

**ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico**

RELATÓRIO FINAL

**REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO
HORIZONTAL E VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS
COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E
MODELAGEM ESTATÍSTICA**

Autopista Litoral Sul

17/03/2023

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	6
1.1 Título.....	6
1.2 Resumo	6
1.3 Palavras-chave	7
1.4 Justificativa	7
1.5 Objetivos.....	8
1.6 Organização do trabalho.....	8
1.7 Período de execução.....	10
1.8 Cronograma de execução	10
1.9 Local de execução	12
1.10 Equipe executora	12
2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Estudos Estatísticos	14
3.2. Fatores de influência na ocorrência de acidentes rodoviários.....	17
3.3. Identificações de pontos críticos	18
3.4. Utilização de simuladores de direção como apoio para redução de acidentes.....	19
4. LEVANTAMENTO DE DADOS DA RODOVIA	26
4.1. Levantamento de dados para geração dos cenários 3D dos trechos	29
4.1.1. Geometria	29
4.1.2. Filmagem	30
5. GERAÇÃO DE CENÁRIOS 3D DOS TRECHOS	30

5.1.	Trechos em estudo	35
5.2.	Geração do cenário 3D	37
5.2.1.	Criação do cenário virtual	38
5.2.2.	No simulador	41
5.2.3.	Delineamento e execução do experimento no simulador	43
5.2.3.1.	População de estudo e amostragem	43
5.2.3.2.	Variáveis de estudo.....	43
5.2.3.3.	Coleta de dados.....	45
5.2.3.4.	Procedimento experimental.....	45
5.2.4.	Elaboração dos novos cenários de sinalização no trecho em estudo.....	47
5.2.4.1.	Propostas para reforçar a sinalização nas curvas críticas do trecho	47
5.2.4.2.	Cenários de sinalização propostos para complementar a sinalização nas curvas críticas do trecho.....	47
6.	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	48
6.1.	Processamento dos dados de acidentes	48
6.2.	Processamento dos dados coletados no simulador.....	60
7.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	62
7.1.	Análise dos acidentes – Identificação dos trechos críticos	62
7.2.	Análise dos resultados do experimento no simulador de direção	96
7.2.1.	Análise da efetividade dos projetos de sinalização propostos	97
7.2.2.	Conclusão	99
7.3.	Atualização da análise estatística de acidentes	99
7.3.1.	Atualização da análise estatística de acidentes após as alterações no pavimento e na sinalização.....	106

7.3.1.1.	Período de fevereiro a julho de 2022	106
7.3.1.1.1.	Alterações na superfície do pavimento	106
7.3.1.1.2.	Alterações na sinalização	110
7.3.1.2.	Período entre agosto e dezembro de 2022	Erro! Indicador não definido.
7.3.1.2.1.	Alterações na superfície do pavimento	113
7.3.1.2.2.	Alterações na sinalização	120
8.	IMPLANTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ESCOLHIDAS.....	123
8.1.	Trecho experimental de pavimento.....	123
8.1.1.	Materiais.....	123
8.1.1.1.	Agregados.....	124
8.1.1.2.	Ligante asfáltico.....	127
8.1.2.	Projeto de dosagem.....	130
8.1.3.	Aplicação da camada asfáltica em pista	138
8.2.	Trecho experimental de sinalização	143
8.2.1.	Descrição do projeto implantado	143
8.2.1.1.	Segmento 1	143
8.2.1.2.	Segmento 2	144
8.2.1.3.	Segmento 3	146
8.2.2.	Comprovação da implantação do projeto	147
9.	AVALIAÇÃO PERIÓDICA DAS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DO PAVIMENTO E DA SINALIZAÇÃO	153
10.	RELATÓRIOS.....	164
11.	CAPACITAÇÃO TÉCNICA DE PESSOAL	164

12. PRODUÇÃO CIENTÍFICA	164
13. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS	166
13.1. Produtos Gerados	168
13.1.1. Redução da severidade dos acidentes e do número de ocorrências nos trechos tratados	
168	
13.1.2. Manual de identificação, por modelagem estatística, de criticidade de acidentes de	
trechos rodoviários	168
13.1.3. Caderno de procedimentos para coleta de dados de acidentes para estudos futuros	
169	
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
15. ANEXOS	175

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 Título

Redução de acidentes rodoviários por intervenções na sinalização horizontal e vertical, e na textura superficial dos pavimentos com avaliação de resultados por meio de simulador de direção e modelagem estatística.

1.2 Resumo

Este relatório traz todas as atividades desenvolvidas no período entre março de 2021 e fevereiro de 2023. Dentre todas as etapas previstas no plano de trabalho, o levantamento da avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e da sinalização do 22º mês de execução desta pesquisa não foi realizado devido ao deslizamento ocorrido na BR 376, que gerou congestionamentos e restrições de fechamento de rodovia. Esta pesquisa objetivou a redução de acidentes rodoviários em pontos críticos de trecho sinuoso das rodovias BR 116/376 PR e BR 101 SC, de modo a minimizar o número de acidentes que impactam em perdas de vida, prejuízos financeiros e na operação da rodovia. O estudo iniciou por análise estatística e geoestatística para a identificação de trechos críticos a partir da série histórica de dados de 2015 a 2020. Na sequência, identificou-se o trecho com a maior criticidade, e que receberia as intervenções estabelecidas para a redução de acidentes e da severidade deles. As intervenções previstas consistiram em alterações da sinalização horizontal e vertical e aumento da macrotextura superficial do pavimento (melhoria do atrito entre pneu e pavimento). O trecho com a maior criticidade de acidentes, entre o km 651 e o km 666 da BR376, sentido norte, foi reproduzido e testado em simulador de direção equipado com sistema de rastreamento do olhar. As intervenções previstas foram analisadas por meio da criação de três cenários com diferentes combinações das placas de sinalização horizontal e vertical. Voluntários dirigiram, no ambiente simulador de direção, no trecho da rodovia com sua sinalização original e no mesmo trecho da rodovia, com as alterações. O resultado, ou seja, o cenário simulado que resultou na maior eficiência do aumento da atenção do condutor à sinalização horizontal e vertical e diminuição da velocidade foi o implantado. Desta forma, receberam alteração na sinalização horizontal e vertical os quilômetros 651+900, 685+300, 658+800, 658+200; 657+000, 658+00; 658+200, 665+900, 667+400, 666+500, 667+000 e 667+000 e alteração da macrotextura superficial para aumento do atrito entre pneu e pavimento entre os quilômetros 665+482 e 666+232 da BR-376, sentido norte. Com as análises

estatísticas dos registros de acidentes realizadas após a implantação das intervenções, ainda que com o registro do aumento do volume diário médio (VDM) de veículos para o ano 2022 pôde-se, de fato, constatar que houve não só a redução do número de acidentes, bem como, também, diminuição da severidade dos acidentes sob a condição de pista molhada.

1.3 Palavras-chave

Sinalização; Pavimentação; Modelos Estatísticos; Segurança Viária.

1.4 Justificativa

Acidentes de trânsito são eventos complexos e podem ser causados por um fator ou uma combinação de vários fatores. É comum a associação de sua ocorrência ao comportamento dos motoristas, às condições dos veículos e a infraestrutura das vias, entretanto, condições ambientais também podem ser incluídas (NOYCE et al., 2005; FLINTSCH et al., 2012). A Tabela 1 ilustra os fatores comumente relacionados aos acidentes e sua porcentagem de contribuição no número total de eventos, de acordo com Sabey (1980, apud Aps, 2006).

Tabela 1 - Fatores relativos aos acidentes

Fatores	%
Humanos somente	65
Veículo somente	2,5
Humanos + Veículo	4,5
Via somente	2,5
Humanos + Via	24
Via + Veículo	0,25
Humanos + Via + Veículo	1,25
Total	100

Fonte: Sabey (1980, apud Aps, 2006)

Quanto ao comportamento dos usuários das vias, em especial os condutores de veículos motorizados, eles podem cometer diversos erros devido a suas limitações físicas, perceptivas e cognitivas. Uma vez que não é possível o controle total sobre as ações dos motoristas, controlam-se os outros fatores

relativos aos acidentes diminuindo sua probabilidade de ocorrência. Dessa forma, o entendimento da interação entre motorista e via é fundamental para o planejamento e construção de rodovias que evitem acidentes ou diminuam suas consequências (AASHTO, 2010).

1.5 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa foi a redução da quantidade de acidentes rodoviários em pontos críticos de trecho sinuoso das rodovias BR 116/376 PR e BR 101 SC por meio de estudo estatísticos sobre tipo, severidade e local de ocorrência dos acidentes. A pesquisa estabeleceu critérios para identificação de segmentos críticos e soluções técnicas para redução de acidentes rodoviários, bem como avaliou a eficácia das soluções implantadas ao longo do tempo.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- a) Estudar as estatísticas de ocorrência de acidentes nas rodovias BR 116/376 PR e BR 101 SC, e introduzir metodologia de estabelecimento de criticidade de acidentes.
- b) Avaliar a sinalização existente e as novas soluções e materiais para aumento de percepção dos usuários, por meio de análises de campo e com o auxílio de simulador de direção existente na EESC/USP.
- c) Avaliar a influência das condições superficiais dos pavimentos na ocorrência de acidentes rodoviários e possíveis soluções para esses trechos de maneira a aumentar a aderência pneu-pavimento, principalmente em situação de pista molhada.
- d) Estabelecer critérios e soluções (combinadas ou não) de sinalização complementar e de textura superficial de pavimentos, para a redução da ocorrência de acidentes, incluindo a criação, localização e posicionamento de dispositivos de sinalização bem como a utilização de materiais alternativos de pavimentação asfáltica para aumento de macrotextura.

1.6 Organização do trabalho

Esta pesquisa foi realizada em 9 etapas:

1. Revisão bibliográfica

Foi feita sobre todos os tópicos que envolvem a pesquisa: (i) Fatores de influência na ocorrência de acidentes rodoviários, como geometria, atrito, sinalização horizontal e vertical; (ii) Análise estatística de acidentes e delimitação de segmentos críticos e modelagem estatística para a previsão de acidentes; (iii) Utilização de simuladores de direção como apoio para a redução de acidentes, e (iv) Interação entre características de superfície de pavimento e sinalização no controle de ocorrência de acidentes; dentre outros tópicos que foram identificados ao decorrer da pesquisa.

2. Levantamento de dados da rodovia

Neste item, foi feita a análise dos dados referentes ao volume de tráfego nos segmentos em estudo, bem como os dados relativos à ocorrência de acidentes nos trechos sob administração da concessionária, incluindo todo o histórico dos tipos de acidentes, localização, criticidade, além do histórico de intervenções e características dos segmentos.

3. Geração de cenários 3D dos trechos

Foi realizada a filmagem da rodovia e a sua reprodução em ambiente 3D para o teste no simulador de direção.

4. Processamento dos dados

Todos os dados foram catalogados e processados com auxílio de softwares para um ambiente de banco de dados interligando geometria da via, sinalização, tipos de pavimentos e superfície, bem como todo o histórico dos pavimentos e dos acidentes.

5. Análise estatística

Os dados obtidos a partir dos levantamentos e constantes no banco de dados foram analisados e tratados estatisticamente, visando a comprovação dos critérios adotados e subsidiando eventuais revisões, procurando a modelagem interligando causas e efeitos, bem como para a previsibilidade de acidentes.

6. Implantação das alternativas escolhidas

Foram implantadas as sinalizações complementares horizontais e verticais após estudos dos dados de percepção e das propostas decorrentes analisando os dados do simulador de direção e da modelagem estatística.

7. Avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização

Para compreensão dos efeitos do tráfego com repetições de carga e do clima sobre as sinalizações, bem como sobre as alterações da textura superficial dos pavimentos foram feitas avaliações periódicas para estudo da evolução ou desgaste.

8. Relatório

Os relatórios abordaram as atividades desenvolvidas periodicamente de maneira a espelhar os estudos e a evolução da pesquisa.

9. Capacitação técnica de pessoal

Ocorreria com a participação em congressos relativos à área de aplicação da pesquisa e apresentação de trabalhos e os participantes seriam escolhidos dentre os participantes da equipe técnica envolvida no trabalho. Se faz necessário esclarecer que os recursos para capacitação técnica de pessoal estavam previstos exclusivamente para a participação da equipe executora em workshop da ANTT para apresentação do projeto, porém tal evento não foi realizado.

1.7 Período de execução

O projeto teve duração de 24 meses, com a data de início em 01/02/2021 e data de conclusão em 31/01/2023.

1.8 Cronograma de execução

A pesquisa foi desenvolvida em 24 meses e as etapas foram distribuídas ao longo do tempo conforme os cronogramas físicos apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 para os anos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Cronograma físico para o ano 1 da pesquisa

Item	Atividade	Período de execução - 12º Ano de Concessão													
		Meses													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Revisão Bibliográfica							X	X	X	X	X	X	X	X
2	Levantamento de Dados							X	X	X	X	X	X	X	X
3	Geração dos cenários 3D dos trechos													X	X
4	Processamento dos dados								X	X	X	X	X	X	X
5	Análise Estatística								X	X	X	X	X	X	X
6	Implantação das Alternativas Escolhidas														X
7	Avaliação Periódica das Condições Superficiais do Pavimento e de Sinalização														
8	Relatório														X
9	Capacitação técnica de pessoal														X
10	Bolsas (Tabela FAPESP) - Apoio Escritório							X	X	X	X	X	X	X	X
11	Taxas (recolhimentos obrigatórios)							X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: autoria própria

Tabela 3 – Cronograma físico para o ano 2 da pesquisa

Item	Atividade	Período de execução - 13º Ano de Concessão													
		Meses													
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	Revisão Bibliográfica	X													
2	Levantamento de Dados	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Geração dos cenários 3D dos trechos	X	X												
4	Processamento dos dados	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Análise Estatística	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Implantação das Alternativas Escolhidas				X	X									
7	Avaliação Periódica das Condições Superficiais do Pavimento e de Sinalização	X				X				X					X
8	Relatório						X								X
9	Capacitação técnica de pessoal						X								
10	Bolsas (Tabela FAPESP) - Apoio Escritório	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Taxas (recolhimentos obrigatórios)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: autoria própria

Tabela 4 – Cronograma físico para o ano 3 da pesquisa

Item	Atividade	Período de execução - 14º Ano de Concessão													
		Meses													
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	Revisão Bibliográfica														
2	Levantamento de Dados	X	X	X	X	X	X								
3	Geração dos cenários 3D dos trechos														
4	Processamento dos dados	X	X	X	X	X	X								
5	Análise Estatística	X	X	X	X	X	X								
6	Implantação das Alternativas Escolhidas														
7	Avaliação Periódica das Condições Superficiais do Pavimento e de Sinalização				X										
8	Relatório						X								
9	Capacitação técnica de pessoal														
10	Bolsas (Tabela FAPESP) - Apoio Escritório	X	X	X	X	X	X								
11	Taxas (recolhimentos obrigatórios)	X	X	X	X	X	X								

Fonte: autoria própria

1.9 Local de execução

A pesquisa foi executada na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

1.10 Equipe executora

A empresa que coordenou os serviços é a ARTERIS S.A., assessorada pelo Departamento de Engenharia de Transportes (STT) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LTP-EPUSP).

EQUIPE DE ASSESSORAMENTO TÉCNICO

A empresa que coordenou os serviços é o Grupo ARTERIS, associada com:

- Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP
- Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP – Escola Politécnica da USP – EPUSP

Equipe Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Grupo ARTERIS

- Guilherme Linhares
- Alan Marcos Ribeiro de Moraes

Coordenadora geral pela EPUSP

- Profa. Dra. Liedi Legi Bernucci - engenheira civil, professora titular do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP

Assessoramento técnico pela EPUSP

- Dra. Cláudia Aparecida Soares Machado, engenheira civil, pesquisadora de pós-doutorado do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP
- Prof. Dr. Orlando Yesid Esparza, matemático, professor doutor do Departamento de Estatística do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo - IME-USP
- Pedrina Vitória Assis Correia, estudante de graduação do curso de engenharia civil da EPUSP (Iniciação Científica)

Coordenadora geral pela EESC-USP

- Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca - engenheira civil, professora associada do Departamento de Engenharia de Transportes da EESC-USP

Assessoramento técnico pela EESC

- Mariovaldo Marshett, consultor-colaborador da Braspowertech Soluções Tecnológicas LTDA
- Aurenice da Cruz Figueira (pós-doutora), engenheira civil, pesquisadora de pós-doutorado do Departamento de Engenharia de Transportes da EESC-USP
- Eduardo Oliveira de Paula - engenheiro civil, pesquisador no curso de Mestrado do Departamento de Engenharia de Transportes da EESC-USP
- Victor Braga Tebet - estudante de graduação do curso de engenharia civil da EESC-USP (Iniciação Científica)

2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

O desenvolvimento desse plano de pesquisa foi idealizado visando a redução de acidentes rodoviários por intervenções na sinalização horizontal e vertical, e intervenções na textura superficial dos pavimentos com avaliação de resultados por meio de simulador de direção e modelagem estatística.

Os ensaios e métodos a serem realizados, cujos resultados serão analisados, estão definidos em especificações da AASHTO, DNIT, ASTM.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Çela et al. (2012), os acidentes rodoviários podem ser considerados uma epidemia global que exige ações de prevenção eficiente e sustentável. Diante dos contundentes impactos sociais, emocionais e econômicos impostos à sociedade pelos altos índices de acidentes, a redução desses números tem sido a principal ênfase das agências reguladoras de transporte rodoviário, dos fabricantes de veículos automotores e das empresas que administram e operam as rodovias.

Dentre os vários aspectos dos estudos de segurança viária, as análises sobre os acidentes rodoviários, que visam reduzir a ocorrência de ferimentos e fatalidades, são fundamentais para profissionais que atuam na gestão de rodovias; na elaboração de projetos viários; na aplicação das normas de trânsito, em aspectos relativos à saúde pública e nos serviços de emergência e trauma; na elaboração de políticas públicas, conscientização e educação de trânsito etc. As variáveis explanatórias mais importantes para este tipo de estudo são o comportamento dos usuários, fluxo de tráfego, as características geométricas e as condições ambientais (como por exemplo, os eventos climáticos) (Yu e Abdel-Aty, 2014).

Iniciativas e programas de redução de acidentes vêm sendo conduzidos no Brasil pelo Poder Público, empresas concessionárias de rodovias, institutos de pesquisa, universidades etc., por meio da adoção de legislação adequada, medidas para garantir o cumprimento das leis, o investimento em infraestrutura segura nas estradas, o controle do excesso de velocidade, o enfrentamento do consumo abusivo de álcool e a garantia do atendimento às vítimas etc. Porém o diagnóstico da segurança viária no Brasil ainda está longe do aceitável, com números ainda crescentes de acidentes e morte no trânsito.

O investimento em pesquisas de segurança viária é, portanto, plenamente desejável e deve ser incentivado pelos tomadores de decisão. Desta maneira, o projeto aqui apresentado demonstra sua relevância, na medida em que atua em parceria com a empresa gestora de uma das mais importantes rodovias do Brasil, em um esforço coordenado para atingir a meta de redução da frequência e severidade dos acidentes rodoviários.

Durante a execução do projeto a revisão bibliográfica norteou: (i) os procedimentos de avaliação das características da rodovia quanto ao pavimento, principalmente relativo à superfície (textura e atrito) e sinalização; (II) seleção dos segmentos críticos; (III) seleção dos trechos experimentais onde foram implantadas as soluções de pavimento e de sinalização; (IV) estudo de soluções corretivas de superfície, visando o aumento de aderência em pista molhada; (V) estudo de soluções corretivas da sinalização; (VI) execução de revestimentos teste visando soluções corretivas; (VII) geração dos cenários 3D, delineamento e execução do experimento no simulador; (VIII) elaboração dos novos cenários de sinalização nos trechos experimentais; (IX) monitoramento dos dados de registros de acidentes de modo a avaliar se as soluções indicadas obtiveram sucesso para a redução da frequência de acidentes e sua severidade.

3.1. Estudos Estatísticos

As análises estatísticas sobre acidentes rodoviários são tema de crescente interesse tanto por parte dos tomadores de decisão (políticas públicas) quanto dos acadêmicos. Obter uma melhor compreensão dos fatores que afetam a probabilidade de ocorrência de um acidente de tráfego tem sido uma área prioritária de interesse por muitas décadas. No entanto, devido à ausência de dados detalhados acerca do comportamento dos usuários, por exemplo, sobre como se dá a condução dos veículos que se envolvem nos acidentes, a maioria das pesquisas aborda este problema enquadrando-o em termos do

entendimento dos fatores externos que afetam a frequência dos acidentes, ou seja, o número de eventos que ocorre em algum espaço geográfico (geralmente um segmento de via ou interseção) durante um período específico (Lord e Mannering, 2010).

Em virtude da grande quantidade de variáveis envolvidas nos estudos de segurança viária, como por exemplo: (a) geometria da via, (b) características topográficas, (c) topologia, (d) geotecnia, (e) condições do pavimento, (f) sinalização, (g) condições meteorológicas, (h) fatores comportamentais etc., a ampla maioria dos pesquisadores se vale de técnicas estatísticas para manipulação e análises dos dados. A gama de informações é bastante heterogênea, e por vezes de difícil mensuração, previsibilidade e entendimento, como é o caso dos fatores humanos (comportamentais), e de fatores climáticos, cuja incerteza provém da própria natureza. À luz das deficiências inerentes às fontes de dados, foram desenvolvidos métodos estatísticos para abordar esta questão como heterogeneidade não observada, ou seja, variações no efeito de variáveis em toda a população de uma amostra desconhecida para o analista. Portanto, a abordagem estatística nesses modelos de "heterogeneidade" visa permitir que os analistas façam inferências mais precisas, explicando explicitamente as variações específicas da observação nos efeitos de fatores influentes, também conhecidos como heterogeneidade não observada (De Oña et al., 2013; Mannering et al., 2016).

Portanto, ao realizar uma revisão na literatura técnica e científica, fica evidente que o uso de metodologia de análises estatísticas para pesquisas sobre segurança viária e ocorrência de acidentes de trânsito é recomendável e produz resultados robustos e confiáveis. Alguns exemplos de tais estudos são:

- Bonera et al. (2022) usam análises estatísticas para investigar os padrões dos acidentes envolvendo usuários vulneráveis de vias (pedestres e ciclistas) ocorridos na Província de Brescia, Itália, no período entre 2014 e 2018. O objetivo da pesquisa foi associar soluções específicas dentro de um conjunto pré-definido de possíveis ações, baseando-se principalmente em atributos estruturais e ambientais. Os autores optaram pelos métodos estatísticos porque eles permitem detectar relacionamentos anteriormente desconhecidos entre dados e grupos homogêneos de dados que são caracterizados por um alto nível de similaridade dentro do grupo e dissimilaridade entre grupos.

- Haghani et al. (2021) realizaram um estudo bibliométrico de âmbito mundial sobre segurança viária e acidentes rodoviários. Os autores afirmam que pesquisas utilizando metodologias de análises estatísticas são muito recorrentes, pois apresentam resultados muito satisfatórios, e representam uma parcela bastante significativa de toda a literatura técnica e acadêmica sobre o tema segurança viária.
- Shaik e Hossain (2020) afirmam que a análise estatística dos acidentes rodoviários é de extrema importância para avaliar a gravidade do problema e agilizar a tomada de decisão para sua atenuação. Em sua pesquisa os autores aplicam estudos estatísticos para determinar os vários fatores contribuintes que são significativamente responsáveis por acidentes rodoviários ocorridos em Bangladesh.
- Liu et al. (2018) investigaram os fatores de risco que contribuem para a ocorrência de acidentes de extrema severidade na China. Os autores utilizaram os registros de acidentes rodoviários entre 2004 e 2015, e aplicaram abordagens estatísticas para a manipulação, compreensão e análise da imensa quantidade de dados e informações disponíveis para a pesquisa, objetivando diagnosticar as causas dos acidentes e propor medidas de prevenção de tais eventos.
- Huang e Shi (2016) desenvolveram análises estatísticas para estudar a dinâmica de ocorrência de acidentes em rodovias a partir de variáveis (ou fatores com heterogeneidade não observada) temporais, espaciais, tipo de acidente, tipo de veículo, etc., visando a proposição de contramedidas de controle e redução de acidentes rodoviários.
- Singh et al. (2016) utilizaram ferramentas estatísticas para entender como os diversos e heterogêneos fatores associados aos acidentes rodoviários podem ser inter-relacionados entre si, e quais respostas podem ser obtidas destas análises para melhoria da segurança viária.
- Zhang e Chan (2014) aplicaram métodos estatísticos a dados comportamentais, ao analisarem como a sonolência dos motoristas profissionais influencia e eleva drasticamente os riscos de acidentes em rodovias.
- Elvik (2013) também realizou estudo estatístico de fatores comportamentais ao associar o uso de substâncias químicas (lícitas e/ou ilícitas) com a ocorrência de acidentes de tráfego, e com a severidade das consequências.

Desta forma, a pesquisa contou com uma revisão bibliográfica com o intuito de construir um arcabouço teórico consolidado sobre o tema que sirva de guia e orientação para as análises conduzidas.

3.2. Fatores de influência na ocorrência de acidentes rodoviários

O acidente de trânsito é um evento não premeditado que envolve ao menos um veículo, motorizado ou não, que se movimenta nas vias públicas e que resulta em danos detectáveis (ELVIK *et al.*, 2015). Pode-se dizer que os acidentes de trânsito estão relacionados à interação entre fatores relacionados ao motorista, ao veículo e ao ambiente. Os fatores ambientais são responsáveis por cerca de 20% dos acidentes e incluem fatores relativos ao meio ambiente nos entornos e à via (PAULA; RÉGIO, 2008; TREAT *et al.*, 1979; WIERWILLE *et al.*, 2002). Entre os fatores relativos à via, destacam-se a influência da geometria, do atrito e da sinalização.

