferrovias>. Acesso em: 21 nov. 2024.

ALVARENGA, A. C., NOVAES, A. G. N. **Logística Aplicada – Suprimento e Distribuição Física. 3a edição**. São Paulo: Edgar Blücher, 2000.

ANTF. Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. Brasília, 2019. Disponível em: [https://www.antf.org.br/wp-content/uploads/2019/12/Mapa-Site-Retrato\\_V02.pdf](https://www.antf.org.br/wp-content/uploads/2019/12/Mapa-Site-Retrato_V02.pdf).

ARNOLD, J. R. T. **Administração de materiais**. São Paulo: Atlas, 1999.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial. 4. ed.** Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível Em:

[https://www.academia.edu/36531997/GERENCIAMENTO\\_DA\\_CADEIA\\_DE\\_SUPRIMENTOS\\_LOG%C3%8DSTICA\\_EMPRESARIAL](https://www.academia.edu/36531997/GERENCIAMENTO_DA_CADEIA_DE_SUPRIMENTOS_LOG%C3%8DSTICA_EMPRESARIAL).

BORGES, Bruno Albuquerque. **Patrimônio ferroviário e autenticidade: Avaliação do conjunto ferroviário de Caruaru**. 121. Dissertação de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/13264>.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. **Gestão da Cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br>. Acesso em maio de 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Investimento na infraestrutura ferroviária resulta em aumento da carga transportada por trens**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2021/7/investimento-na-infraestrutura-ferroviaria-resulta-em-aumento-da-carga-transportada-por-trens>. Acesso em junho de 2023.

BRINA, Helvécio Lapertosa. Estradas de Ferro. 1. ed. Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos** Editora, 1979. p. 9-44. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/36405456/helvecio-lapertosa-brina-estradas-de-ferro-vol-1-e-2>. Acesso em maio de 2023.

CAIXETA FILHO, Jose V.; MARTINS, Ricardo S. **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2011.

CARMO, R. C. (2006) **Procedimento para avaliação de passagens de nível**. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Transporte Ferroviário, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

CARVALHO, Alderico Borges. **Caderno de Pesquisas**. Museu Histórico de

Anápolis. 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6622605-Museu-historico-de-anapolis-alderico-borges-de-carvalho-caderno-de-pesquisas.html>. Acesso em abril de 2023.

CAVANHA FILHO, A. O. **Logística: novos modelos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

LOPES, R. B. et al. **Avaliação da sinalização de passagens em nível da região de Joinville/SC**. Maceió, 2016. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%203%20-%20Mobilidade%20e%20Transportes/Paper1431.pdf>

WOSNIACKI, G. G. (2014) **Estudo de métodos para avaliação da segurança em passagens em nível e de alternativas de proteção**. 84 f. TCC (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