A geometria inadequada é uma causa importante de acidentes nas rodovias brasileiras, em boa parte devido a projetos geométricos antigos e que não sofrem atualizações. Consoante a isso, levantamento de 2019 da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) estima que 60% da extensão da malha rodoviária brasileira apresenta algum tipo de problema geométrico e 25% da malha apresenta curvas perigosas. Entretanto, a análise dos elementos geométricos de forma isolada pouco contribui para o entendimento da influência da geometria na acidentalidade viária, sendo necessário analisar a interação entre todos os elementos geométricos, condições do pavimento e entre esses elementos e o motorista.

Nesse sentido, a interação entre a geometria da via e os fatores humanos têm sido amplamente estudada nos últimos anos por meio do conceito de consistência de projeto geométrico, que analisa a conformidade entre as características geométricas da via e as expectativas dos motoristas que a percorrem, essas últimas formadas a partir das características geométricas das seções percorridas por eles anteriormente. Quando tais expectativas são violadas, os motoristas são surpreendidos e ficam mais propensos a comportamentos anômalos que podem gerar acidentes (LLOPIS-CASTELLÓ; CAMACHO-TORREGROSA; GARCÍA, 2018b). Portanto, uma rodovia consistente provê uma direção harmoniosa e livre de surpresas, características associadas a um baixo número de acidentes (M GIBREEL *et al.*, 1999). De fato, diversos estudos têm mostrado uma relação próxima entre a segurança da rodovia e a consistência do seu projeto geométrico (ANDERSON *et al.*, 1999; CAFISO

et al., 2010; GARACH *et al.*, 2014; MONTELLA; COLANTUONI; LAMBERTI, 2008; MONTELLA; IMBRIANI, 2015; NG; SAYED, 2004; WU *et al.*, 2013).

O atrito pneu-pavimento fornece ao veículo a resistência à derrapagem necessária ao frear e, sobretudo, ao percorrer curvas horizontais. Nesse caso, o atrito, aliado à superelevação, é responsável por prover o equilíbrio entre as forças centrípeta e centrífuga do veículo ao percorrer a curva. A estabilidade do veículo estará garantida caso o atrito demandado seja inferior ao atrito assumido pelo projetista. Do contrário, os veículos derrapam e podem se envolver em colisões frontais e capotamentos. Portanto, fornecer atrito adequado para garantir a estabilidade do veículo é uma questão importante para a operação segura da rodovia (LAMM *et al.*, 1996; M GIBREEL, 1999; NG; SAYED, 2004).

A sinalização e outros dispositivos de advertência podem ser usados como alternativa de baixo custo para a melhoria da segurança em locais com pequenas inconsistências geométricas, onde a correção do projeto geométrico não é necessária (LAMM *et al.*, 1988).

3.3. Identificações de pontos críticos

O primeiro passo no processo de gestão da segurança rodoviária visando a redução de acidentes é a identificação dos chamados pontos críticos (MONTELLA, 2010). Elvik (2007) define ponto crítico como qualquer local que tenha um número maior de acidentes do que outros locais semelhantes, sendo resultado de fatores de risco locais.

O tratamento dos pontos críticos é um meio extremamente eficiente de redução dos acidentes. Identificar, analisar e tratar os locais críticos é uma das práticas mais efetivas na tentativa de reduzir a acidentalidade viária (ELVIK, 1997). De acordo com Elvik (2008b), a gestão de locais considerados perigosos deve seguir três etapas: definir e identificar os pontos críticos; analisar os dados de acidentes e de fatores de risco nos locais identificados, com possíveis propostas de melhorias; e implementar as medidas cabíveis e posteriormente avaliar esses locais.

A implementação das medidas de segurança tem custo elevado, e a restrição orçamentária impõe uma limitação ao número de locais que podem ser estudados e melhorados (GHADI; TÖRÖK, 2017). Nesse contexto, é necessário definir precisamente os locais críticos para que as melhorias sejam eficientes e o uso dos recursos seja empregado de forma racional.

O método mais simples para obtenção dos pontos críticos, a classificação da frequência de acidentes, consiste em ordenar os locais, de forma decrescente, de acordo com o número de acidentes ocorridos num determinado período. A classificação do índice de acidentes segue o mesmo princípio, mas usando algum índice calculado pela razão entre o número de acidentes e uma medida de exposição (volume de tráfego, população, faixas de tráfego, quantidade de transporte etc.) (MONTELLA, 2010).

Diversos estudos não obtiveram bons resultados com o uso desses métodos, sobretudo com o uso dos índices de acidentes (BANDYOPADHYAYA; MITRA, 2011; MONTELLA, 2010; MANEPALLI; BHAM, 2016). Segundo Cheng e Washington (2005), esses métodos produzem muitos falsos positivos devido à flutuação do número de acidentes, podendo levar à aplicação de medidas corretivas ineficientes. Uma das alternativas a esse método é o uso da consistência do projeto geométrico como indicativo de locais críticos.

3.4. Utilização de simuladores de direção como apoio para redução de acidentes

Conforme Hussain *et al.* (2021), simuladores de direção se tornaram essenciais para introduzir fatores humanos e testar inúmeras situações adversas de trânsito nas pesquisas de segurança viária, como o uso de celular enquanto dirige, condições climáticas desfavoráveis, consumo de álcool, cansaço e fadiga. Ademais, eles possibilitam a avaliação da efetividade de diferentes soluções viárias antes delas serem de fato aplicadas na prática, como marcações ópticas de pavimento, sinalização de mensagem variável e de sistema veicular incorporado ao ambiente viário. O estudo de Hussain *et al.* (2021), especificamente, analisa zonas de transição de velocidade em rodovias, nas quais o limite de velocidade diminui e os motoristas não conseguem se adequar a essa mudança, gerando vários acidentes nesses trechos. Assim, o objetivo desse trabalho é avaliar a eficácia dos tratamentos ópticos de pavimento no comportamento do motorista em termos do controle de sua velocidade de viagem e posicionamento na pista, sendo as sinalizações horizontais propostas a marcação de limite de velocidade gradualmente aumentando seu brilho, a marcação do limite de velocidade gradualmente aumentando em tamanho e, por fim, essa marcação gradualmente aumentando seu brilho e tamanho. Portanto, foi testada a efetividade dessas sinalizações em um simulador de direção no Qatar, analisando 81 indivíduos com carteira de motorista do país, modelando o ambiente viário e

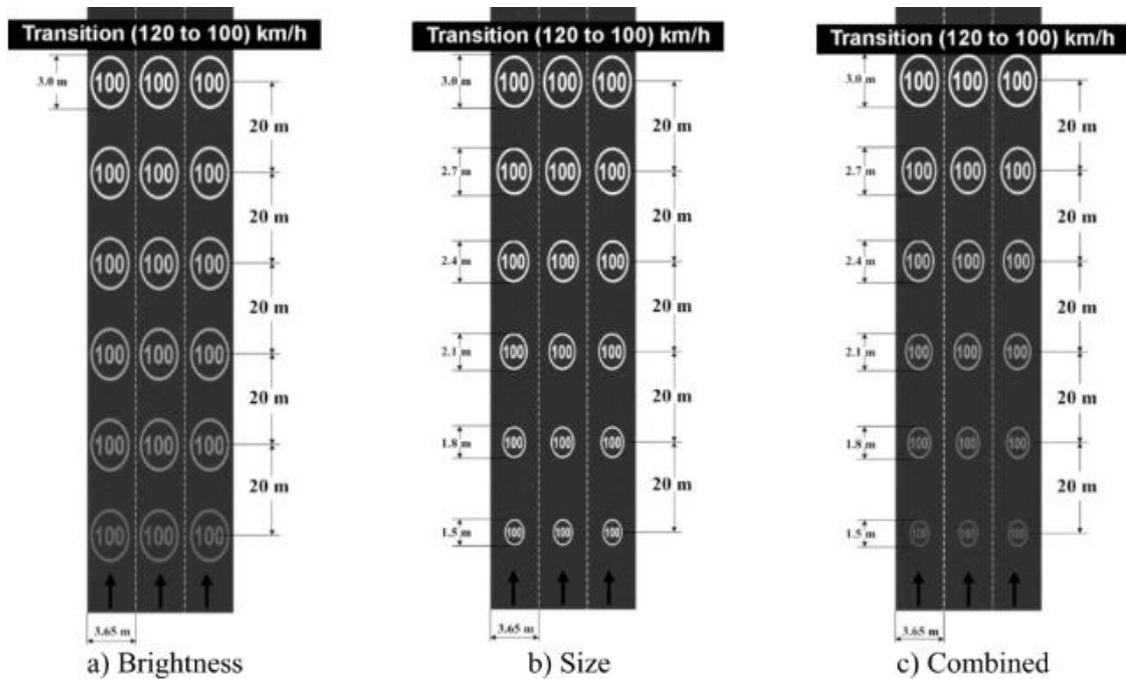
redondezas de 16 quilômetros da Doha Expressway com os tratamentos ópticos de pavimento aplicados.

Figura 1 - Ambiente simulador de direção do Qatar Transportation and Traffic Safety Centre (QTTSC)



Fonte: Hussain *et al.* (2021)

Figura 2 - Tipos de tratamentos ópticos de pavimento analisados



Fonte: Hussain *et al.* (2021)

Ressalta-se que o brilho se iniciava em 25% do brilho padrão utilizado, aumentando em 15% até chegar em 100%, e o diâmetro inicial era de 1,5 metros, aumentando 30 centímetros até chegar aos 3 metros de diâmetro padrão, em trechos de transição de velocidade de 120 km/h para 100 km/h (Transição 1) e de 100 km/h para 80 km/h (Transição 2). Dessa forma, a cada décimo de segundo, a velocidade e a posição lateral do veículo eram coletadas, com o intuito do aumento da acurácia da análise realizada.

Dessarte, comparado com a situação de controle, ou seja, presença de apenas sinalização vertical situada na lateral do campo de visão periférico dos condutores, a condição de tratamento óptico combinada foi a que apresentou maior efetividade no controle da velocidade deles, mantendo-as abaixo do limite de 100 km/h, na primeira transição observada, e produzindo a menor velocidade média observada de 83,3 km/h na segunda transição, a qual tinha limite de 80 km/h. Tal eficácia se deve, sobretudo, à apelação visual produzida pela mudança de brilho e tamanho combinadas da sinalização na percepção do condutor, além do posicionamento central, e não lateral, de uma sinalização tão importante na redução de acidentes de tráfego. Além disso, foi ela que apresentou as

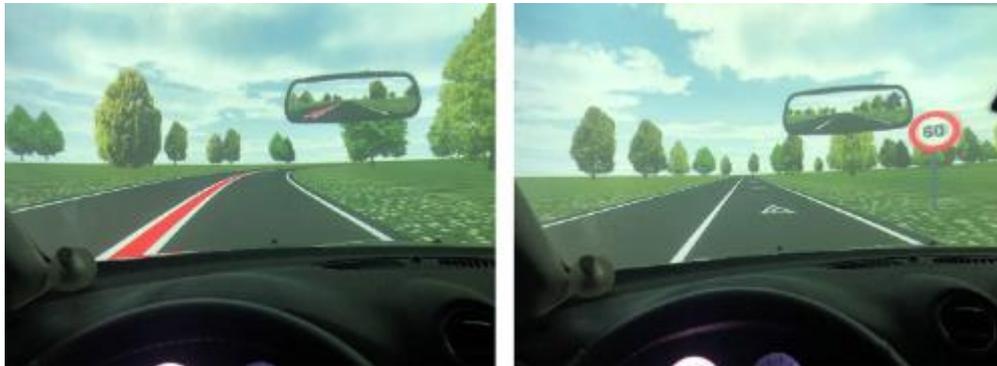
maiores reduções de velocidade média dos condutores. Entretanto, no caso do deslocamento lateral da posição do veículo na pista, não se observou nenhuma diferença significativa em nenhuma das situações.

Além disso, outra medida de sinalização que pode ser citada é a proposta por Babić e Brijs (2021). Tal pesquisa observou que curvas horizontais, especialmente aquelas com raio inferior a 200 metros, apresentavam riscos de acidentes extremamente elevados, sendo a causa, em 72% deles, a velocidade inapropriada e posicionamento lateral inadequado imposto pelos condutores. Nesse contexto, pode ser aplicado um conceito de rodovias autoexplicativas, as quais naturalmente incitam os condutores a adotarem um comportamento consistente com a geometria de cada via por intermédio, principalmente, da transmissão de informações fáceis e intuitivas com a utilização de sinalizações horizontais e verticais de elevado custo-benefício. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é analisar como duas sinalizações horizontais de baixo custo de implementação, sozinhas ou combinadas com a sinalização vertical já existente, afetam o comportamento do motorista em termos de respeito aos limites de velocidade, movimentação lateral e aceleração e desaceleração antes e ao longo de curvas horizontais de alta periculosidade em trechos rurais de rodovias de dois sentidos.

Portanto, foi modelado em ambiente simulador de direção uma estrada com as curvas horizontais de um trecho rural de uma rodovia na Croácia com elevada ocorrência dos seguintes tipos de acidentes: veículo sair da pista, colisão frontal e colisão com objetos na beira da estrada. Logo, a rodovia foi virtualmente reproduzida com 14,74 km de comprimento, com 3,5 metros de largura e linha central branca de 15 centímetros, com 10 curvas idênticas (5 para a esquerda e 5 para a direita), das quais cada uma possuía uma diferente combinação de sinalizações, em ordem aleatória, podendo ser:

- Apenas sinalização vertical 150 metros antes das curvas, sendo essa a condição de controle, por ser a existente nas rodovias do país;
- As sinalizações horizontais sugeridas pelo projeto sem a presença da sinalização vertical padrão;
- As sinalizações horizontais sugeridas pelo projeto e combinadas com a sinalização vertical padrão.

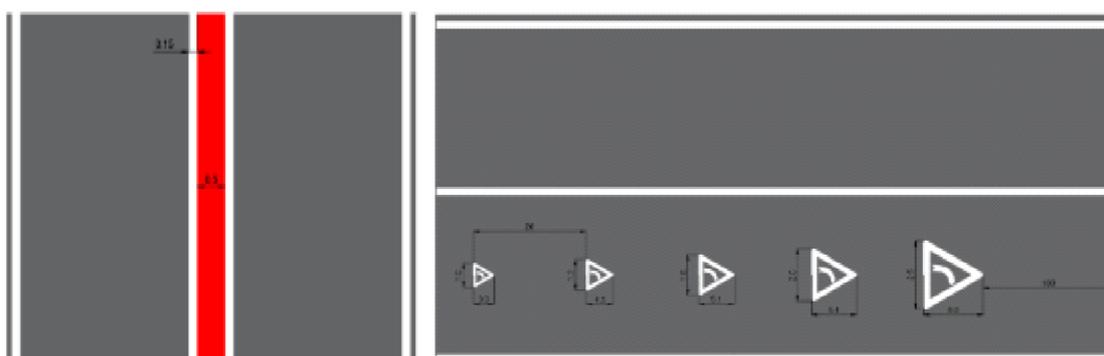
Figura 3 – Imagens retiradas do ambiente virtual do simulador de direção



Fonte: Babić e Brijs (2021)

Assim, eram duas as sinalizações sugeridas. A primeira era uma faixa vermelha centralizada, que começava 50 metros antes das curvas e prolongava por 250 metros (até o início da zona de transição das curvas), com 0,5 metros de largura e faixas brancas de 0,15 metros de largura nas laterais. Já a segunda, cinco sinais de advertência de curvas perigosas implementadas da seguinte forma: o primeiro, a uma distância de 206 metros da curva, possuía 1,0 m x 3,3 m de dimensão, enquanto os próximos, espaçados de 20 metros entre si, aumentavam gradualmente em 25% seu tamanho, ficando a última 100 metros antes das curvas e de dimensão 2,5 m x 8,0 m.

Figura 4 – Sinalizações horizontais aplicadas na pesquisa. (Na esquerda, a faixa vermelha contínua e na direita, a sinalização horizontal triangular)



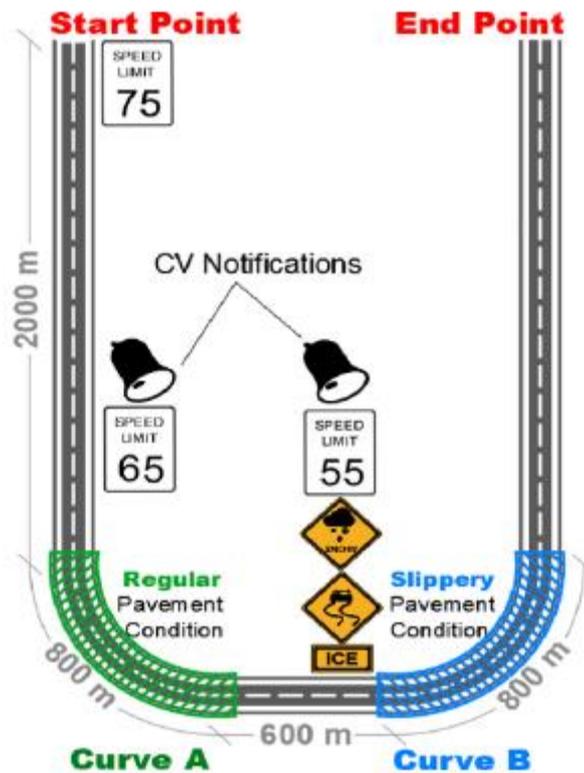
Fonte: Babić e Brijs (2021)

Finalmente, o teste realizado no ambiente simulador de direção com 47 pessoas de carteira de motorista válida obteve resultados consistentes. Primeiramente, observou-se que as velocidades

foram significativamente mais altas para a situação de apenas sinalização vertical, enquanto a faixa vermelha contínua apresentou resultados ainda melhores que a da sinalização horizontal triangular, ambas combinadas com a sinalização vertical. No que tange à movimentação lateral dos carros na pista, notou-se que tal padrão obteve maior intensidade no caso da linha vermelha contínua do que nos outros, pois a largura dessa faixa fazia com que os condutores ficassem mais próximos à borda da rodovia. Entretanto, essa movimentação, quando em concomitância com as reduzidas velocidades que essa medida gera, provavelmente não seria causadora de acidentes de saída da pista, além de evitar os acidentes de colisão frontal. Dessa maneira, concluiu-se que ambas as sinalizações propostas são sugeridas de implementação nas rodovias do país devido aos benefícios gerados por elas.

Ademais, ressalta-se, igualmente, a recente realização de trabalhos auxiliados por ambiente simulador de direção no que tange à análise da aderência pneu pavimento, visando à minoração de acidentes por deslizamento do veículo. Nesse contexto, cita-se o trabalho de Bakhshi *et al.* (2021), cujo objetivo do trabalho era a avaliação de um sistema de informação integrado entre os veículos na redução de acidentes de tráfego, principalmente em trechos mais perigosos. Entretanto, é imprescindível salientar que a eficácia desse sistema foi testada por intermédio da utilização de um simulador de direção, no qual 24 caminhoneiros foram convocados para dirigir em um ambiente virtualmente modelado com curvas horizontais em pavimento regular, sendo essa a condição de controle, e em pavimento com baixa interação pneu pavimento, observando medidas que poderiam ser efetivas na minoração de acidentes por deslizamento na segunda condição.

Figura 5 - Sistema viário modelado no simulador de direção



Fonte: Bakhshi *et al.* (2021)

Seguindo tal linha de raciocínio, menciona-se, também, a pesquisa conduzida por Huang *et al.* (2020), o qual observou que juntas de dilatação de pontes de grande extensão costumam ser maiores que a circunferência do pneu dos caminhões e, por terem um coeficiente de atrito consideravelmente menor que o do pavimento, costumavam causar o deslizamento de veículos. Dessa forma, utilizando o simulador de direção, modelou-se diferentes situações climáticas (chuvosa, ensolarada e nevosa) além de variar a espessura das juntas de dilatação, para observar como as diferentes interações entre pneu e pavimento podem ser responsáveis por acidentes nessas vias. Logo, observou-se que a redução do coeficiente de atrito dessa interação e a maior largura das juntas de dilatação representavam uma ameaça crescente à segurança viária.

Ainda, Liu *et al.* (2020), notando a grande ocorrência de acidentes de trânsito em pistas com pavimento de baixa aderência, desenvolveu uma pesquisa a qual modelava um ambiente viário virtual, por intermédio de um simulador de direção, a qual observava o comportamento dos motoristas

nesse tipo de via em quatro tipos de pavimento diferentes: com gelo, com neve, molhado e seco, com coeficientes de atrito aumentando nessa respectiva ordem. Dessa forma, além de outros resultados, ele observou que a aderência pneu pavimento da pista tem alta correlação com o comportamento dos motoristas e, conseqüentemente, com o acontecimento de acidentes de trânsito, sendo assim essencial a análise dessa interação para o planejamento de rodovias.

Conclui-se, portanto, que a elevada versatilidade dos simuladores de direção, sendo capazes de modelar diversas situações de tráfego, possibilita o estudo de alternativas a serem implementadas no ambiente viário de maneira prática, econômica, rápida e segura para os usuários do simulador, produzindo resultados confiáveis sem a necessidade da realização de uma análise de campo. Com isso, viabiliza-se o alcance de soluções para o aumento da eficácia das sinalizações verticais e horizontais bem como de materiais alternativos que aumentem a aderência pneu pavimento das rodovias para, dessa maneira, minorar a ocorrência de acidentes, enfoque central deste trabalho.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS DA RODOVIA

Para a devida efetuação da pesquisa, foi necessária a coleta de uma extensa base de dados que permitiu a realização de análises e intervenções eficazes acerca da operação da rodovia. Dessa forma, foram levantados diversos dados em campo, além da consulta aos dados disponíveis na concessionária, os quais foram analisados no que tangia a sua utilidade e, assim, coletaram-se as informações mais importantes para o prosseguimento do projeto.

Seguindo tal linha de raciocínio, entre os dados analisados consta uma planilha com o cadastro de todos os acidentes entre agosto de 2008 e dezembro de 2020, com diversas informações como tipo de ocorrência, tipo de acidente, causa provável, horário, local, tipo e quantidade de veículos envolvidos, tipo e quantidade de vítimas, condições de visibilidade, condições do tempo, condições da pista, latitude, longitude etc.

Além disso, foram utilizados relatórios de monitoração periódica dos níveis de serviço, entre o segundo semestre de 2012 e o segundo semestre de 2020. Nesses documentos constam dados de volume de tráfego médio anual (VDMA) e características básicas da rodovia, como número de faixas, inclinação, velocidade regulamentada, densidade de acessos etc. A rodovia também foi explorada no Google Earth, permitindo a visualização do trecho e a obtenção do perfil de elevação aproximado.

Também foi utilizado um arquivo contendo os marcos quilométricos geocodificados da via em formato kmz.

No que tange às análises a serem efetuadas acerca da sinalização existente na rodovia e sua efetividade, foram utilizadas planilhas referentes ao cadastro de toda a sinalização vertical, tanto das placas como de pórticos, contendo as mais variadas informações sobre elas, como identificação, latitude, longitude, dimensões, retrorrefletividade e muitas outras. Segue exemplo de planilha de cadastro da sinalização, que nesse caso, como exemplo, constam informações concernentes à parte das placas da Marginal Norte da BR-116 (Figura 6).

4.1. Levantamento de dados para geração dos cenários 3D dos trechos

Para a geração dos cenários 3D dos trechos, foram levantados dados da geometria, a partir do projeto geométrico fornecido, e dados de sinalização, a partir do projeto de sinalização e da filmagem da rodovia.

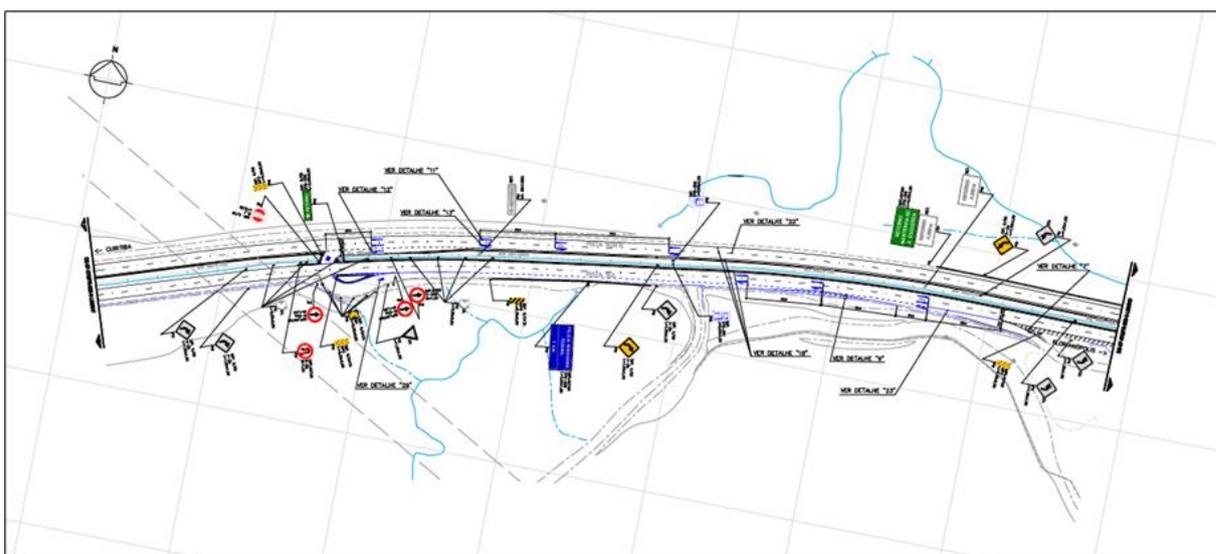
4.1.1. Geometria

A partir dos projetos disponibilizados são extraídos os elementos geométricos do trecho de estudo, curvas e tangentes, para elaboração do desenho 2D. Estas informações geométricas são reconstituídas no software Civil 3D a fim de elaborar a geometria precisa do trecho real.

Após a reconstituição do traçado, são extraídas as coordenadas dos elementos de tangente e curvas, para elaboração de um arquivo TXT, a ser importado num dos softwares aplicativos do simulador de direção (ROD), de criação de cenários. Este processo visa otimizar a elaboração do cenário, bem como, evitar erros de digitação se inseridos de forma manual.

A localização das placas de sinalização, dispositivos de segurança, e todos os elementos de projetos, são extraídos dos projetos disponibilizados, sendo possível identificar o posicionamento em relação ao eixo e ao bordo da rodovia (Figura 7).

Figura 7 - Projeto de sinalização da rodovia em CAD



Fonte: autoria própria

4.1.2. Filmagem

Para fins de informações de campo atualizadas, foram realizadas filmagens da rodovia (Figura 8) com câmera acoplada no painel do veículo. Dessa forma, foi possível identificar os elementos do entorno da rodovia do trecho de estudo e validação dos elementos do projeto a fim de compatibilizar o projeto e a situação em campo, e assim recriar o cenário virtual de forma fidedigna e realista.

Figura 8 - Captura de tela da filmagem da rodovia



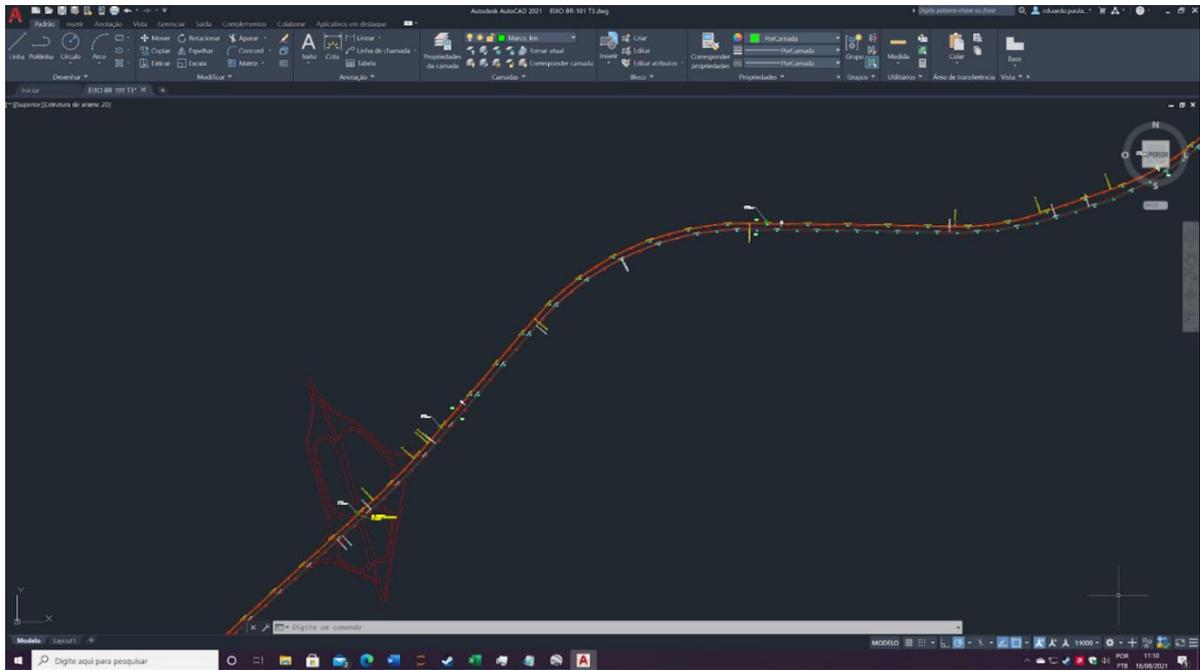
Fonte: autoria própria

5. GERAÇÃO DE CENÁRIOS 3D DOS TRECHOS

Entre os dados repassados pela concessionária, foram usados na geração dos cenários os dados componentes da geometrização conduzida em 2009 e, relatórios de monitoração da sinalização vertical e as filmagens realizadas nas rodovias da Autopista Litoral Sul.

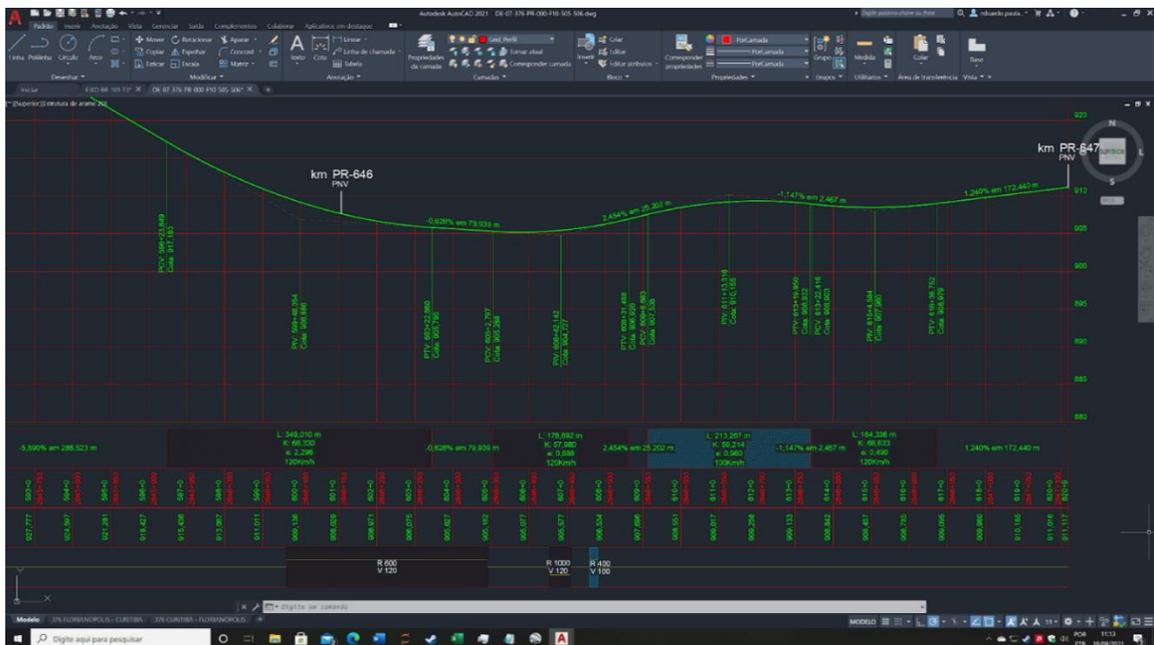
Os dados obtidos pela geometrização foram suficientes para a reconstrução da rodovia no simulador. As Figuras 9 e 10 mostram telas de alguns dos arquivos disponibilizados pela concessionária. Esses arquivos trazem todos os dados geométricos necessários e foram fornecidos em formato CAD, facilitando a elaboração dos cenários.

Figura 9 - Tela de um dos arquivos com a reconstituição da geometria horizontal da BR 101



Fonte: autoria própria

Figura 10 - Tela de um dos arquivos com a reconstituição da geometria vertical da BR 376



Fonte: autoria própria

Por sua vez, os relatórios de monitoração da sinalização vertical trazem todos os detalhes sobre tipo, formato e localização das placas, sendo possível, dessa forma, gerar o cenário 3D com a sinalização vertical fiel ao trecho de estudo.

Assim, múltiplos são os dados que foram utilizados para o desenvolvimento do ambiente virtual da rodovia. Prosseguindo, uma das maneiras de se reproduzir tal ambiente da maneira mais fiel possível, para um usuário do simulador é realizar a filmagem da rodovia por uma câmera instalada em um veículo que a percorre. Dessa forma, tais filmagens foram efetuadas por intermédio da utilização de uma câmera *Go Pro*, da qual foram obtidas as imagens que seguem, apenas para ilustração. Os vídeos das gravações estão disponíveis para consulta.

Go Pro é uma câmera de ação compacta que pega as melhores qualidades das câmeras de filmagem usuais e as condensam em uma estrutura menor, robusta, impermeável e resistente. Assim, possui como componentes um sensor de imagem, uma lente extremamente ampla e até três microfones para gravação de áudio em diferentes condições. No que se refere às lentes citadas, as mesmas se diferenciam das lentes padrões é que elas aumentam consideravelmente o campo de visão capturado, permitindo que o ambiente em que se encontra seja abrangido de maneira mais completa. Ademais, por ser uma câmera com design compacto, desenvolvida para possuir um menor porte, a interface do usuário possui apenas dois ou três botões. Entretanto, emparelhando-a com aplicativos em smartphones por intermédio de Wi-Fi e Bluetooth embutidos, os usuários ganham controle total sobre a câmera de forma prática e fácil, podendo até mesmo exibir ao vivo do que está sendo capturado diretamente em seu dispositivo móvel. Por fim, uma das características principais da *Go Pro* é o seu modelo compacto em concomitância com a versatilidade em sua montagem, sendo possível instalá-la em locais que permitam a captura de diferentes campos de visão.

Prosseguindo, como citado anteriormente, um aspecto crítico para o desenvolvimento do ambiente simulado da rodovia é a sinalização da mesma. Para analisar de forma efetiva a eficácia da sinalização já instalada na estrada, assim como o teste de possíveis intervenções na mesma (como a influência do aumento da retrorrefletividade das placas na conspicuidade delas), é fundamental que se desenvolva, no ambiente virtual, sinalizações compatíveis com a real situação da via. Dessa forma, tal realização é possível mediante utilização, principalmente, do compilado de dados fornecidos pela concessionária

no que se refere às planilhas contendo tanto a posição geográfica das sinalizações, como suas características físicas, como dimensões e retrorrefletividade.

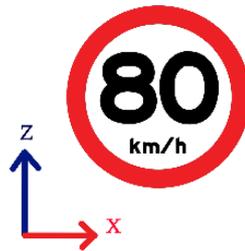
Dessa maneira, tendo em mãos essas informações, torna-se possível a criação das placas de sinalização virtualmente. Primeiramente, ressalta-se que o desenvolvedor do ambiente simulado da rodovia compatível com os softwares utilizados no simulador de direção é o *Road Designer* (ROD), pertencente ao pacote *Virtual Test Drive* da *Vires*. Assim, esse software permite que se efetue a combinação de ruas, cruzamentos, elementos de sinalização, postes de iluminação e todo o ambiente, rural ou urbano, que envolve a rodovia, como casas, árvores e montanhas. Entretanto, é importante explicitar que o ROD possui algumas limitações. A título de ilustração, ele permite que sejam combinados, como foi citado, diferentes elementos que juntos compõem todo o cenário da rodovia, porém muitos deles devem ser inseridos no software já pré-definidos, pois o ROD não possibilita sua customização, caso o qual ocorre com as placas de sinalização.

Portanto, como é de fundamental importância que a sinalização da rodovia seja representada, no ambiente simulado, da maneira mais realista possível, assim como é necessário que se consiga a customização de características físicas das placas, como a sua retrorrefletividade, para observar a influência dessas alterações na conspicuidade das mesmas, é imprescindível a utilização de softwares que permitam a modelagem virtual da sinalização da rodovia para posteriormente inseri-las no ROD. No caso deste trabalho, optou-se pelo *Maya*, um software de animação virtual desenvolvido pela *Autodesk*, com ferramentas de modelagem, simulação, texturização e renderização que permite a criação de placas de sinalização extremamente realistas.

Assim, iniciou-se a modelagem da sinalização da rodovia pela criação das placas de limite de velocidade com diferentes diâmetros. Logo, cabe um breve resumo de como elas foram desenvolvidas no software *Maya* e como serão inseridas no *Road Designer*.

1. Instalação do *plugin*: Inicialmente, deve-se adicionar um *plugin* que permite importar e exportar arquivos em *Openflight*;
2. Unidades: É preciso pôr as unidades padrões do *Maya* no sistema métrico;
3. Sistema de coordenadas: Para que se tenha uma referência, é necessário que as placas sejam modeladas conforme o sistema de coordenadas que se observa na figura abaixo:

Figura 11 – Sistema de coordenadas para modelagem da sinalização



Fonte: autoria própria

4. Modelagem das placas: Após a efetuação das etapas supracitadas, torna-se coerente a criação das placas de sinalização. Assim, por intermédio das ferramentas disponíveis no *Maya*, desenvolve-se as placas com dimensões, altura, retrorrefletividade e características em geral condizentes com as encontradas na situação real da rodovia, obtendo resultado próximo ao observado na figura abaixo:

Figura 12 – Modelagem de placas no software Maya



Fonte: autoria própria

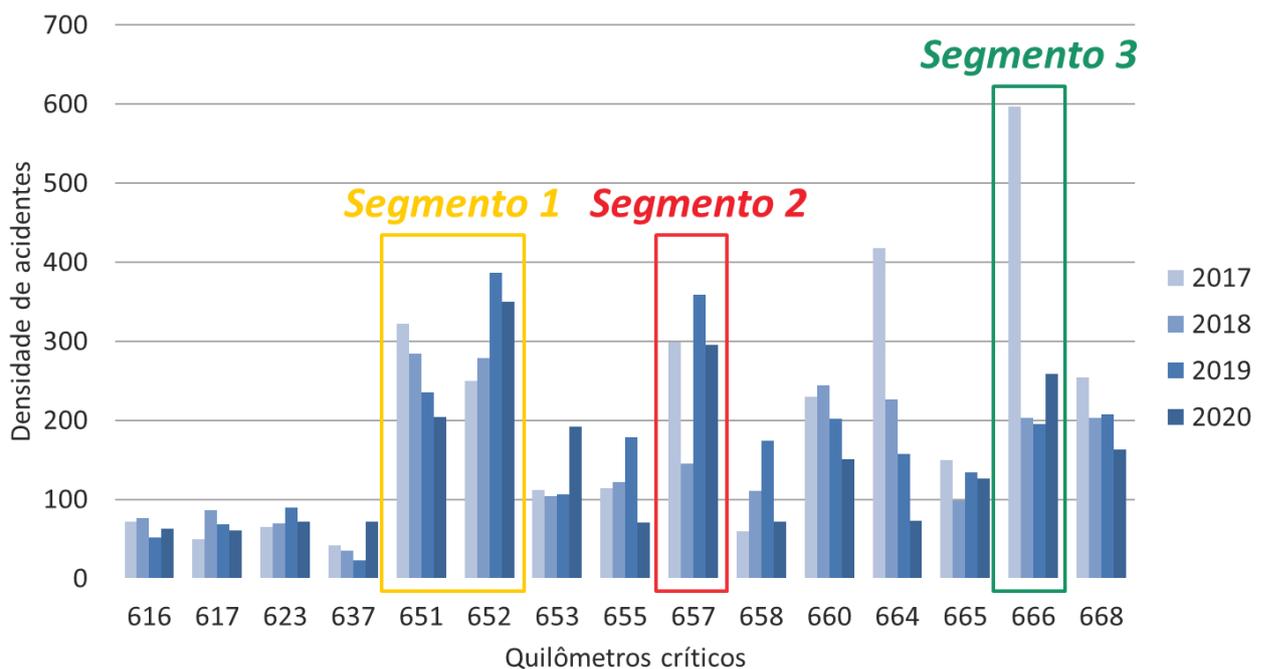
5. Exportar placas no formato .flt: Com a finalização da modelagem virtual da sinalização no software *Maya*, exportam-se os arquivos que contém as placas em *flt.*;

6. Inserção das placas no *Road Designer*: Realizando-se algumas manipulações do arquivo que contém as placas, torna-se possível a inserção das mesmas no ambiente virtual da rodovia desenvolvido no ROD, possibilitando a análise da eficácia das intervenções sugeridas mediante observação da resposta dos condutores a elas em relação à situação de controle.

5.1. Trechos em estudo

Com base na análise estatística dos acidentes, apresentada no item 5.1.4 do Relatório de Acompanhamento 1, foram escolhidos três segmentos críticos. Os segmentos estão localizados na pista norte da BR376 e serão descritos a seguir. A densidade de acidentes nesses segmentos pode ser vista na figura 13.

Figura 13 - Densidade de acidentes no trecho em estudo



Fonte: autoria própria

- **Segmento 1:** Localizado nos km 651 N e 652 N, possui elevado número de acidentes decorrentes da interseção em nível, que possui conflito de cruzamento e fica localizado na curva. A imagem do trecho pode ser vista na figura 14.

Figura 14 - Imagem de satélite do segmento crítico 1



Fonte: Google Earth

- **Segmento 2:** Localizado no km 657 N, trata-se de um trecho em aclive e com grande concentração de acidentes como saídas de pista e choques, que possivelmente poderiam ser evitados se houvesse melhoria nas condições de atrito, principalmente em condições de pista molhada. A imagem do trecho pode ser vista na figura 15.

Figura 15 - Imagem de satélite do segmento crítico 2



Fonte: Google Earth

- **Segmento 3:** Localizado no km 666 N, tem as mesmas características do Segmento 1, mas, além disso, conta com uma curva mais acentuada e a maior densidade anual de acidentes detectada (2017) no período considerado na análise. A imagem do trecho pode ser vista na figura 16.

Figura 16 - Imagem de satélite do segmento crítico 3 (pista da direita)

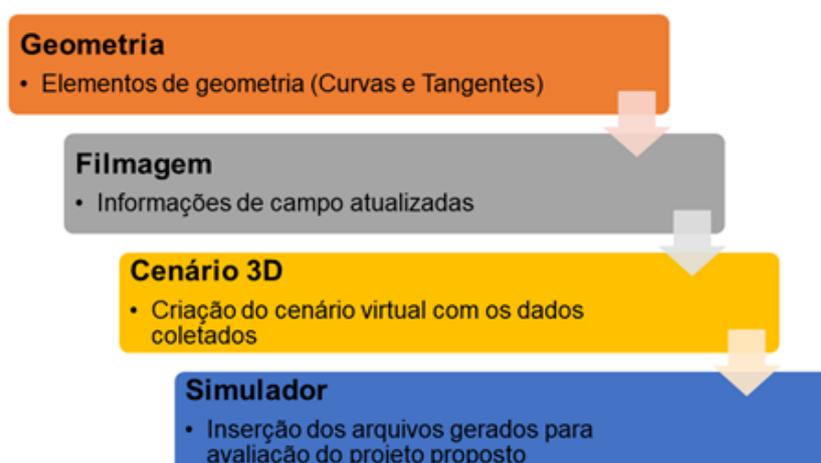


Fonte: Google Earth

5.2. Geração do cenário 3D

Para a geração do cenário 3D do trecho de estudo faz-se necessário realizar etapas (Figura 17) de aquisição de informação que contemplam dados de geometria e filmagem do trecho de estudo em campo, para em seguida elaborar o cenário virtual e por fim, a exportação dos arquivos a serem utilizados no simulador de direção para avaliação do projeto proposto. As etapas de aquisição de informação foram abordadas no item 5.2 “Levantamento de dados” e no item 5.5 do Relatório Parcial 1. As etapas seguintes serão descritas a seguir.

Figura 17 - Etapas para geração do cenário 3D.



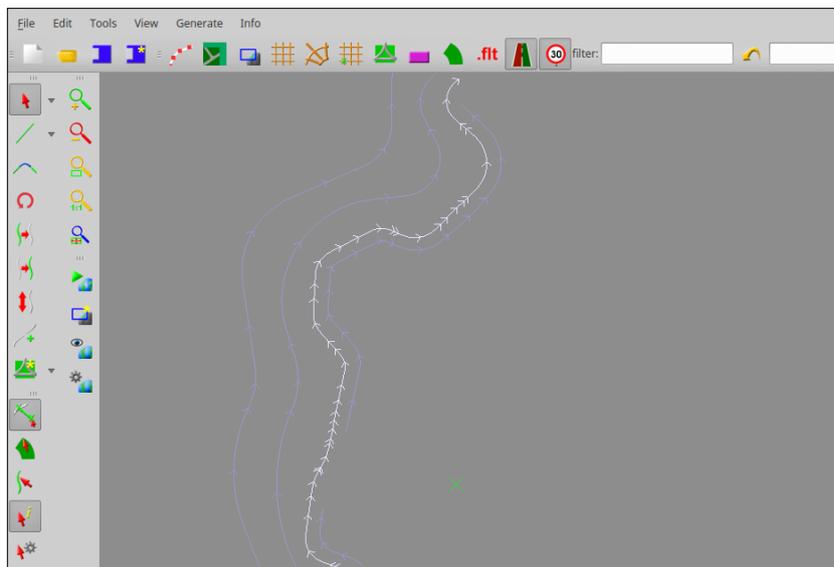
Fonte: autoria própria

5.2.1. Criação do cenário virtual

O software ROD é responsável pela criação do cenário virtual conforme mencionado anteriormente. No ROD, são inseridos os elementos 3D, sinalização horizontal e vertical, textura do pavimento e elementos do entorno como vegetação e edificações.

Inicialmente é criada uma linha de referência (*track*) que descreve o percurso da rodovia (Figura 18). Nesse percurso são inseridos os elementos geométricos: curva simples, tangentes e curvas de transição extraídos do projeto geométrico disponibilizado pela concessionária.

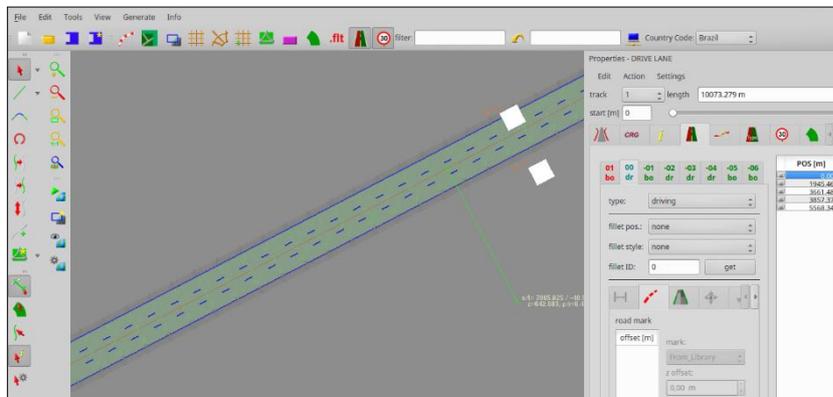
Figura 18 - Linha de referência que corresponde ao eixo da rodovia no ROD



Fonte: autoria própria.

Em seguida, são definidas as quantidades e largura das faixas de rolamento, sentido do fluxo de tráfego ao longo do traçado e a sinalização horizontal, onde pode ser definida as cores e espaçamento das linhas tracejadas, bem como linhas contínuas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Ressalta-se que as faixas de rolamento são definidas do lado esquerdo e direito, a partir da linha de referência definida na etapa anterior.

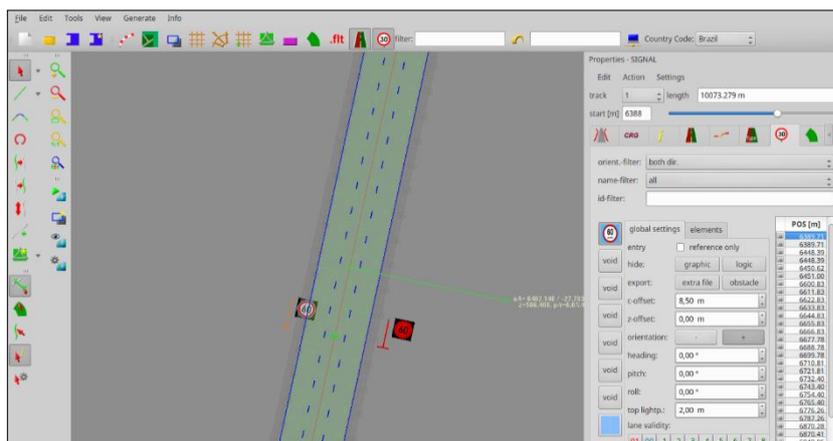
Figura 19 - Definição da quantidade de faixas e sentido no ROD



Fonte: autoria própria.

Na próxima etapa, são inseridas as placas de sinalização da biblioteca de placas elaboradas (Figura 20). O posicionamento das placas é especificado em função da posição (POS em metros) e distância a partir do eixo da rodovia, bem como a altura em relação ao terreno. As placas que não constarem nesta biblioteca devem ser elaboradas em software específico e inseridas no software ROD posteriormente.

Figura 20 - Inserção das placas de sinalização no ROD

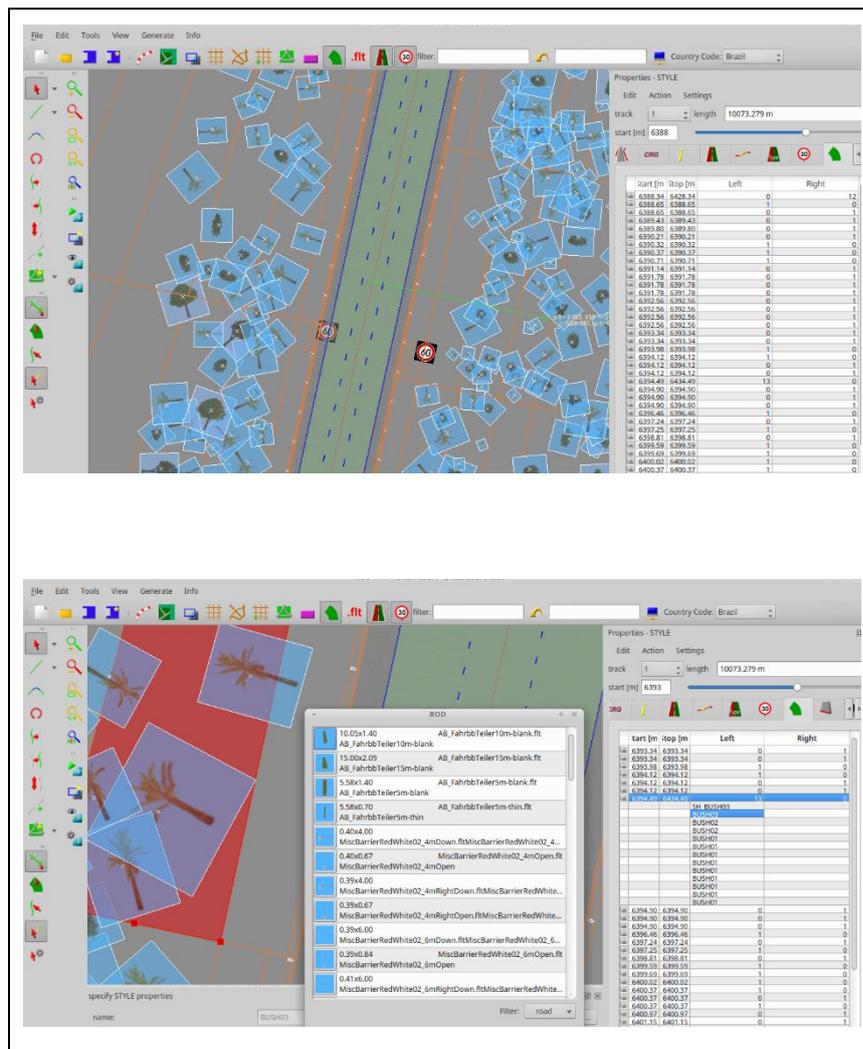


Fonte: autoria própria.

A seguir são inseridos os elementos do entorno da rodovia, vegetação e edificações (Figura 21). Estes elementos também são posicionados em função do eixo da rodovia, considerando o lado direito ou

esquerdo, inseridos individualmente. Os elementos fazem parte da biblioteca do ROD, e caso não estejam disponíveis são elaborados no software aplicativo Maya para criação dos novos elementos.

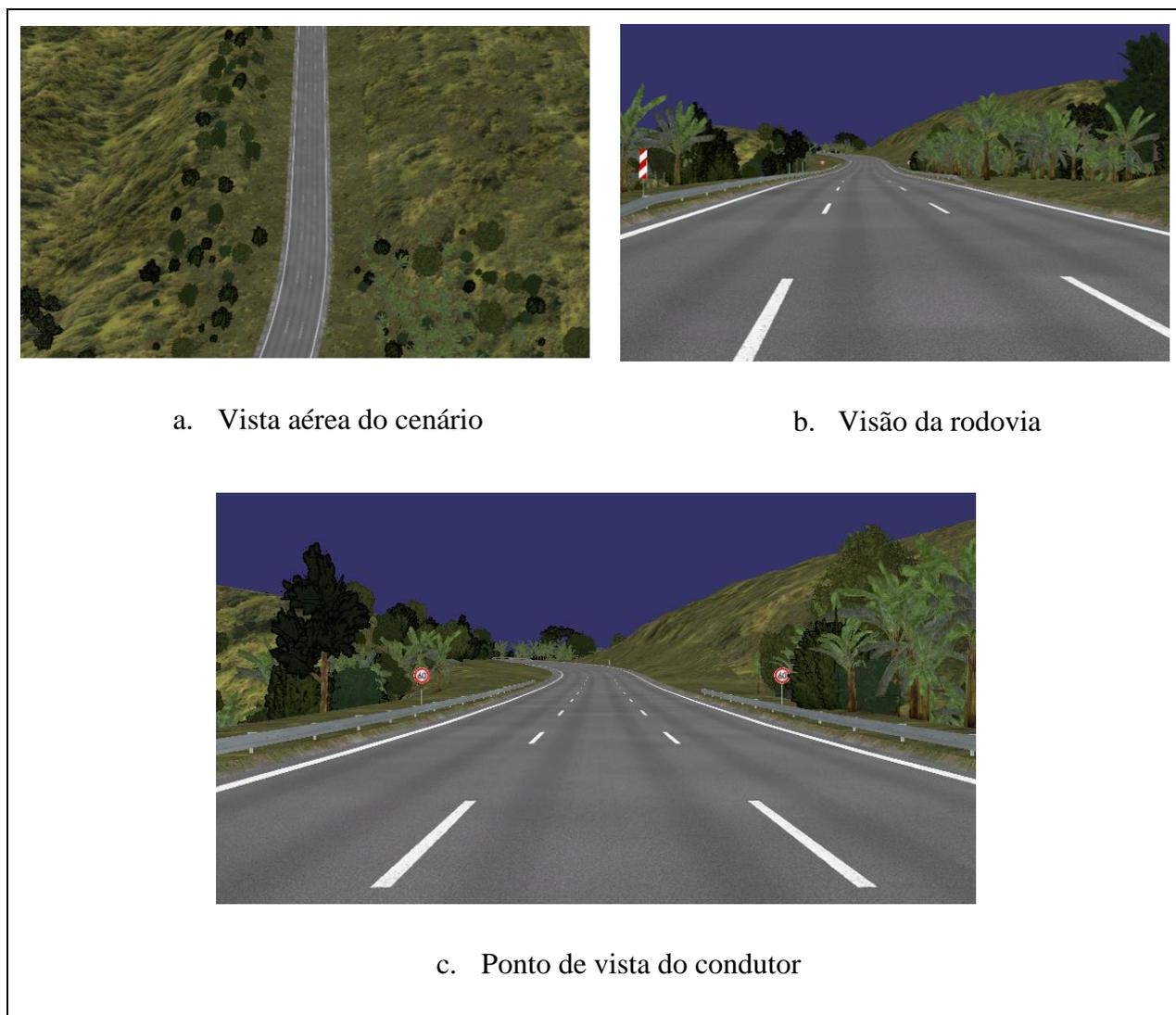
Figura 21 - Inserção dos elementos do entorno no ROD



Fonte: autoria própria.

Definidas todas as etapas anteriores, é possível gerar a visualização tridimensional e realizar um percurso aéreo ou do ponto de vista do condutor para avaliação da renderização (Figura 22). Antes da visualização é necessário gerar os arquivos ODR e IVE, que armazenam as informações de topologia dos elementos, como sentido de cada faixa, entre outras informações. Estes arquivos posteriormente são exportados e inseridos no sistema de processamento do simulador.

Figura 22 – Visualização 3D no ROD



Fonte: autoria própria.

5.2.2. No simulador

Os arquivos gerados no ROD são importados para os computadores que controlam o simulador de direção. Dessa forma, é possível realizar a vinculação entre o software que simula o veículo (VI-CarRealTime) e a simulação e armazenamento dos dados (Vires VTD).

O software VI-CarRealTime é um ambiente de modelagem e simulação virtual. Suas funcionalidades incluem a capacidade de montar o sistema do veículo coletando seus subsistemas fundamentais e especificando programações de manobras dinâmicas.

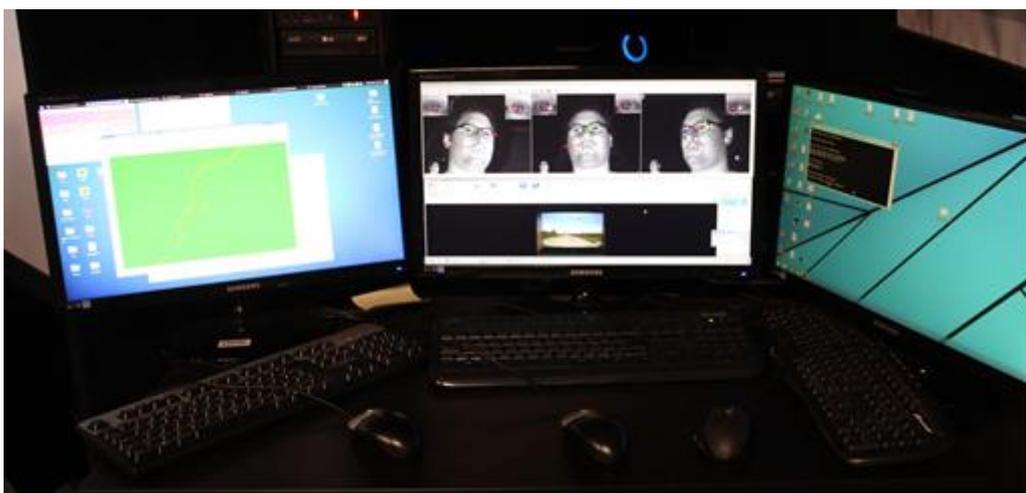
O software “VIRES Virtual Test Drive” (VTD) é um conjunto de ferramentas de estrutura modular para o fornecimento de ambientes virtuais em simulações de engenharia para a indústria automotiva e ferroviária.

Os computadores estão interligados em uma rede interna (Figura 23) e estes conectados ao simulador de direção (cockpit, volante, freios e acelerador) e à tela frontal, que projeta o cenário virtual por meio de um projetor de alta resolução.

Durante a coleta de dados, as informações do percurso do condutor, desde o posicionamento na rodovia e faixas de rolamento, bem como os dados de velocidade e aceleração são armazenadas simultaneamente na rede de computadores (Figura 24). Adicionalmente, o equipamento de rastreamento do olhar, *SmartEye*, armazena as informações da direção do olhar do condutor, e tempo de fixação para os objetos da simulação.

As informações posteriormente são processadas através de programação devido à magnitude de dados coletados, que dificulta a análise em planilha de texto comum.

Figura 23 - Computadores VI-Grade, *SmartEye* e VI-CarRealTime, respectivamente.



Fonte: autoria própria.

Figura 24 - Voluntário no simulador de direção.



Fonte: autoria própria.

5.2.3. Delineamento e execução do experimento no simulador

Nesta seção será descrito como foi realizado o delineamento do experimento para verificar a percepção da sinalização dentro do ambiente virtual utilizado no simulador de direção.

5.2.3.1. População de estudo e amostragem

A amostra do estudo foi definida por conveniência, ou seja, o maior número possível de participantes de forma voluntária. Para garantir que os participantes possuíssem habilidades de direção, foi exigido que os voluntários possuíssem Carteira Nacional de Habilitação (CNH) e mais de um ano de experiência dirigindo.

5.2.3.2. Variáveis de estudo

Com base na revisão de literatura, foram definidas as seguintes variáveis de estudo:

- a) Variáveis dependentes

- Índice de percepção: Quociente entre a quantidade de condutores que perceberam o sinal e o total de condutores que participaram do experimento.
- Distância de percepção: distância em metros entre o condutor e um sinal no instante em que o condutor fez uma fixação sobre a placa. Definiram-se três distâncias de percepção: a distância máxima, a efetiva e a mínima, associadas respectivamente, à primeira fixação, a fixação mais longa e a última fixação sobre cada sinal.
- Número de fixações: número de vezes que o condutor fez uma fixação sobre o sinal.
- Tempo de observação: somatória de tempo de todas as fixações sobre o sinal, expressado em milissegundos. Foram consideradas apenas fixações maiores que 100 milissegundos (WELLER, 2010; DUCHOWSKI, 2007).
- Variação da velocidade: variação da velocidade entre dois instantes de tempo. Definiram-se quatro instantes de tempo para analisar as diferentes variações da velocidade: quando começa e termina a fixação efetiva, quando o condutor entra na próxima curva após o sinal e quando o condutor atinge a menor velocidade dentro dessa curva.

b) Variáveis independentes

- Tipo de sinal: Segundo a literatura, a relevância do sinal para o condutor influencia sua percepção.
- Posicionamento do sinal: distância em metros entre a posição do sinal e o começo da próxima curva. O posicionamento longitudinal pode influenciar a conspicuidade dos sinais, assim como a reação do condutor diante da informação apresentada.
- Duplicidade do sinal: Variável binária que indica se o sinal está duplicado ou não, isto é, uma placa de cada lado da pista.
- Velocidade inicial: velocidade do veículo, em quilômetros por hora, no instante de tempo em que o condutor começa a perceber o sinal. Acredita-se que este parâmetro pode influenciar as chances de percepção do sinal.

5.2.3.3. Coleta de dados

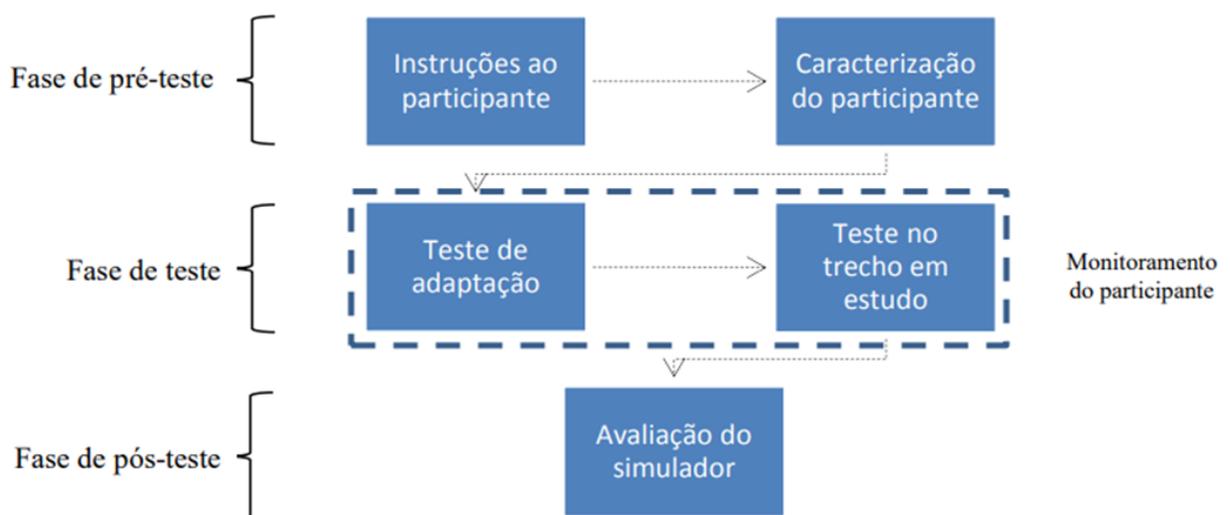
As variáveis definidas anteriormente foram coletadas por meio de questionários, de vídeo gerado pelo sistema de rastreamento do olhar e por meio do banco de dados com os resultados da simulação, aprovado no Comitê de Ética sob o número 51081521.1.0000.5390.

O primeiro questionário utilizado denominou-se “Questionário para a caracterização do condutor” e permitiu coletar as características demográficas da amostra. O segundo questionário denominou-se “*Simulation Sickness Questionnaire*” e é uma adaptação do questionário desenvolvido por Kennedy et al. (1993) para diagnosticar a presença de sintomas de enjoo no condutor no simulador de direção. Finalmente, o terceiro questionário denominou-se “Questionário para a avaliação do simulador” e permitiu registrar a avaliação subjetiva dos participantes sobre o realismo e a imersão do simulador. Os questionários são armazenados sob sigilo, atendendo a recomendação do Comitê de Ética.

5.2.3.4. Procedimento experimental

O esquema do procedimento experimental pode ser visto na figura 25. A descrição de cada etapa será feita a seguir.

Figura 25 - Procedimento experimental dos testes no simulador de direção



Fonte: autoria própria

Primeiro, cada participante foi informado do objetivo da pesquisa, da motivação do experimento, dos procedimentos de teste, dos possíveis riscos e benefícios, da liberdade de recusar-se a continuar no experimento a qualquer momento e da garantia de sigilo sobre a sua identidade na publicação dos resultados. Para não gerar um viés de comportamento nos participantes, eles não foram informados do objetivo real da pesquisa – foi dito que o objetivo da pesquisa era avaliar a capacidade, a fidelidade e a sofisticação do simulador.

Em seguida, cada participante preencheu o “Questionário para caracterização do condutor”, para coletar informações como idade, gênero e experiência de condução.

Ao entrar no simulador, cada participante foi convidado a ajustar a altura e a distância do volante para seu maior conforto. O sistema de rastreamento do olhar *SmartEye* também foi calibrado para cada condutor, devido a variações fisiológicas e o possível uso de óculos.

Como a direção do simulador é distinta a de um veículo real e os participantes não tinham dirigido previamente no simulador, definiu-se um período de adaptação. Para isto, cada condutor dirigiu em um cenário de adaptação até conseguir controlar a direção do veículo e a velocidade sem que essas tarefas de controle demandassem muito esforço, como acontece regularmente na direção de um veículo real.

O principal risco durante os experimentos no simulador é sentir alguns sintomas de enjoo. Foram estabelecidas três estratégias para diminuir a ocorrência de sintomas severos de enjoo: monitoração contínua dos participantes para identificação de sintomas como tontura e sudoreação; limitação dos períodos de teste a quinze minutos; e a aplicação do “*Simulation Sickness Questionnaire*” para avaliar o grau de enjoo dos participantes após o período de adaptação. Como nenhum participante apresentou sintomas severos de enjoo, todos passaram para a fase de direção no trecho em estudo.

Antes de iniciar a direção no trecho em estudo, os pesquisadores solicitaram que o condutor dirigisse como faria normalmente quando percorre um trecho de rodovia rural desconhecido; evitasse trafegar pela faixa da direita, reservada aos veículos pesados; respeitasse a sinalização do trecho; e evitasse qualquer tipo de acidente, pois em caso de acidente o experimento seria finalizado. Essas instruções visaram recriar de forma aproximada, as motivações, regras e penalizações que o condutor teria ao dirigir no trecho real.

Após a fase de teste, cada condutor respondeu o “Questionário para avaliação do simulador” para avaliação da percepção dos participantes sobre o grau de realismo do experimento no simulador.

5.2.4. Elaboração dos novos cenários de sinalização no trecho em estudo

Nesse item serão propostos novos cenários com diferentes alternativas de sinalização para comparação com o cenário base (rodovia atual e sem intervenções).

5.2.4.1. Propostas para reforçar a sinalização nas curvas críticas do trecho

Para reforçar a sinalização nos locais críticos, foram propostas três alternativas de projeto que foram testadas no simulador de direção para determinar a efetividade antes de sua implantação. As três alternativas foram:

1. **Placa composta em semipórtico.** Complementar as placas de advertência de pista sinuosa e de limite de velocidade com uma placa aérea composta com os dois sinais. Dessa forma, a sinalização se tornaria mais conspícua, pelo maior tamanho dos sinais e pela posição central e elevada sobre a pista. Além disso, por ser uma sinalização diferente da empregada em outros locais, o condutor pode identificar facilmente a relevância do local e da sinalização.
2. **Linhas de estímulo à redução de velocidade (LERV).** Complementar a sinalização vertical com linhas de estímulo à redução de velocidade (LERV), um tipo de sinalização horizontal composto por linhas brancas transversais à pista. O espaçamento decrescente entre as linhas cria um efeito visual que dá ao condutor a impressão que o veículo está acelerando, estimulando a redução da velocidade.
3. **Marcadores de alinhamento numerados (MAN).** Complementar a sinalização vertical e as LERV com marcadores de alinhamento numerados (MAN), dispositivos auxiliares semelhantes aos delineadores. Os MAN têm a função de simular uma contagem regressiva até a situação de risco, neste caso, o início da curva.

5.2.4.2. Cenários de sinalização propostos para complementar a sinalização nas curvas críticas do trecho

Para testar a efetividade das alternativas propostas anteriormente, foram definidos três cenários com diferentes combinações de alternativas:

1. **Cenário A.** Este cenário visa testar se uma placa aérea é mais conspícua que placas instaladas no solo. Nesse sentido, o cenário base foi complementado com uma placa composta em semipórtico.
2. **Cenário B.** Este cenário visa avaliar se os estímulos visuais das LERV e dos MAN são atendidos pelos condutores, gerando redução de velocidade.
3. **Cenário C.** Este cenário visa avaliar a efetividade de todas as alternativas em conjunto. Portanto, placa composta em semipórtico, LERV e MAN foram adicionadas ao cenário base.

6. PROCESSAMENTO DOS DADOS

6.1. Processamento dos dados de acidentes

Para condução das análises espaço-temporais os dados foram padronizados e compatibilizados cartograficamente (projeção geográfica e datum), editados e consolidados para entrada em software SIG (ArcGIS - licença pertencente à Escola Politécnica da USP, e QGIS - software livre). O resultado são mapas temáticos com a caracterização da via ao longo do tempo e espaço. Por sua vez, para os estudos envolvendo estatística descritiva utilizou-se o software Excel para manipulação das planilhas e o software estatístico RStudio (software livre) para confecção dos gráficos. E finalmente, para os estudos estatísticos sobre o índice de severidade e a taxa de severidade, os dados dos acidentes foram carregados e tratados por meio da linguagem de programação Python.

Devido à natureza espacial dos dados envolvidos em estudos de transporte, as geotecnologias fornecem um poderoso meio de análise para estudar e avaliar o panorama da segurança viária nas rodovias. Jiang e Okabe (2014) afirmam que graças ao rápido desenvolvimento da ciência da informação geográfica e suas tecnologias correlatas, uma ampla gama de dados de transporte tem sido coletada, com o intuito de entender melhor os padrões dos acidentes de tráfego e o comportamento dos usuários das vias.

Diferentemente das abordagens convencionais, os métodos geoespaciais analisam ao longo do tempo o padrão espacial dos locais dos acidentes inseridos no contexto topológico e; portanto, não afetado pela configuração das vias ou distâncias associadas (aspectos geométricos) (ÇELA *et al.*, 2013).

Recentemente, a identificação de locais de risco de acidentes (trechos críticos) na rede rodoviária progrediu substancialmente, e as abordagens geoespaciais, desenvolvidas por meio de análises espaço-temporais de dados históricos de acidentes em rodovias, têm sido bastante aplicadas.

Os histogramas de frequência de acidentes apresentados (item 5.1.4) começaram a delinear a metodologia e os procedimentos adotados para a identificação e seleção dos trechos mais críticos da via no que se refere à segurança viária. Além desse diagnóstico inicial foram realizadas análises espaciais em ambiente SIG para apoiar a seleção dos segmentos críticos, que são os candidatos a trechos experimentais, onde ocorrerão as intervenções no pavimento e na sinalização.

A primeira providência para iniciar a abordagem espacial foi a delimitação geográfica da área de estudo. Utilizou-se o perfil da rodovia em formato vetorial (shape). Para cada trecho (linha) do arquivo foram definidos os quilômetros inicial e final. Dessa forma, o resultado foi uma sequência de trechos consecutivos, onde o quilômetro inicial de um trecho coincide com o quilômetro final do trecho imediatamente anterior. Além dessa camada de informação, foram utilizados o limite territorial do Brasil, a delimitação dos Estados (notadamente Paraná (PR) e Santa Catarina (SC)), e os municípios lindeiros à rodovia, também em formato shape, disponibilizado online e gratuitamente no site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>). A área de estudo é ilustrada pela Figura 26.

Figura 26 - Área de estudos: (1A) - em relação ao Brasil, (1B) - em relação ao Estados PR e SC, (1C) - em relação aos municípios lindeiros à rodovia



Fonte: autoria própria

Em seguida procedeu-se à geocodificação dos acidentes ao longo da rodovia. Os registros de acidentes estão em formato de planilhas (Excel), e contém informação de latitude e longitude do local onde ocorreu o acidente. Com base nessa informação os acidentes foram espacializados na rodovia. A Figura 27 mostra o detalhe da etapa de geocodificação dos acidentes na região de Joinville (trecho da BR-101).

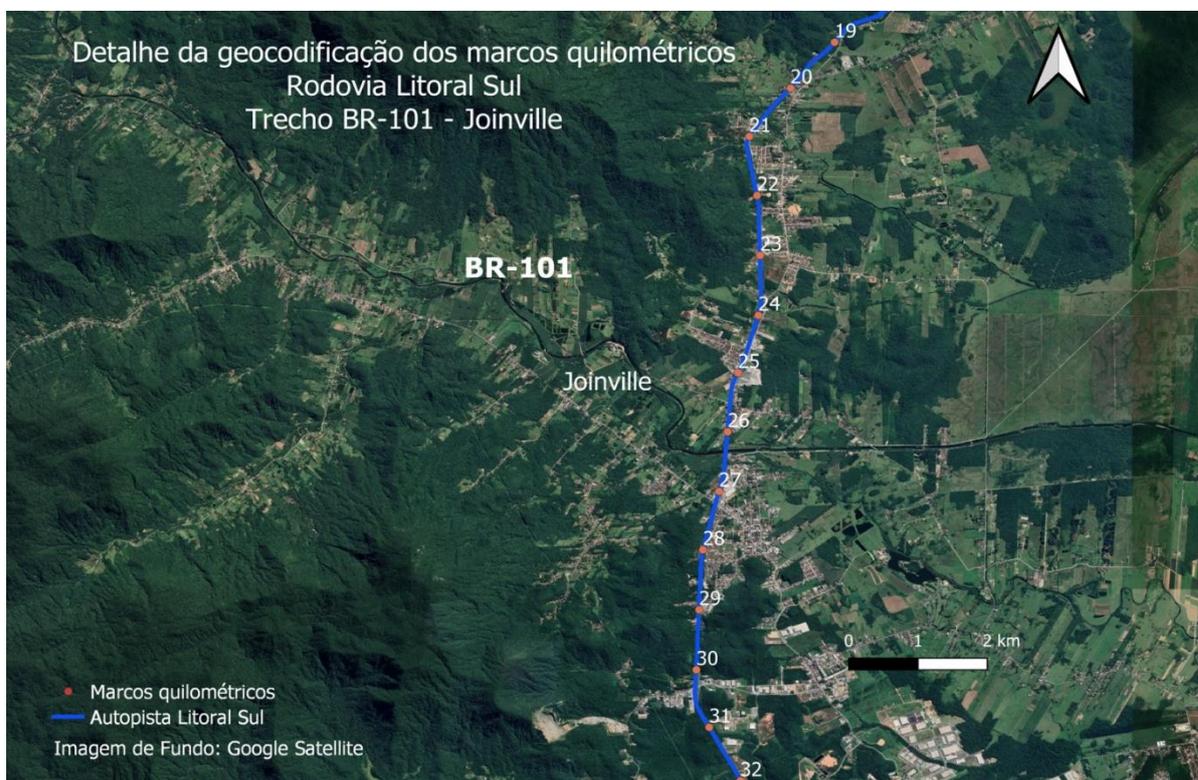
Figura 27 - Geocodificação dos acidentes (pontos brancos) ao longo da rodovia (linha azul)



Fonte: autoria própria

Utilizou-se também um arquivo vetorial com os marcos quilométricos da rodovia, em formato kmz, que foi carregado no software QGIS, onde se procedeu sua conversão e exportação no formato shape. A Figura 28 ilustra um detalhe dos marcos quilométricos ao longo da rodovia, também na região de Joinville (trecho da BR-101).

Figura 28 - Marcos quilométricos (pontos vermelhos) ao longo da rodovia (linha azul)



Fonte: autoria própria

Com os acidentes e os marcos quilométricos geocodificados, os atributos que compõem a base de dados do projeto foram adicionados às camadas de informações no ambiente SIG. O banco de dados espacial é composto das seguintes informações:

- Localização do acidente (quilômetro e sentido – norte ou sul);
- Data (dia, mês e ano), dia da semana e horário do acidente;
- Tipo de ocorrência (fatal, com vítima ou com dano material);
- Tipo de acidente (colisão, choque, capotamento, atropelamento, etc.);
- Local da via onde ocorreu o acidente (faixa de rolamento, acostamento, canteiro central, etc.);

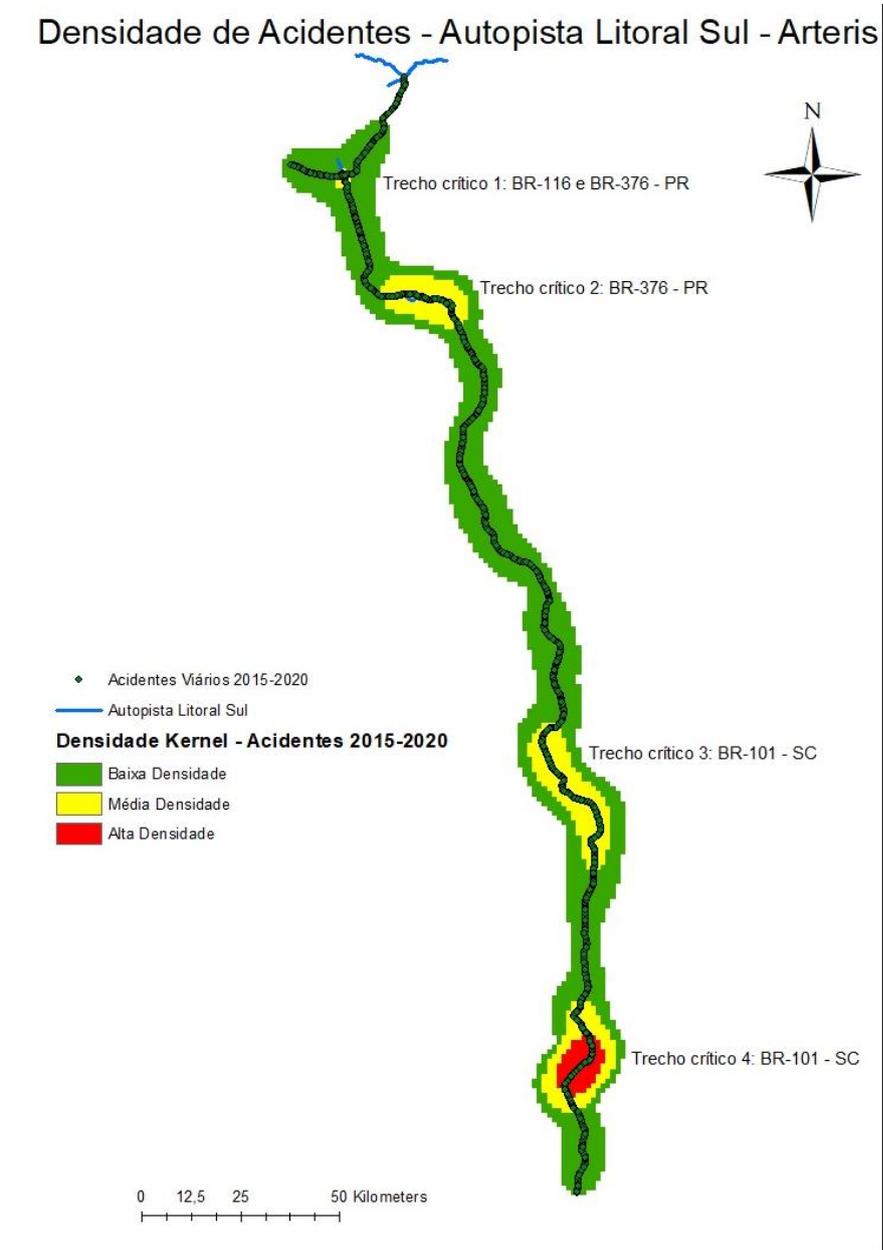
- Identificação dos veículos envolvidos;
- Número de veículos envolvidos;
- Número de vítimas (leves, moderadas, graves ou fatais), e de ilesos;
- Condição de visibilidade no momento do acidente (boa, regular ou ruim);
- Existência ou não de uma condição especial na pista (buraco, lama, poça d'água, óleo, areia, etc.);
- Condições meteorológicas no momento do acidente (normais, nublado, neblina, nevoeiro, garoa, chuva, etc.);
- Condição da pista (seca ou molhada);
- Traçado da pista (tangente, curva suave ou curva acentuada);
- Perfil da pista (em nível, aclive ou declive).

Para a condução desta fase dos estudos, os registros de acidentes passaram por uma verificação prévia para consolidação da base de dados que seria efetivamente utilizada, verificando e retificando os registros que apresentavam inconsistências ou ausência de alguma informação relevante para as análises espaciais. Desta forma, considerou-se 27.352 acidentes na Autopista Litoral Sul em seu sentido norte e 27.931 acidentes no sentido sul, ocorridos entre 2015 e 2020, totalizando uma quantidade total de 55.283 eventos. Por conveniência metodológica separou-se as análises nos três trechos de via que compõem a Autopista Litoral Sul - BR-116 (contorno leste de Curitiba/PR), BR-376 (PR) e BR-101 (SC). A partir de então, foram realizadas as análises de densidade (Kernel planar).

O cálculo da densidade de acidentes realizado pelo estimador Kernel foi processado no software ArcGIS. Ao fazer o input dos dados, o algoritmo interno do software que calcula a densidade fornece os parâmetros de entrada (valores default) para o raio de curvatura da busca e do tamanho da célula de saída. Dependendo do objetivo da análise, esses valores podem ser alterados para melhor interpretação e visualização dos resultados. Nessa pesquisa, após a execução de várias tentativas, os valores default foram divididos por 10, para se adequarem a escala de trabalho aqui adotada. Foi utilizada a classificação “Natural Jenks”, com 4 classes de saída, o que resulta em 3 classes de

densidade a serem consideradas: baixa, média e alta densidade. Maiores detalhes da aplicação do estimador kernel de densidade podem ser encontrados em Machado *et. al* (2020) e Machado *et al.* (2021). Os resultados do cálculo de densidade de acidentes são apresentados a seguir. A Figura 29 mostra o resultado do Kernel para Autopista Litoral sul e as Figuras 30 até 33 evidenciam os detalhes de cada um dos trechos críticos identificados pela análise. Foram identificados quatro trechos críticos, três de média densidade e um de alta densidade de acidentes.

Figura 29 - Resultado do cálculo de densidade Kernel para acidentes 2015-2020 - Autopista Litoral Sul



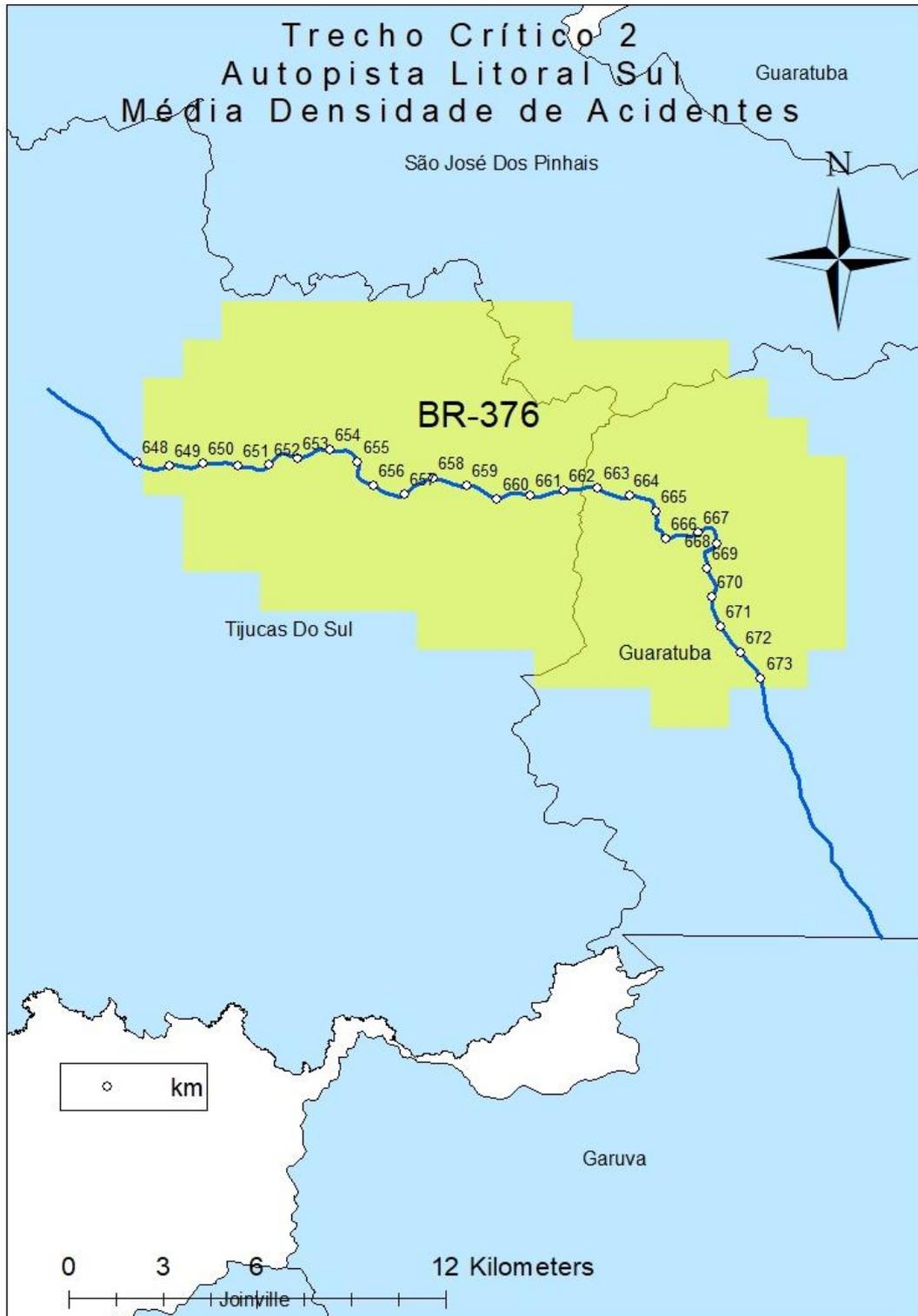
Fonte: autoria própria

Figura 30 - Resultado do cálculo de densidade Kernel para acidentes 2015-2020 - trecho crítico 1



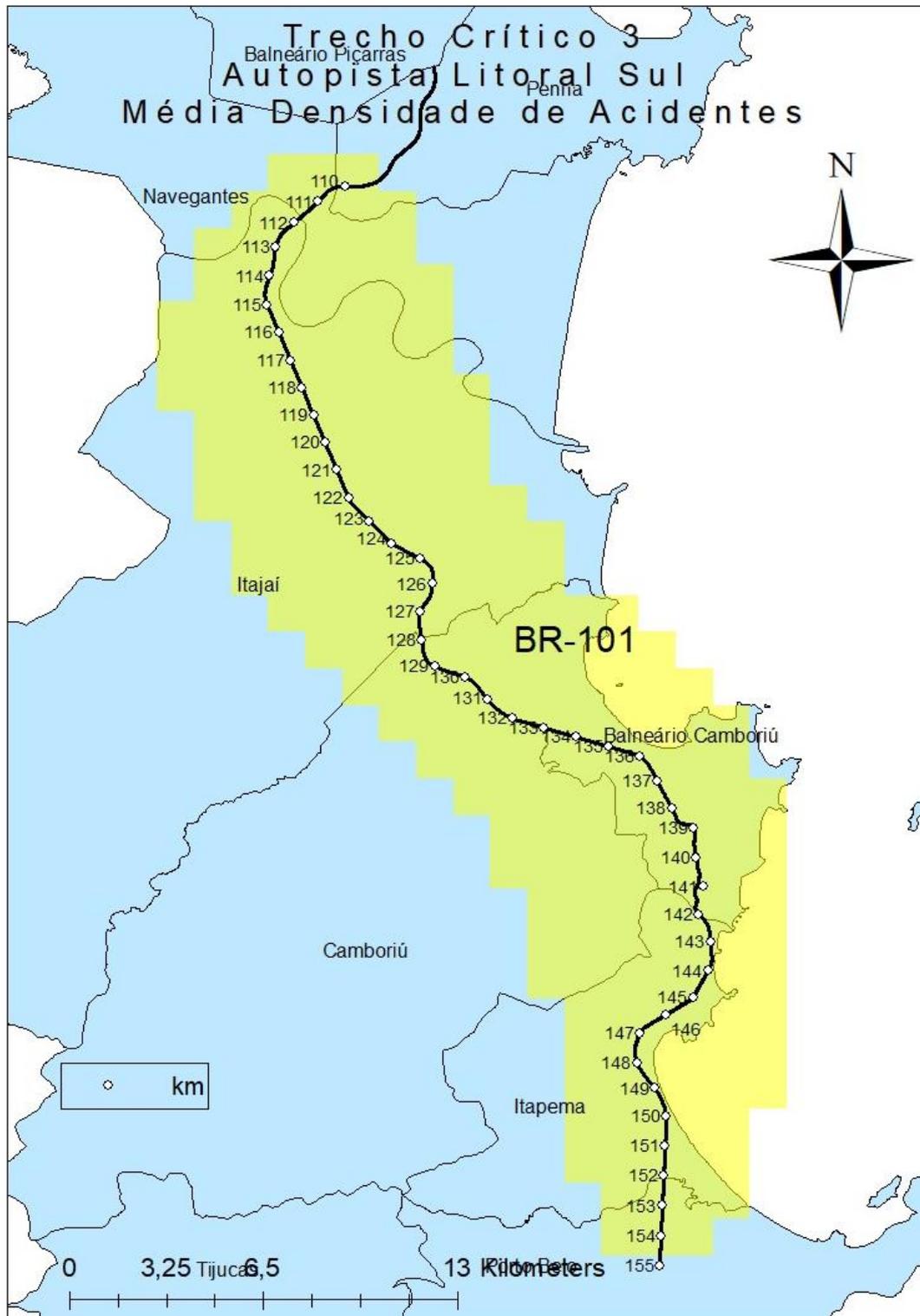
Fonte: autoria própria

Figura 31 - Resultado do cálculo de densidade Kernel para acidentes 2015-2020 - trecho crítico 2



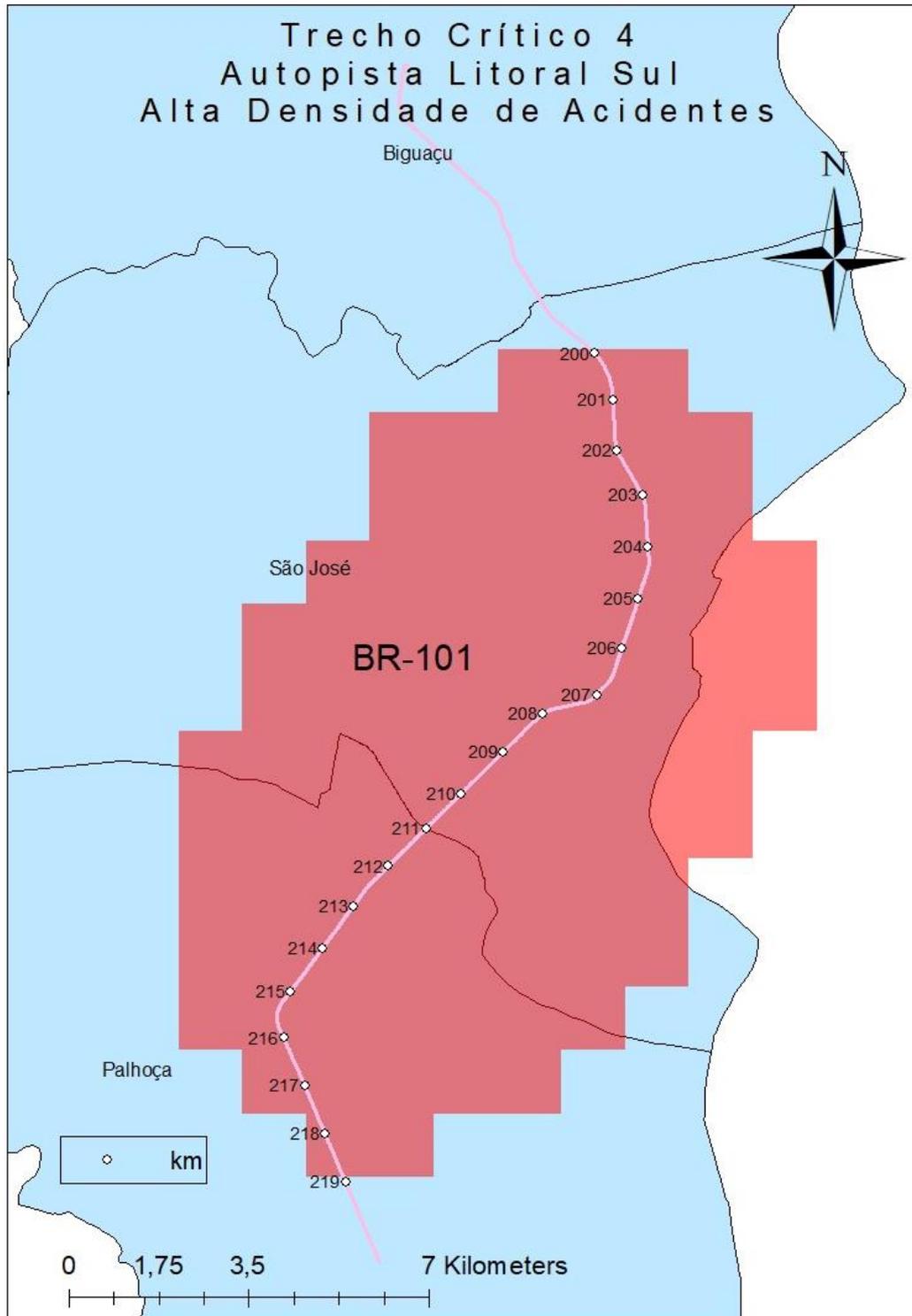
Fonte: autoria própria

Figura 32 - Resultado do cálculo de densidade Kernel para acidentes 2015-2020 - trecho crítico 3



Fonte: autoria própria

Figura 33 - Resultado do cálculo de densidade Kernel para acidentes 2015-2020 - trecho crítico 4



Fonte: autoria própria

A seguir apresenta-se a Tabela 5 com resumo com os resultados obtidos pela análise espaço-temporal com os dados de acidentes ocorridos entre 2015 e 2020 na Autopista Litoral Sul.

Tabela 5 - Resumo dos resultados da análise espacial

Trecho Crítico	Via	Quilômetros Críticos	Classe de Densidade
1	BR-116 -PR	km 101 até km 104	Média
	BR-376 - PR	km 615 até km 618	
2	BR-376 - PR	km 648 até km 673	Média
3	BR-101 - SC	km 110 até km 155	Média
4	BR-101 - SC	km 200 até km 219	Alta

Fonte: autoria própria

6.2.Processamento dos dados coletados no simulador

O vídeo coletado pelo sistema de rastreamento do olhar foi analisado pelo software MAPPS, permitindo obter o número de fixações e o tempo total de observação de cada placa. O ponto na cor azul na tela indica para qual local o condutor está fixando o olhar num dado instante. A seguir, um exemplo de como os dados são registrados pelo sistema de rastreamento do olhar. A Figura 34 ilustra para qual local da rodovia o condutor está olhando.

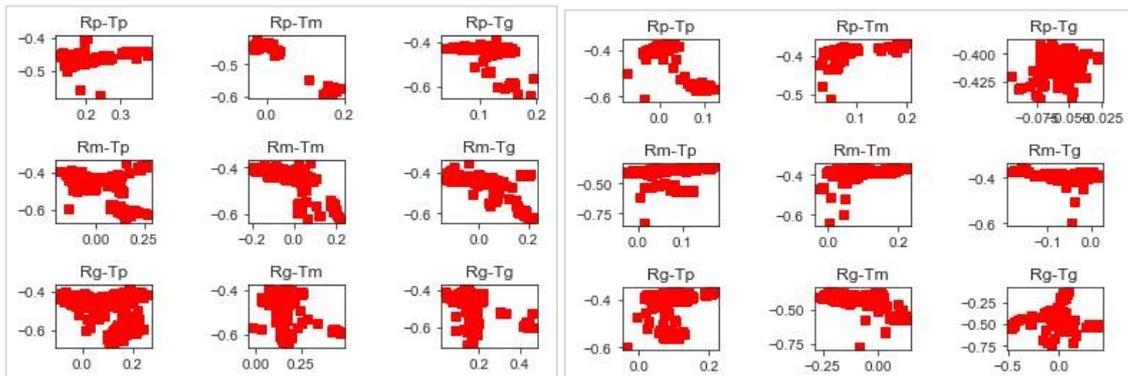
Figura 34: Exemplo de como sistema de rastreamento do olhar registra o ponto no qual o condutor está fixando o olhar num dado instante



Fonte: autoria própria

A Figura 35, ilustra, por exemplo, a posição do olhar num determinado trecho da rodovia de dois voluntários e é possível realizar comparações e demais avaliações estatísticas

Figura 35: Exemplo da posição do olhar de dois voluntários em um determinado trecho da rodovia



Fonte: autoria própria

No banco de dados com os resultados da simulação, foram coletados também o tempo de simulação, a posição do centro de gravidade do veículo dentro do cenário, a posição dos olhos do condutor, a velocidade e a aceleração do veículo e o ângulo de direção do volante.

Com base nos dois bancos de dados, pôde-se calcular a distância de percepção de cada sinal, a velocidade no começo de cada fixação e a variação de velocidade entre dois instantes durante o processo de percepção de cada sinal.

Com a coleta das informações e disponibilização da base de dados atualizada procedeu-se aos processamentos relativos às análises estatísticas nos trechos experimentais onde foi alterada a superfície do pavimento e a sinalização visando a melhoria da segurança viária.

Os trechos experimentais localizam-se na via BR-376, no estado do Paraná, sentido norte da Autopista Litoral Sul. No trecho experimental 1 foram executadas alterações na superfície do pavimento, e no trecho experimental 2 alterações na sinalização da via. Os resultados dos processamentos para as análises estatísticas são apresentados a seguir.

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

7.1. Análise dos acidentes – Identificação dos trechos críticos

O HSM (Highway Safety Manual), que é o principal documento de orientação para a incorporação de análises quantitativas de segurança nos processos de planejamento e desenvolvimento de projetos de transporte rodoviário, afirma que para estudos de segurança viária, notadamente em estudos antes e depois de intervenções em vias (sinalização, pavimento, geometria, etc.) visando a melhoria da segurança e redução de frequência e severidade de acidentes, o tempo mínimo de análise é de 3 anos antes e 3 anos após a implementação das intervenções.

Aliado a isso, para a presente pesquisa, foi considerado o período de 5 anos antes do início deste estudo. Isto se apoia no fato de que a concessão começou no meio de 2008 e em 2012, por conta das ações realizadas pela concessionária em aderência à resolução da ONU, que estabeleceu o período de 2011 a 2020 como a “Década de Ações para Segurança no Trânsito”, diversas intervenções foram implantadas em trechos críticos.

Importante destacar, novamente, que as diversas intervenções realizadas pela concessionária ocorreram, entre outras, por meio da instalação de sinalização complementar para aumentar a percepção ao risco pelos motoristas em trechos em curva, sujeitos à neblina, campanhas diversas de conscientização sobre direção segura e até a construção (e homologação) de áreas de escape.

Como resultado dessas intervenções, verificou-se a diminuição dos acidentes em quase 20% - de 11.727 acidentes ocorridos em 2011, para 9.579 registros em 2012. A estabilização nos números de acidentes ocorre a partir de 2015, quando a quantidade de registros de acidentes se estabilizou em torno dos 9 mil eventos anuais, com exceção de 2020, por conta da excepcionalidade vivenciada pela pandemia causada pela COVID-19.

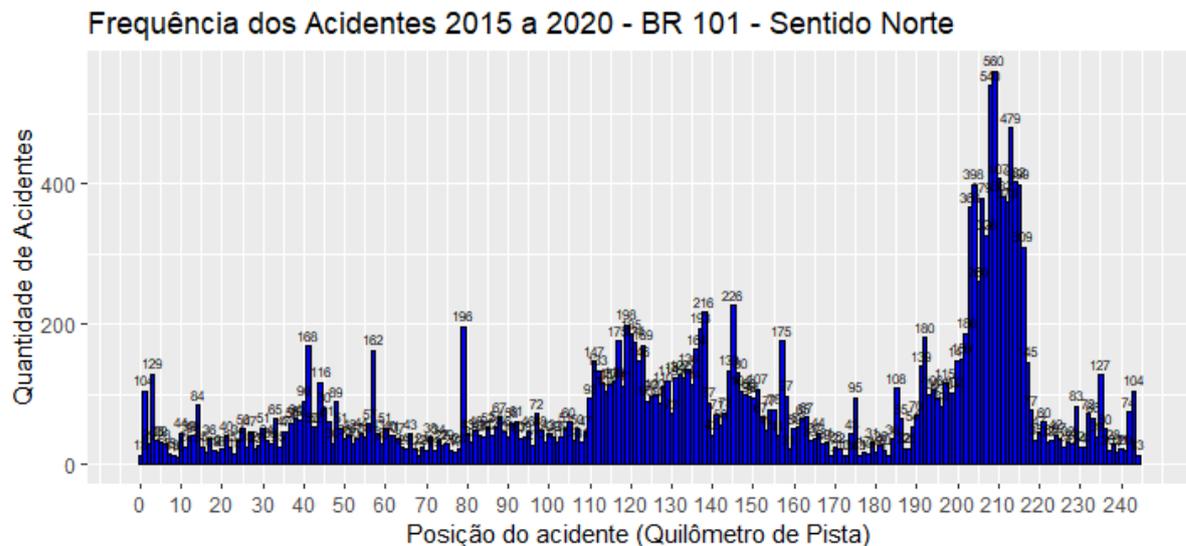
Portanto um período de 5 anos de análise do histórico de acidentes ocorridos na via, satisfaz os critérios do HSM, elimina os efeitos de antigas ações realizadas na via, e abrange um período relativamente homogêneo da operação da rodovia.

O estudo estatístico descritivo iniciou-se com a confecção dos histogramas de frequência de acidentes. Os histogramas foram separados por trecho de rodovia (BR-116/PR, BR-376/PR e BR-

101/SC) e sentido (norte e sul), e são apresentados a seguir.

- BR-101 - Sentido Norte - acidentes de 2015-2020

Figura 36 - Histograma de frequência de acidentes – BR-101 sentido norte – 2015 a 2020

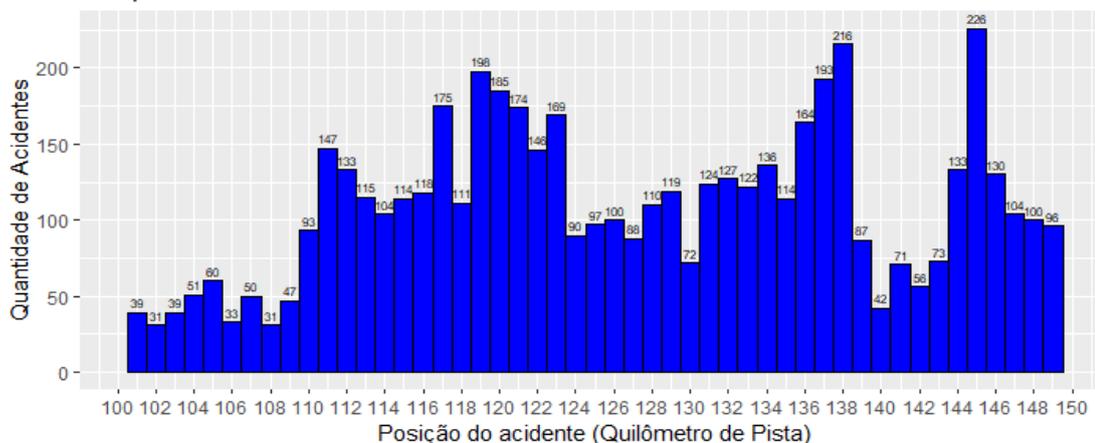


Fonte: autoria própria

Ao analisarmos o histograma de frequências acima, com dados de registros de acidentes acumulados entre os anos de 2015 e 2020, identificam-se dois trechos como os mais críticos, com elevada concentração de eventos, as Figuras 37 e 38 evidenciam os detalhes desses trechos.

Figura 37 - Detalhe do trecho crítico 1 – BR-101 sentido norte – 2015 a 2020

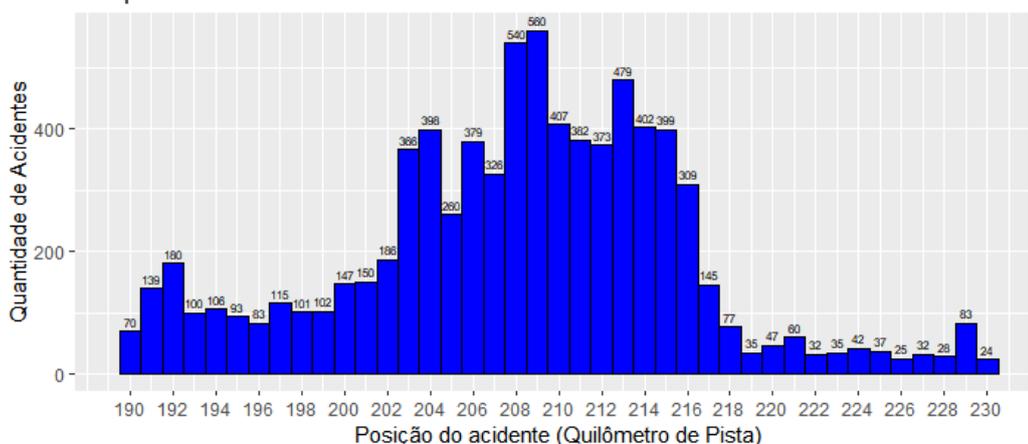
Frequência dos Acidentes 2015 a 2020 - BR 101 - Sentido Norte



Fonte: autoria própria

Figura 38 - Detalhe do trecho crítico 2 – BR-101 sentido norte – 2015 a 2020

Frequência dos Acidentes 2015 a 2020 - BR 101 - Sentido Norte

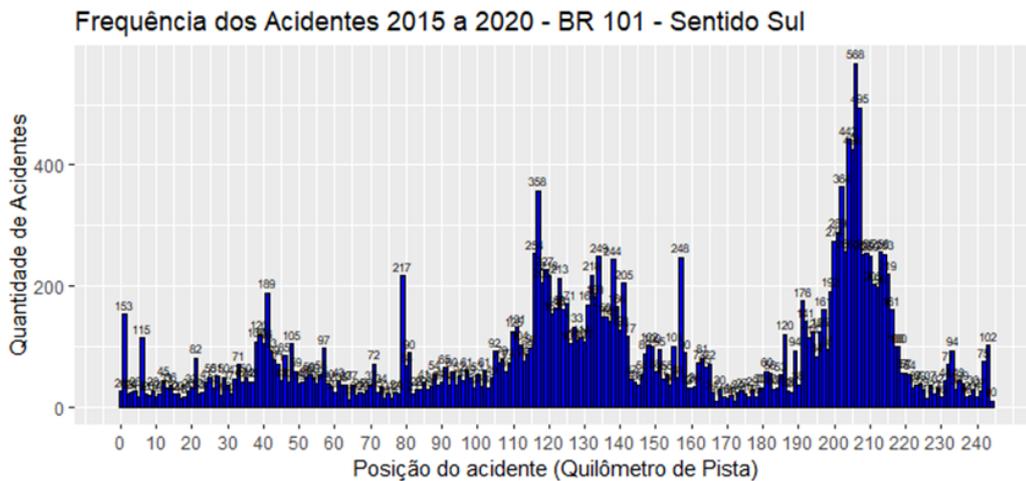


Fonte: autoria própria

Para o trecho crítico 1 da BR-101 sentido norte, entre os anos de 2015 e 2020, os quilômetros que mais concentram acidentes são km 119 com 198 registros, km 137 e 138, respectivamente com 193 e 216 acidentes, e o km 145 com 226 eventos. No trecho crítico 2 do sentido norte da BR-101 o segmento mais perigoso está entre o km 201 e o km 215, destacando-se o km 204 com 398 acidentes, o km 208 com 540 acidentes, o km 209 com 560 acidentes e o km 213 com 479 registros de acidentes.

- BR-101 - Sentido Sul - acidentes de 2015-2020

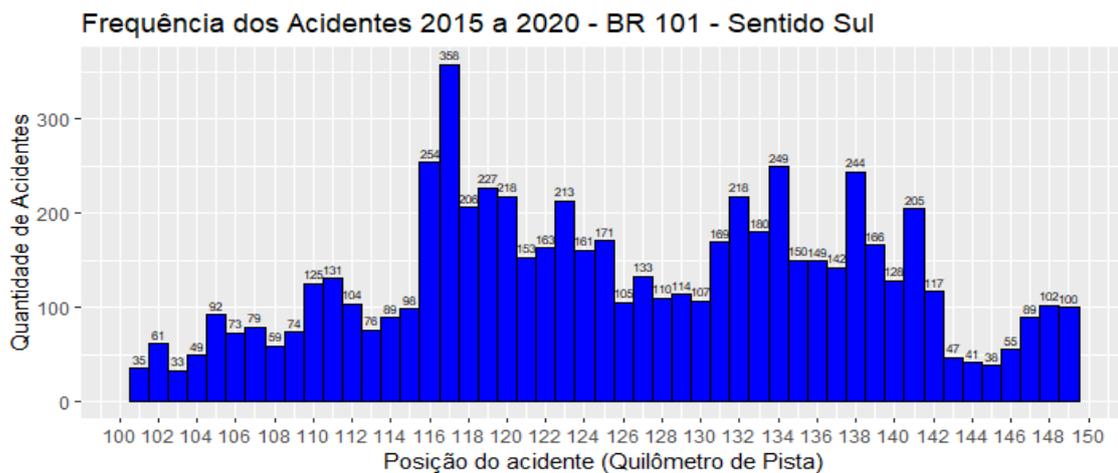
Figura 39 - Histograma de frequência de acidentes – BR-101 sentido sul – 2015 a 2020



Fonte: autoria própria

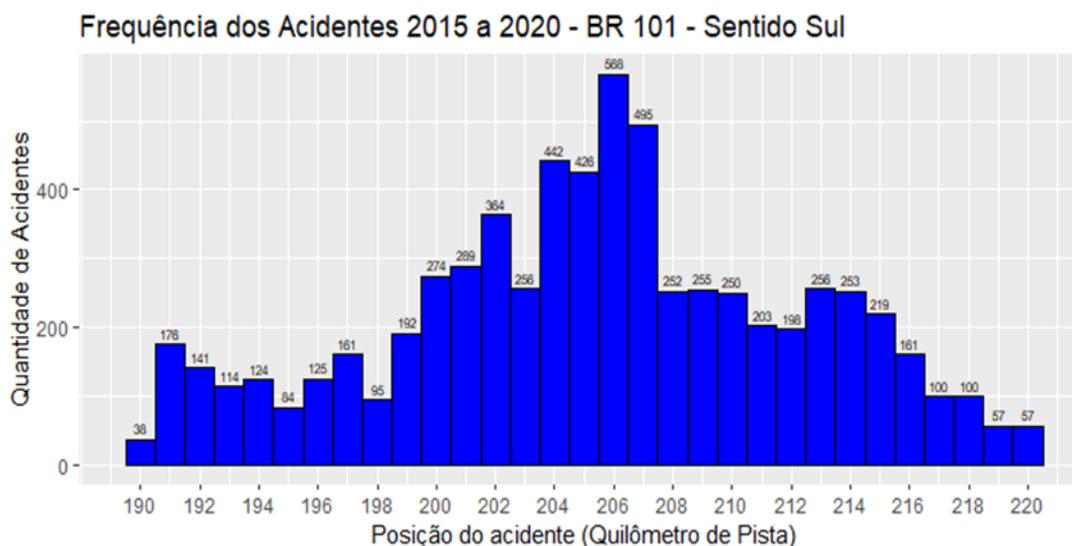
Ao analisarmos o histograma de frequências de registros de acidentes acumulados entre os anos de 2015 e 2020 do sentido sul da BR-101, também se destacam negativamente dois trechos como os mais críticos, com alta concentração de eventos, conforme pode ser observado na Figura 39 acima. A seguir, as Figuras 40 e 41 evidenciam os detalhes desses dois trechos.

Figura 40 - Detalhe do trecho crítico 1 – BR-101 sentido sul – 2015 a 2020



Fonte: autoria própria

Figura 41 - Detalhe do trecho crítico 2 – BR-101 sentido sul – 2015 a 2020

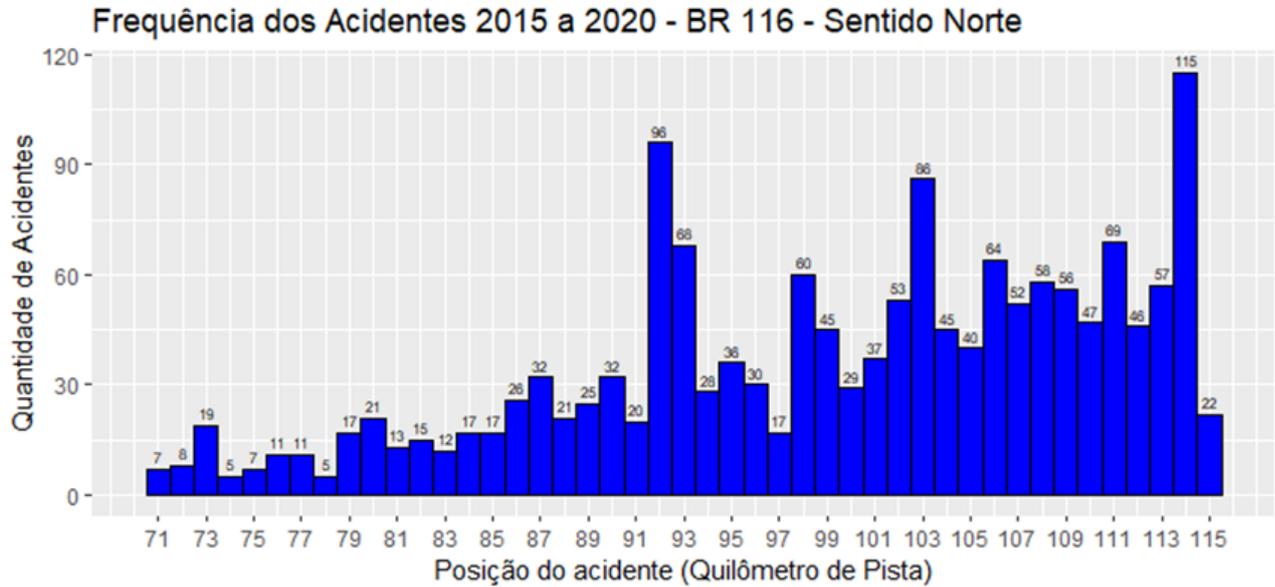


Fonte: autoria própria

Ao analisarmos o histograma do trecho crítico 1 do sentido sul da BR-101 podemos perceber que os quilômetros mais perigosos são km 116 e km 117, respectivamente com 254 e 358 eventos, o km 134 com 249 acidentes e o km 138, registrando 244 acidentes. No trecho crítico 2 o segmento mais perigoso está entre o km 204 e o km 207, destacando-se os km 206 com 568 acidentes e o km 207 com 495 registros de acidentes.

- BR-116 - Sentido Norte - acidentes de 2015-2020

Figura 42 - Histograma de frequência de acidentes – BR-116 sentido norte – 2015 a 2020



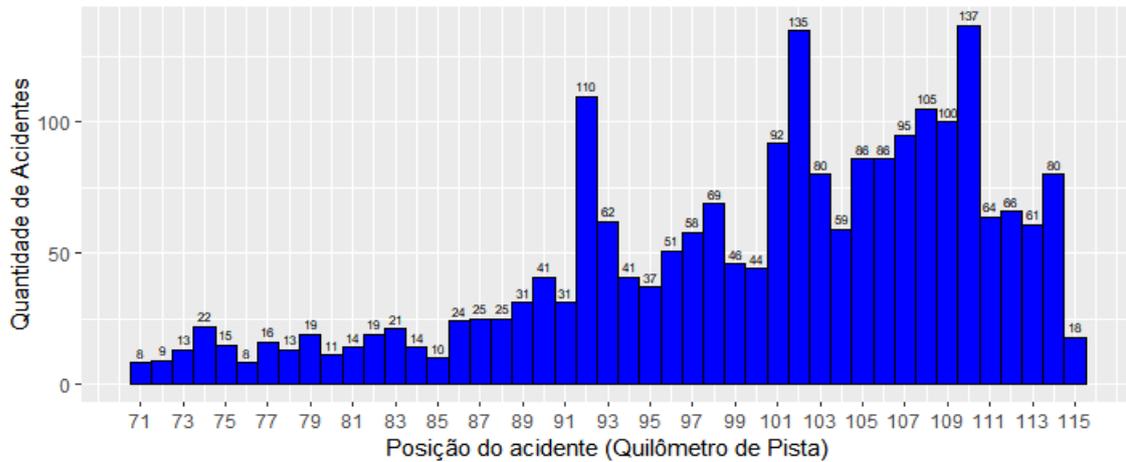
Fonte: autoria própria

De acordo com o histograma apresentado na Figura 42 acima, no segmento da BR-116 sentido norte, os seguintes quilômetros se destacam como os mais problemáticos quanto à ocorrência de acidentes: km 92 com 96 acidentes, km 103 com 86 eventos e o km 114 registrando 115 acidentes entre 2015 e 2020. Importante destacar que até o momento as análises se apoiaram em números absolutos. Não foram calculadas taxas de acidentes baseadas no Volume Diário Médio (VDM) de veículos que passaram pelos trechos. As análises complementares que serão realizadas na sequência, terão a informação do VDM incorporadas para o cálculo das taxas ou índice de severidade dos segmentos.

- BR-116 - Sentido Sul - acidentes de 2015-2020

Figura 43 - Histograma de frequência de acidentes – BR-116 sentido sul – 2015 a 2020

Frequência dos Acidentes 2015 a 2020 - BR 116 - Sentido Sul

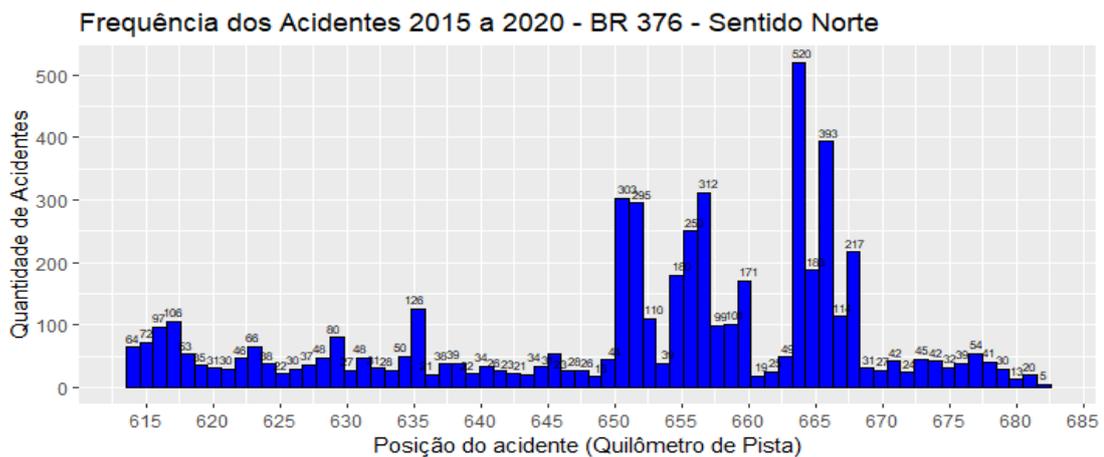


Fonte: autoria própria

Ao interpretarmos a Figura 43 acima temos que os quilômetros mais críticos são km 92, km 102 e km 110, registrando no período, respectivamente, 110, 135 e 137 acidentes.

- BR-376 - Sentido Norte - acidentes de 2015-2020

Figura 44 - Histograma de frequência de acidentes – BR-376 sentido norte – 2015 a 2020

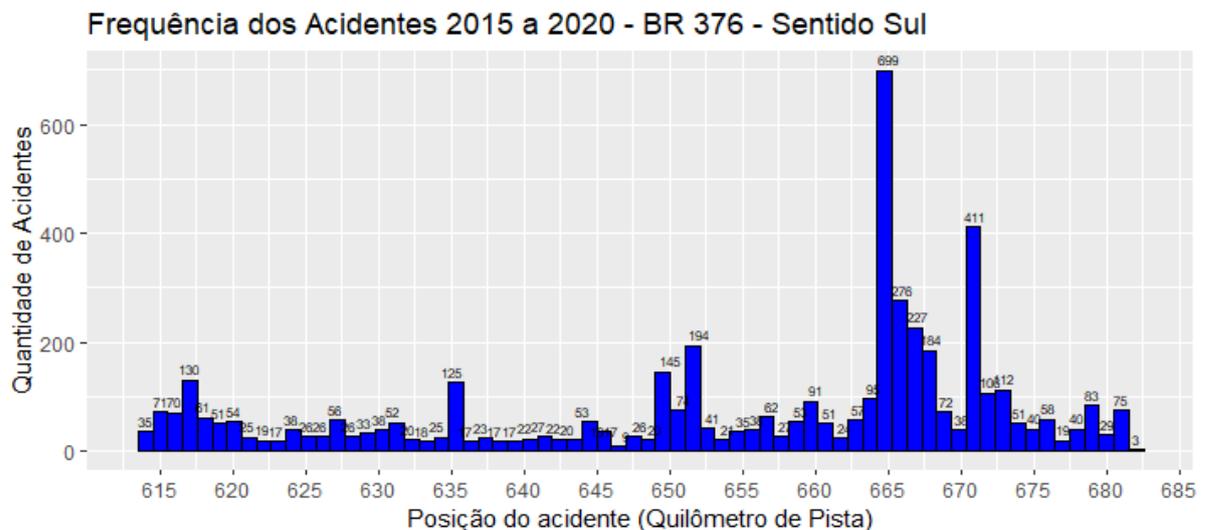


Fonte: autoria própria

Ao verificarmos a Figura 44 acima temos que os quilômetros mais críticos no sentido norte da BR-376 entre 2015 e 2020 são km 651, km 652, km 656, km 657, km 664 e km 666, registrando no período, respectivamente, 303, 295, 250, 312, 520 e 393 acidentes.

- BR-376 - Sentido Sul - acidentes de 2015-2020

Figura 45 - Histograma de frequência de acidentes – BR-376 sentido sul – 2015 a 2020



Fonte: autoria própria

Para o sentido sul da BR-376, de acordo com a Figura 45 acima, temos que os quilômetros mais críticos entre 2015 e 2020 são km 652, km 665, km 666, km 667 e km 671 registrando no período, respectivamente, 194, 699, 276, 227 e 411 acidentes.

A seguir é apresentada a Tabela 6 com um resumo com os locais mais críticos da Autopista Litoral Sul usando os registros de acumulados entre 2015 e 2020.

Tabela 6 - Resumo dos resultados da análise estatística descritiva

Autopista Litoral Sul - Acidentes 2015 / 2020		
Via	Sentido	Quilômetros Críticos
BR-101	Norte	119 – 137 – 138- 145 – 201 -202 – 203 – 204 – 205 – 206 – 207 – 208 – 209 – 210 – 211 – 212 – 213 – 214 – 215
	Sul	116 – 117 – 134 – 138 – 204 – 205 – 206 - 207
BR-116	Norte	92 – 103 – 114
	Sul	92 – 102 - 110
BR-376	Norte	651 – 652 – 656 – 657 – 664 - 666
	Sul	652 – 665 – 666 – 667 - 671

Fonte: autoria própria

Ao compararmos os resultados obtidos pela análise espaço-temporal que identificou 4 regiões críticas para o período acumulado de análise entre 2015 e 2020, com os resultados advindos da interpretação dos histogramas de frequência, percebemos que há total correspondência dos resultados, indicando assim quais são os piores quilômetros da rodovia, onde são necessárias ações e intervenções para melhoria da segurança viária.

A fim de constatar o comportamento da rodovia quanto ao registro de acidentes ano a ano, foram feitos os histogramas separados por via e sentido para cada ano de análise. Dessa forma, a Tabela 7 a seguir mostra um resumo de informações extraídas dos histogramas de frequência de acidentes que evidencia como e onde ocorre a variação anual dos trechos considerados como os mais críticos da Autopista Litoral Sul.

Tabela 7 - Resumo dos histogramas anuais de frequência de acidentes

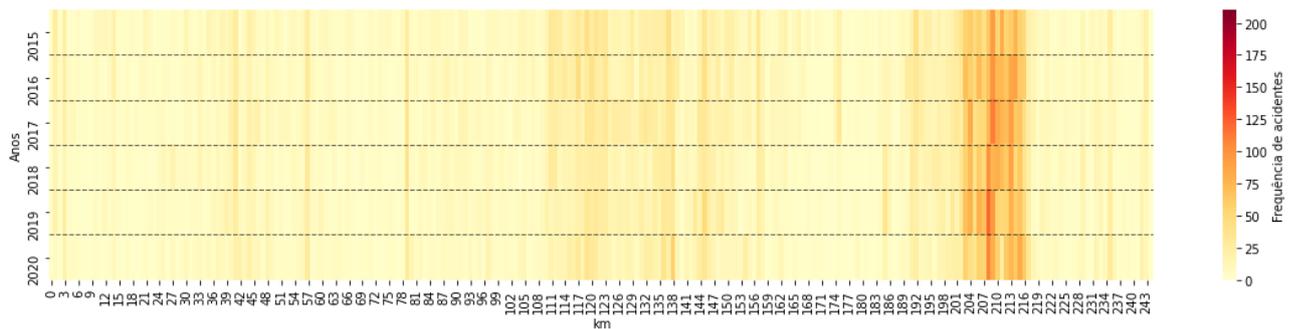
		Autopista Litoral Sul					
Via	Sentido	2015	2016	2017	2018	2019	2020
		km críticos	km críticos	km críticos	km críticos	km críticos	km críticos
BR-101	Norte		117/ 120/	117/ 118/	111/	117/ 118/	115/ 119/
		119/ 137/	123/ 137/	121/ 132/	112/136/	119/ 120/	136/ 138/
		145/ 208/	145/ 201/	137/ 138/	138/ 145/	122/138/	145/ 203/
		209/ 211/	208/ 209/	144/ 145/	204/ 208/	141/ 204/	206/ 207/
		214	210/ 211/	204/ 209/	209/ 210/	205/ 206/	208/ 209/
		213/ 214	210/ 213	211/ 213	207	210/ 212/	213/ 214/
							215/ 216
	Sul	116/ 117/				117/ 118/	
		134 /204/	117/ 119/	116/ 117/	116/	119/ 120/	116/ 117/
		205/ 206/	141/ 204/	123/ 204/	117/134/	122/ 138/	118/ 134/
		205/ 206/	205/ 206/	138/ 204/	141/ 204/	205/ 206/	
207/ 208/		207	207	206/ 207	205/ 206/	207	
	210			207	207		
BR-116	Norte	92/ 114	92/ 103/	103/ 108/	92/ 93/	92/ 93/	
			114	114	98/ 99	102/ 109/	92/ 114
					110/ 114		
	Sul	102/ 109/	92/ 102/	92/ 102/ 107/	98/ 103/	92/ 102/	92/ 102/
	114	108/ 109/	110/ 112	105/ 108/	110	107/ 110	
		110		110			
BR-376	Norte	656/ 664/	656/ 664/	651/ 664/	651/ 652/	651/ 652/	653/ 657/
		666	666	666	660/ 664/	667/	666
				666/ 668			
	Sul	665/ 666/	665/ 666/	665/ 666/	665/ 671	651/ 653/	665/ 667/
	671	671	671		665/ 667/	671	
					671		

Fonte: autoria própria

A seguir apresentam-se gráficos *heatmap* referentes à frequência de acidentes nos trechos BR-116/PR, BR-376/PR e BR-101/SC no sentido sul e norte da Autopista Litoral Sul no período de 2015 a 2020.

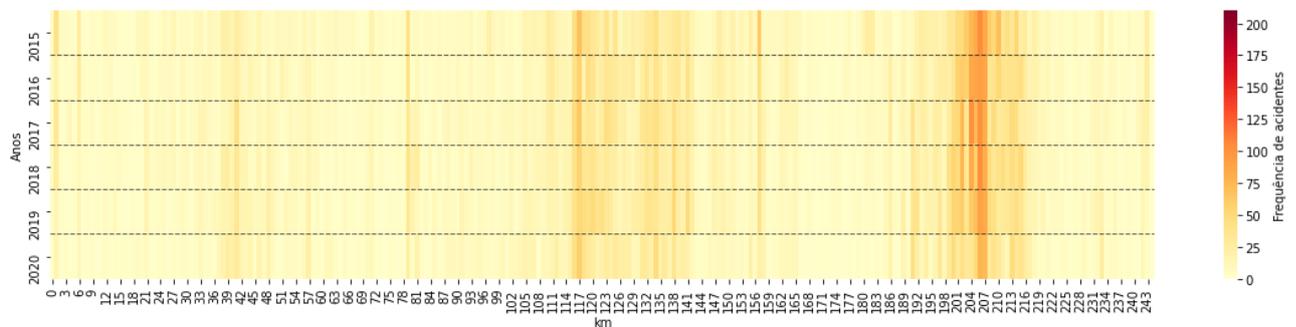
- BR -101/SC

Figura 46 - Frequência de acidentes - BR-101 sentido norte - 2015 a 2020.



Fonte: autoria própria

Figura 47 - Frequência de acidentes - BR-101 sentido sul - 2015 a 2020



Fonte: autoria própria

Nota-se nas Figuras 46 e 47 que o maior número de acidentes, registrados nos últimos 6 anos, no trecho BR-101, sentido norte, concentra-se nos quilômetros entre 206 a 216. Destacando-se o trecho 208-209, onde registraram-se, em 2020, 192 acidentes. Já no sentido sul observa-se que a maior frequência de acidentes registra no trecho de 205 km a 207 km.

Nas Tabelas 8 e 9 apresentam-se as frequências de acidentes nos trechos mais críticos sinalizados nas Figuras 46 e 47 no trecho BR-101.

Tabela 8 - Frequência de acidentes trecho 206 a 216 - BR-101 sentido norte - 2015 a 2020.

Km	2015	2016	2017	2018	2019	2020
206	58	74	49	61	80	57
207	43	56	51	52	69	55
208	64	69	74	103	121	109
209	94	100	111	77	96	82
210	55	74	86	81	54	57
212	55	66	72	63	54	63
213	61	85	92	89	78	74
214	77	90	64	49	60	62
215	57	63	66	64	66	83
216	51	61	45	39	50	63

Fonte: autoria própria

Tabela 9 - Frequência de acidentes trecho 205 a 207 - BR-101 sentido sul - 2015 a 2020.

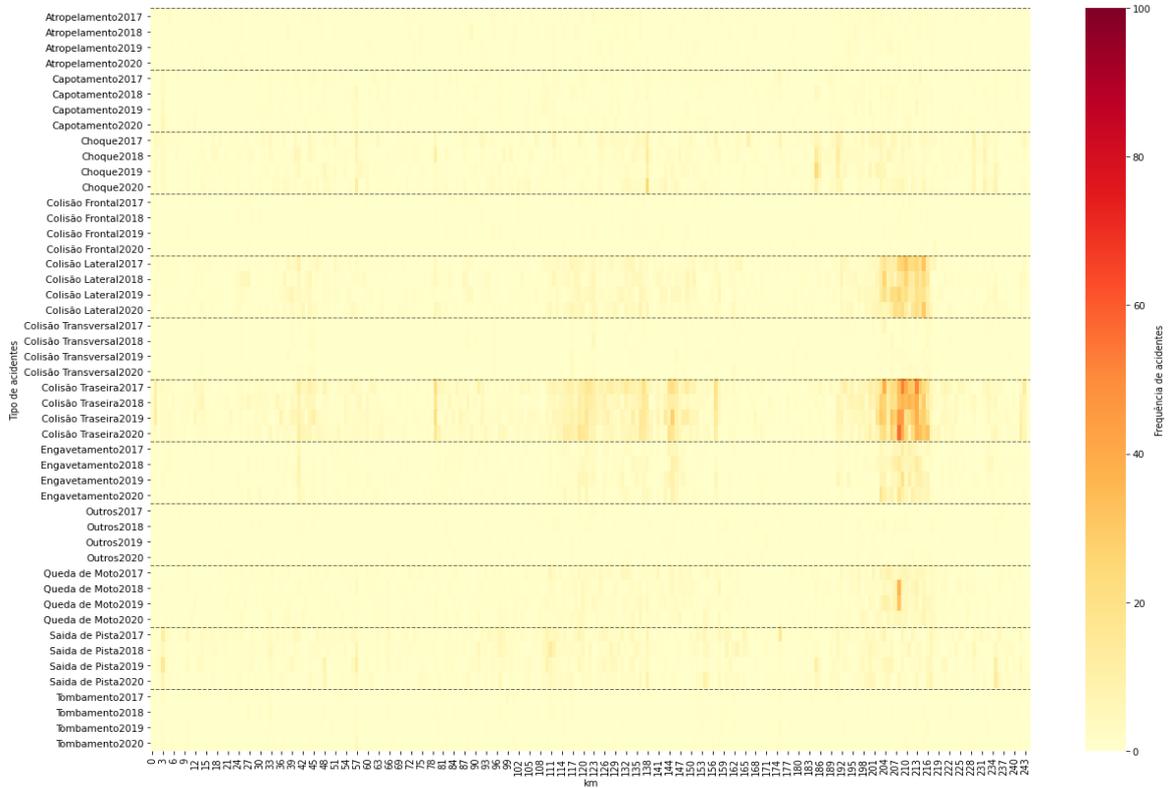
km	2015	2016	2017	2018	2019	2020
205	84	87	75	59	71	50
206	105	91	101	104	90	77
207	86	88	82	82	84	73

Fonte: autoria própria

Vale destacar que nos quilômetros sinalizados como críticos não se observa nenhuma tendência de diminuição de acidentes ao longo do período de estudo.

Na Figura 48 apresenta-se a frequência de acidentes na BR-101, sentido norte, no período de 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente. Observa-se que nos quilômetros críticos 206 a 217 a maioria dos acidentes aconteceram devido a colisões traseiras e laterais.

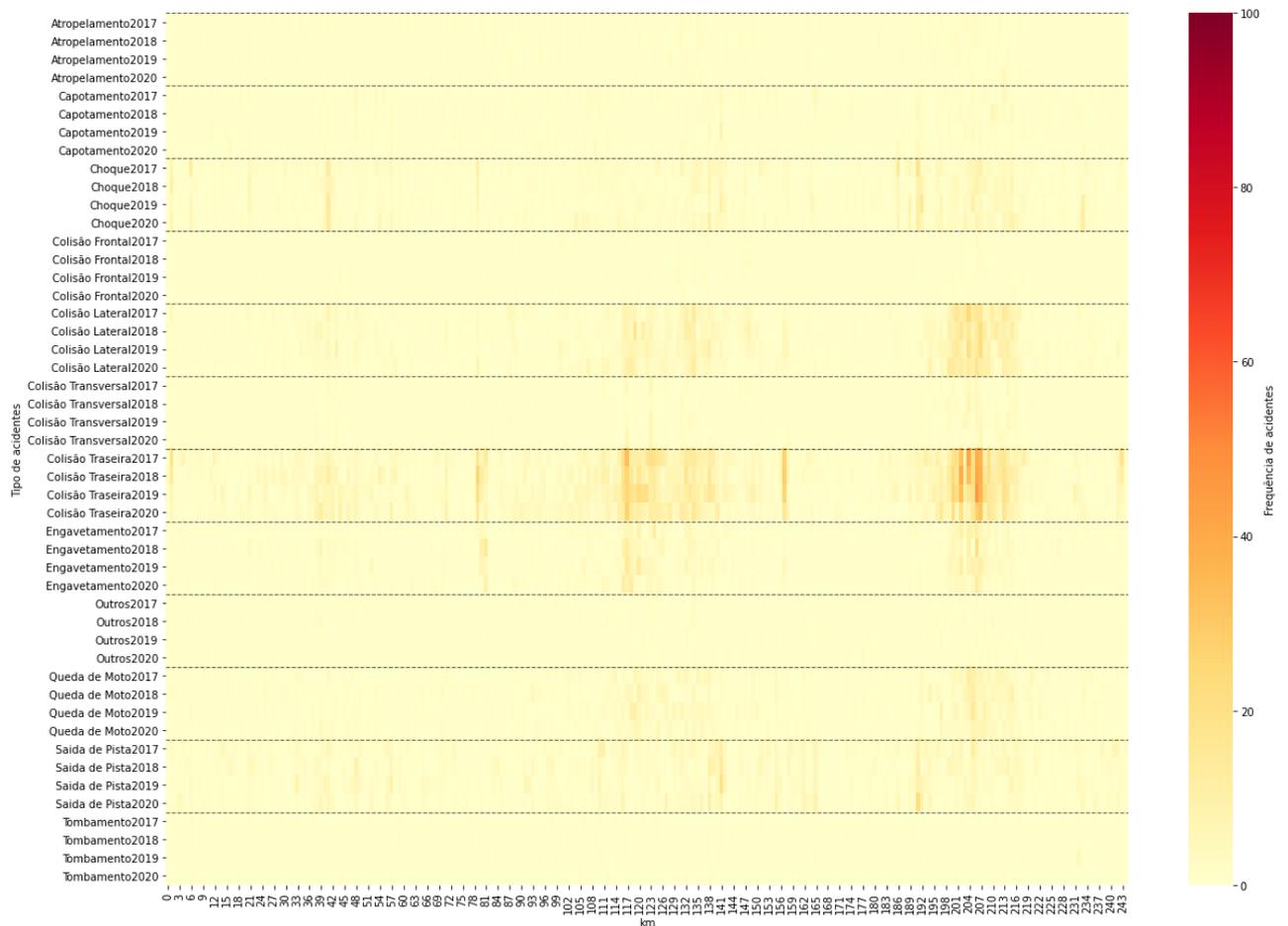
Figura 48 - Frequência de acidentes - BR-101 sentido norte - 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente.



Fonte: autoria própria

Nota-se na Figura 49 que no sentido sul do trecho BR-101, novamente, a maioria dos acidentes registrados nos quilômetros críticos de 205 a 207 aconteceram devido a colisões traseiras.

Figura 49 - Frequência de acidentes - BR101 sentido sul - 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente.

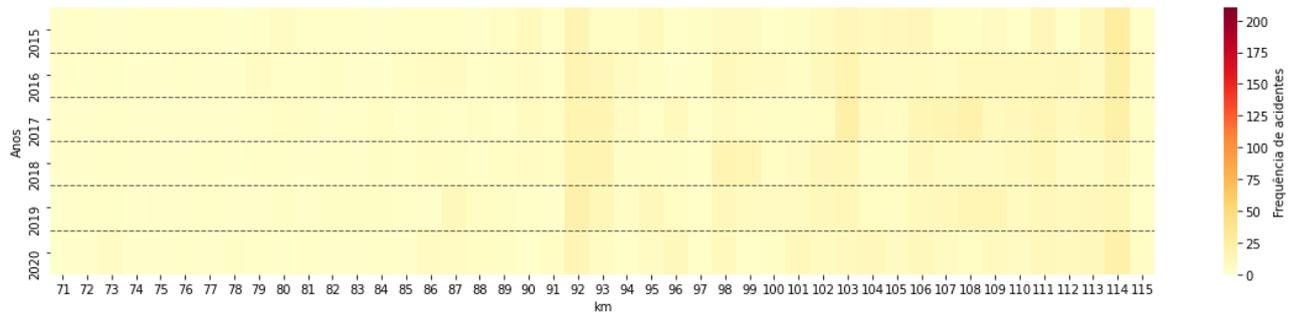


Fonte: autoria própria

- BR-116/SC

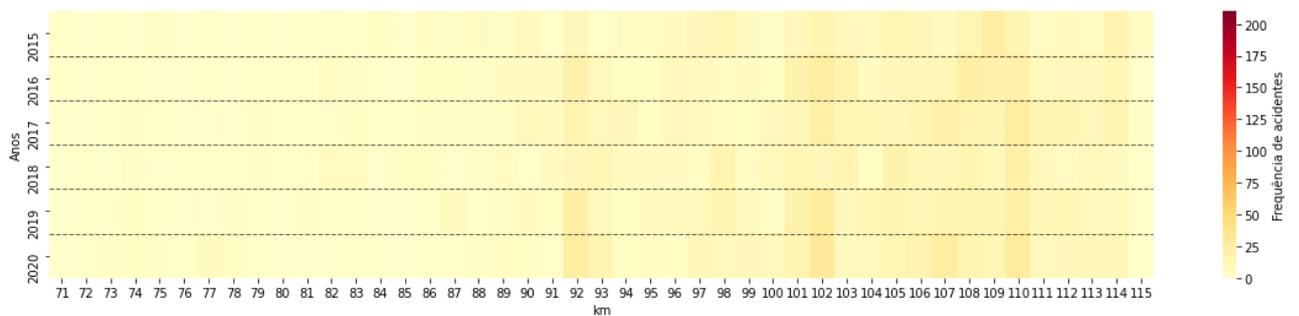
Nota-se na Figura 50 que o maior número de acidentes registrados nos últimos 6 anos no trecho BR-116, sentido norte, concentra-se nos quilômetros 92 e 114. Já na Figura 51, referente aos acidentes registrados no sentido sul, observa-se que nos quilômetros 92, 102 e 110 aconteceram o número de acidentes no período estudado. No entanto, vale destacar que a frequência de acidentes no trecho BR-116 é bem menor quando comparado com os trechos BR-110/SC e BR-376/SC.

Figura 50 - Frequência de acidentes - BR116 sentido norte - 2015 a 2020.



Fonte: autoria própria

Figura 51 - Frequência de acidentes - BR116 sentido sul - 2015 a 2020.



Fonte: autoria própria

Nas Figuras 52 e 53 apresenta-se a frequência de acidentes no período de 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente no sentido norte e sul, respectivamente. Note-se que a maior parte dos acidentes aconteceram por colisões ou saídas da pista.

Tabela 10 - Frequência de acidentes nos quilômetros 652, 657 e 666 - BR-376 sentido norte - 2015 a 2020.

km	2015	2016	2017	2018	2019	2020
652	32	46	42	48	69	58
657	40	84	50	25	64	49
666	58	122	100	35	35	43

Fonte: autoria própria

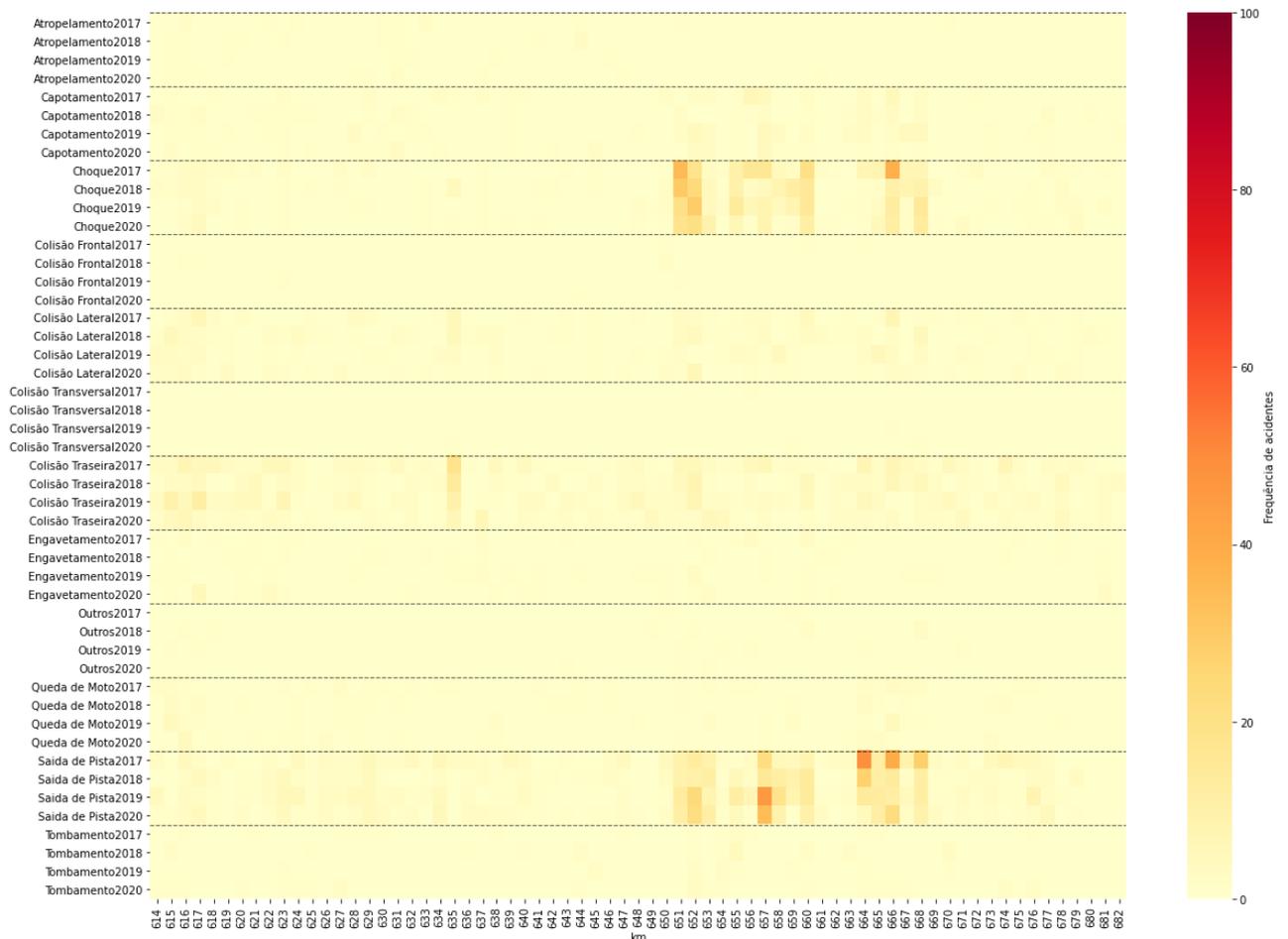
Tabela 11: Frequência de acidentes nos quilômetros 665, 667 e 671 - BR376 sentido sul - 2015 a 2020.

km	2015	2016	2017	2018	2019	2020
665	156	180	123	82	42	116
667	37	24	32	23	44	67
671	79	73	89	53	66	51

Fonte: autoria própria

Na Tabela 11 observa-se que o número de acidentes no quilômetro 665 (sentido sul) estava diminuindo. Porém, em 2020, houve um aumento de 176,2% em relação ao ano passado.

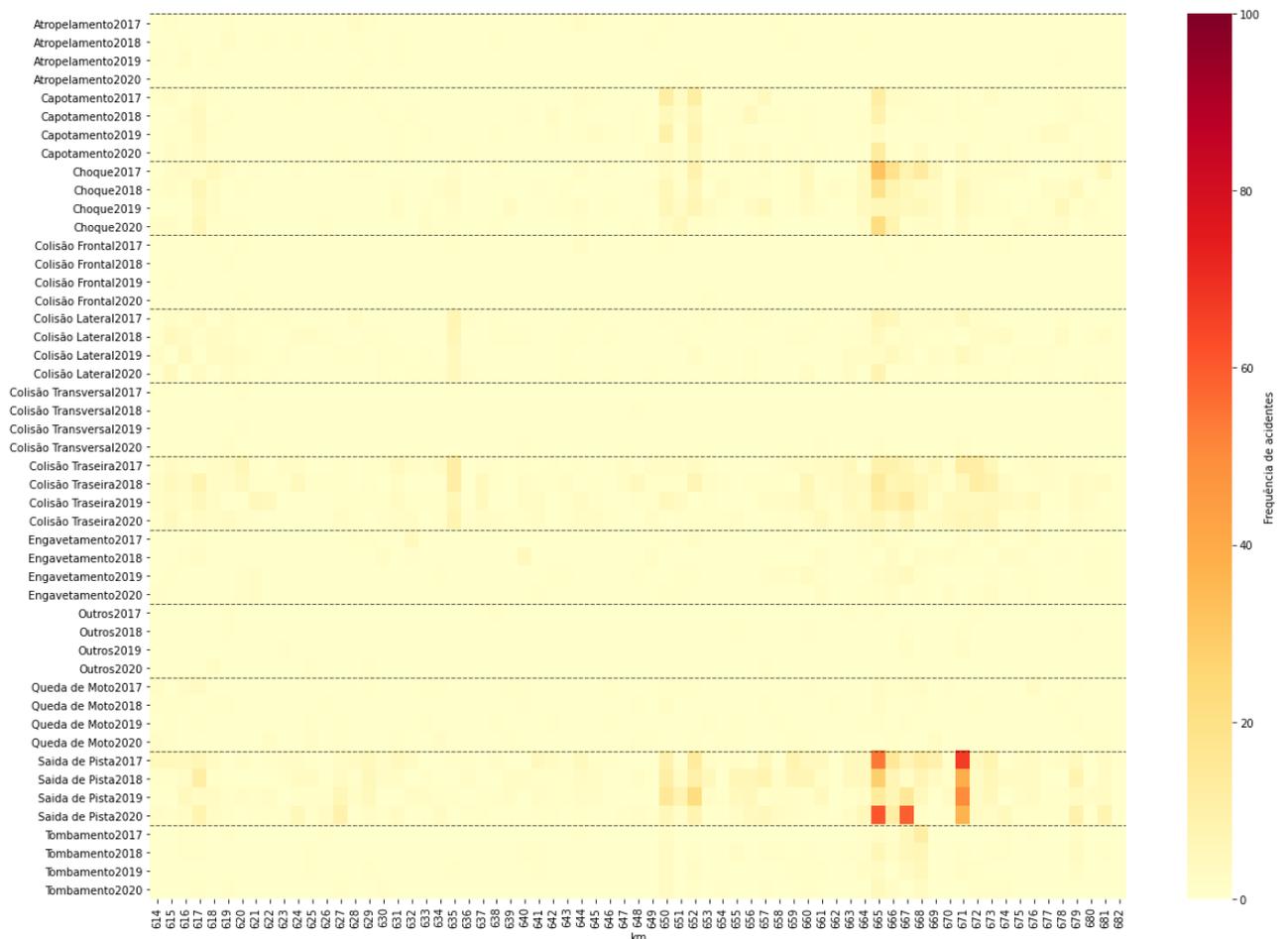
Figura 56 - Frequência de acidentes - BR-376 sentido norte - 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente.



Fonte: autoria própria

Nas Figuras 56 e 57 apresenta-se a frequência de acidentes no período de 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente no sentido norte e sul, respectivamente. Note-se que a maioria dos acidentes nos trechos críticos acontecem por saídas da pista, colisões e choques.

Figura 57 - Frequência de acidentes - BR-376 sentido sul - 2017 a 2020 segundo o tipo de acidente.



Fonte: autoria própria

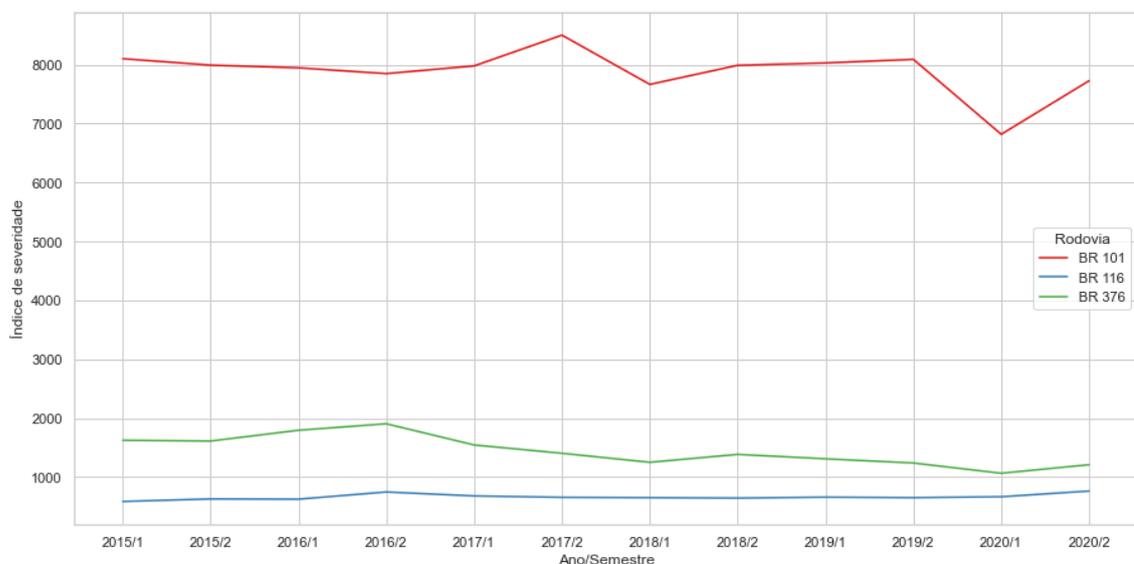
Para o cálculo das taxas de acidentalidade, foram utilizadas duas métricas preconizadas pelo DENATRAN (1987), o índice de severidade e a taxa de severidade, que permitem a quantificação da acidentalidade em termos absolutos e relativos, respectivamente. Segundo Ferraz (2012), o índice de severidade e a taxa de severidade, são os índices que expressam mais adequadamente a acidentalidade viária em um local, por atribuir pesos diferentes conforme a gravidade dos acidentes. O índice de severidade é determinado pela seguinte expressão:

$$S = 1 \times D + 5 \times V + 13 \times F$$

Em que S é o índice de severidade e D, V e F são o número de acidentes sem vítimas (apenas danos materiais), o número de acidentes com vítimas não fatais e o número de acidentes com vítimas fatais, respectivamente. A taxa de severidade consiste na divisão do índice de severidade pela quantidade de transporte (produto do volume de tráfego pela extensão do trecho analisado) no período.

A evolução do índice de severidade nos últimos seis anos é apresentada na Figura 58. Nesse caso, a análise dos números absolutos não consegue fornecer muitas informações, mas é possível notar certa queda da acidentalidade na BR 376 a partir do segundo semestre de 2016. Na BR 116 e na BR 101, os números absolutos se mantiveram estáveis, embora esta última tenha apresentado perturbações pontuais no segundo semestre de 2017 e primeiro semestre de 2018. É provável que a pandemia de COVID-19 tenha causado o comportamento observado em 2020 nas BRs 101 e 376: queda da acidentalidade no primeiro semestre, em virtude do levantamento de restrições à circulação, e aumento no segundo semestre (embora em nível menor que o de 2019). Entretanto, é importante ressaltar que o mesmo comportamento não foi observado na BR 116, localizada na região metropolitana de Curitiba.

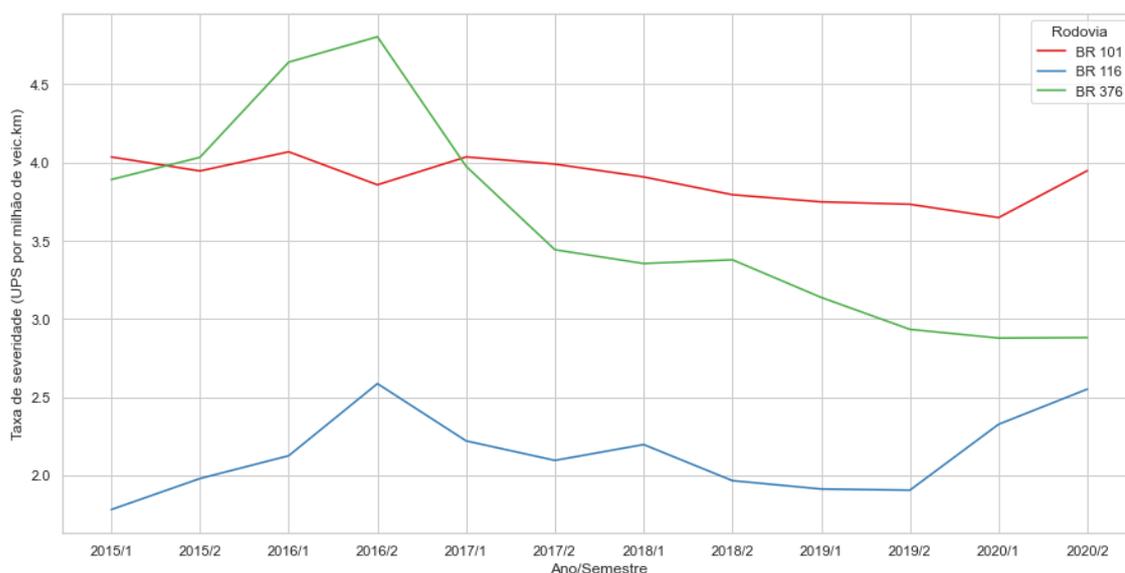
Figura 58 - Evolução do índice de severidade na Autopista Litoral Sul entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

A análise da acidentalidade em termos relativos, conforme mostrado na Figura 59, que traz a evolução da taxa de severidade entre 2015 e 2020, é bem mais informativa. Pode-se perceber que a BR 376, apesar de apresentar a maior acidentalidade em 2016, apresentou elevada queda na taxa de severidade desde então. A BR101 hoje possui a maior acidentalidade do sistema em números absolutos e relativos e, apesar de apresentar queda lenta e sustentada na taxa de severidade a partir de 2017, voltou a apresentar alta no último semestre de 2020. O mesmo ocorreu com a BR 116, que apresentou alta nos dois últimos semestres de 2020, mas segue possuindo a menor taxa de severidade da Autopista Litoral Sul.

Figura 59 – Evolução da taxa de severidade na Autopista Litoral Sul entre 2015 e 2020



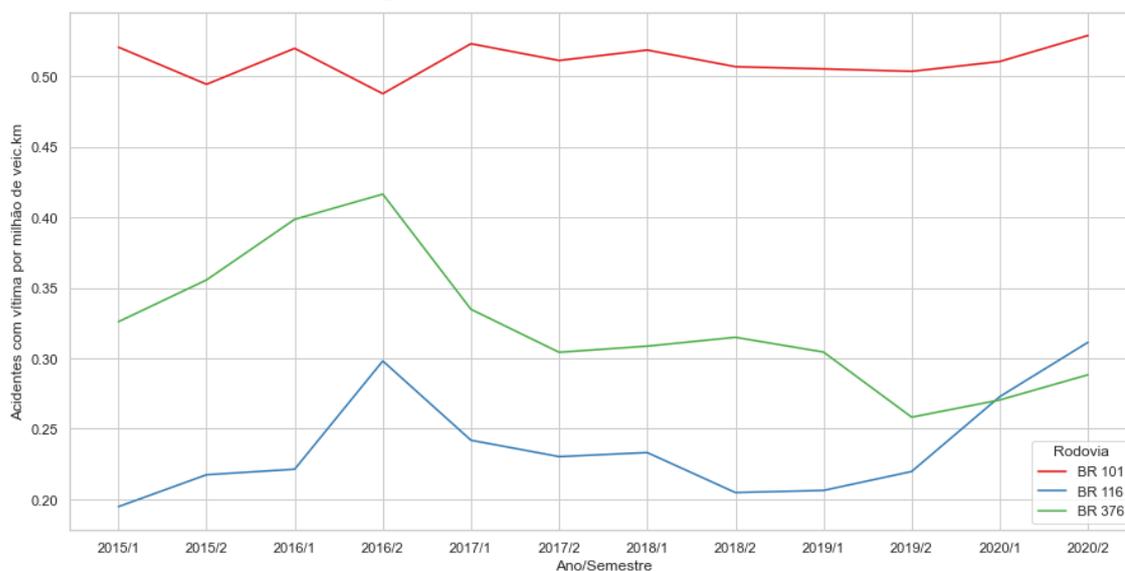
Fonte: autoria própria

Outras duas taxas, a de acidentes com e sem vítimas (danos materiais) por quantidade de transporte, permitem ter uma ideia da natureza da acidentalidade em cada rodovia. Com base na Figura 60, pode-se perceber:

- A BR 101 apresenta a maior taxa de acidentes com vítima, aproximadamente estável desde 2015;
- A BR 116 e a BR 376 apresentaram alta na taxa de acidentes com vítima até 2016, seguida de queda até o segundo semestre de 2019;

- Todas as rodovias apresentaram aumento da taxa de acidentes com vítimas em 2020, que foi mais acentuado na BR 116, que agora possui a segunda maior taxa de acidentes com vítimas.

Figura 60 - Evolução do número de acidentes com vítima por milhão de veículo-quilômetro na Autopista Litoral Sul entre 2015 e 2020

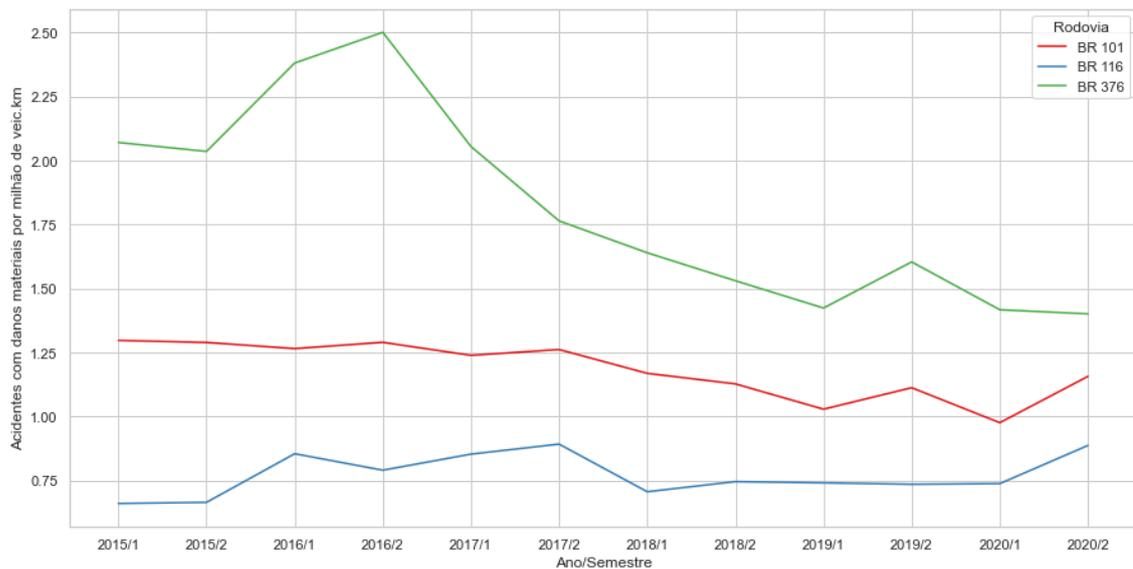


Fonte: autoria própria

Já com base na Figura 61, que traz a taxa de acidentes sem vítimas (danos materiais), pode-se perceber:

- O mesmo comportamento de queda observado na BR 376 nos índices anteriores também ocorreu com a taxa de acidentes com danos materiais, apesar de ainda ser a maior entre as três rodovias;
- A BR 101, que possui a segunda maior taxa, teve ligeira queda após 2017, mas com oscilações a partir de 2019;
- A BR 116 possui a menor taxa de acidentes com danos materiais, estável desde 2018, mas com aumento no último semestre.

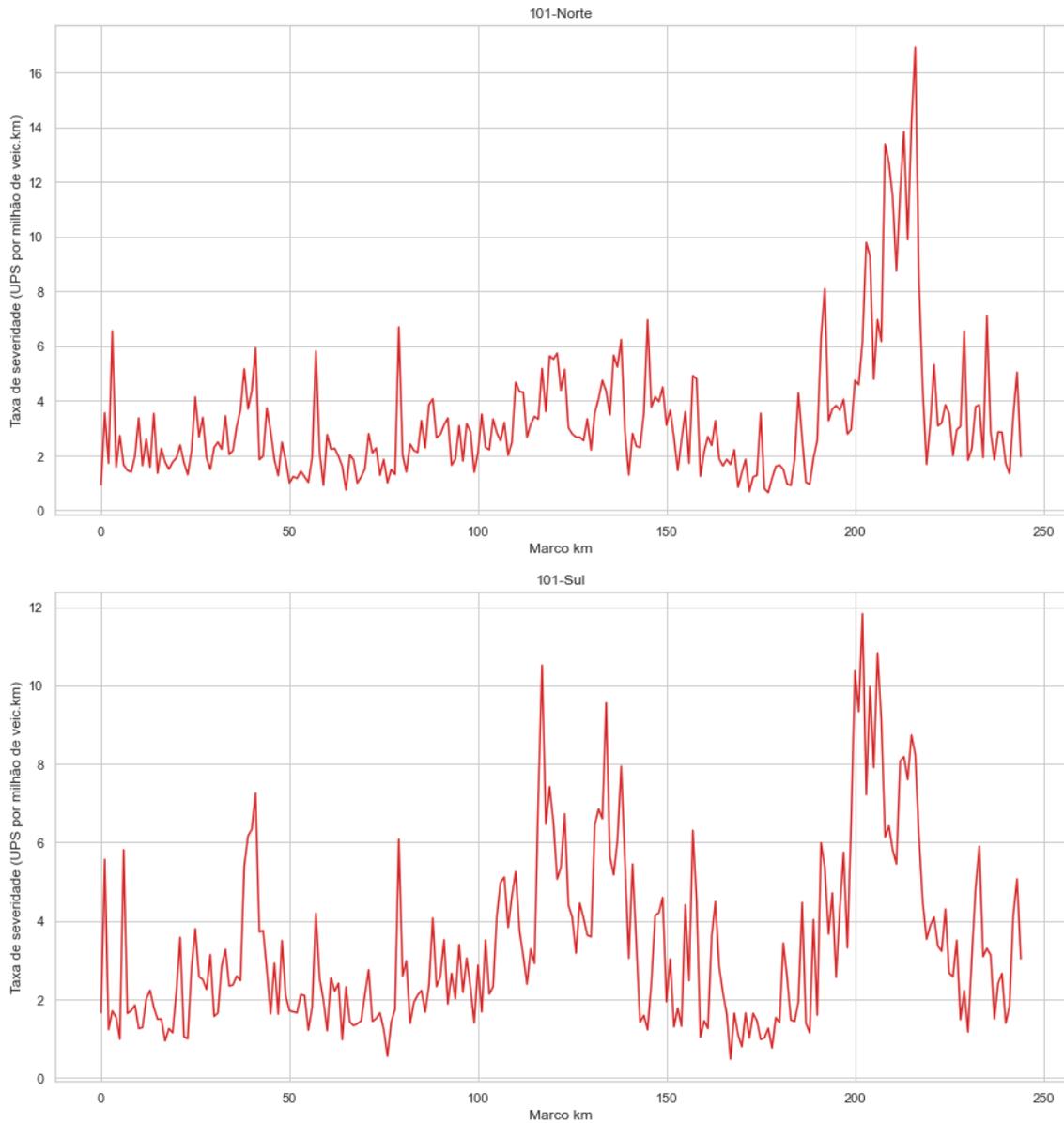
Figura 61 - Evolução do número de acidentes com danos materiais por milhão de veículo-quilômetro na Autopista Litoral Sul entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

Também foi conduzida uma análise básica da taxa de severidade por quilômetro entre os anos de 2015 e 2020. A Figura 62, que traz a taxa de severidade da BR 101, indica que, em ambos os sentidos, o trecho mais crítico fica aproximadamente entre os km 200 e 225, correspondente à região metropolitana de Florianópolis/SC. A pista norte também apresenta taxa de severidade elevada aproximadamente entre os quilômetros 110 e 140, entre as cidades de Navegantes/SC e Balneário Camboriú/SC.

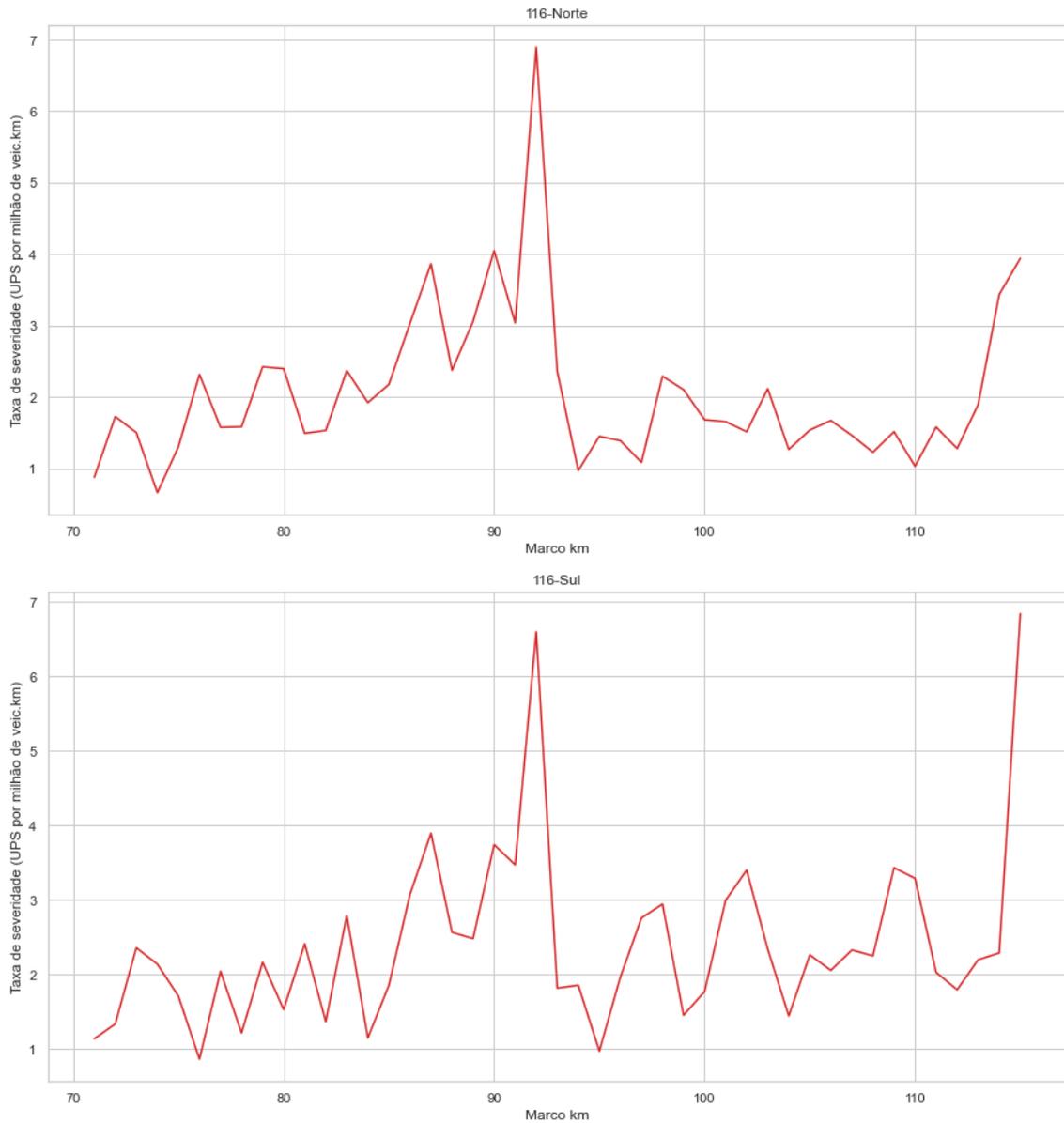
Figura 62 - Taxa de severidade na BR 101 entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

Na BR 116, o km 92 possui a maior taxa de severidade nos dois sentidos e é caracterizado pelo trevo com a BR 277, conforme mostra a Figura 63.

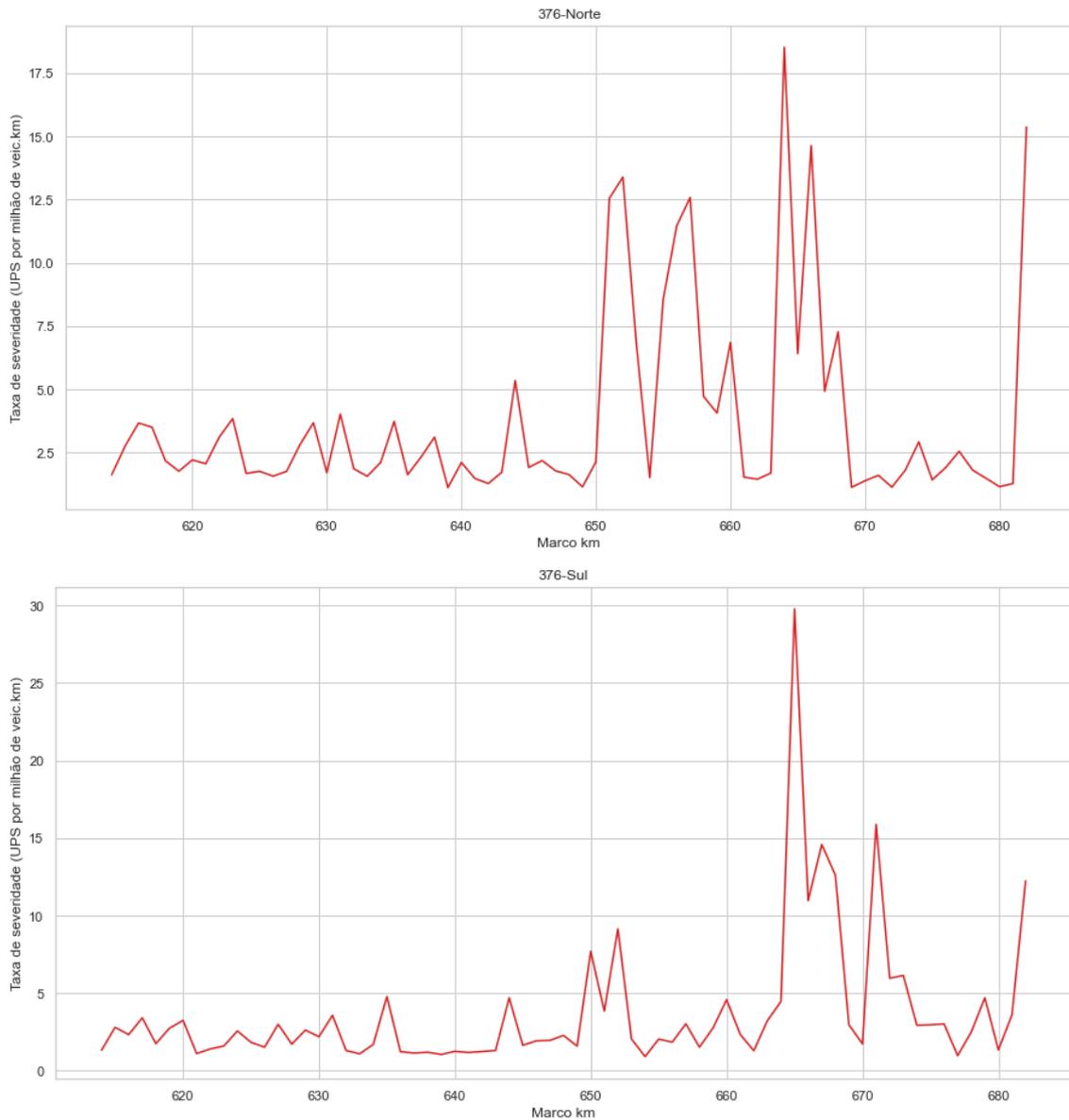
Figura 63 - Taxa de severidade na BR 116 entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

Conforme mostra a Figura 64, a BR 376 apresenta os trechos mais críticos da Autopista Litoral Sul. No sentido sul, o trecho mais crítico está entre os quilômetros 665 e 671 e conta com declive acentuado e curvas fechadas sucessivas. Já no sentido norte, o trecho mais crítico fica entre os quilômetros 650 e 670, em região de aclave e com curvas fechadas sucessivas.

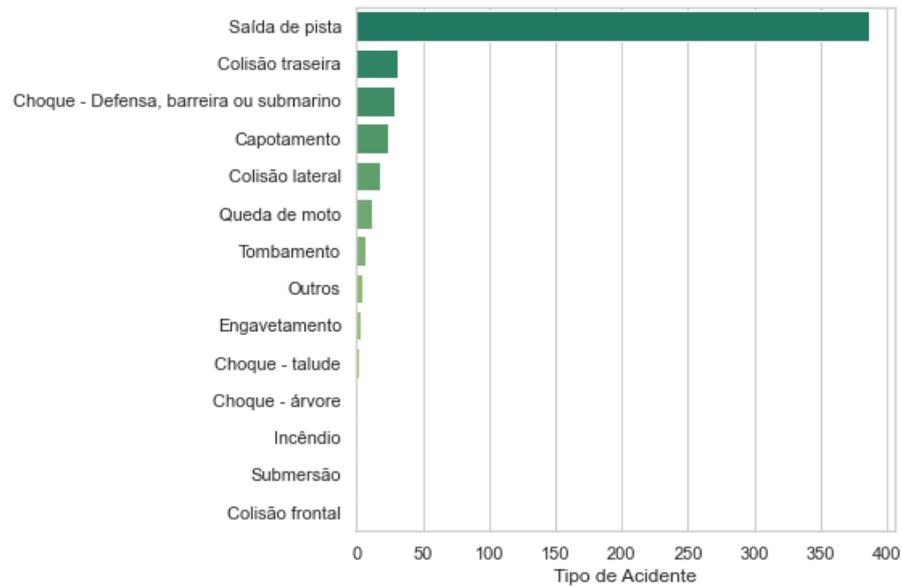
Figura 64 - Taxa de severidade na BR 376 entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

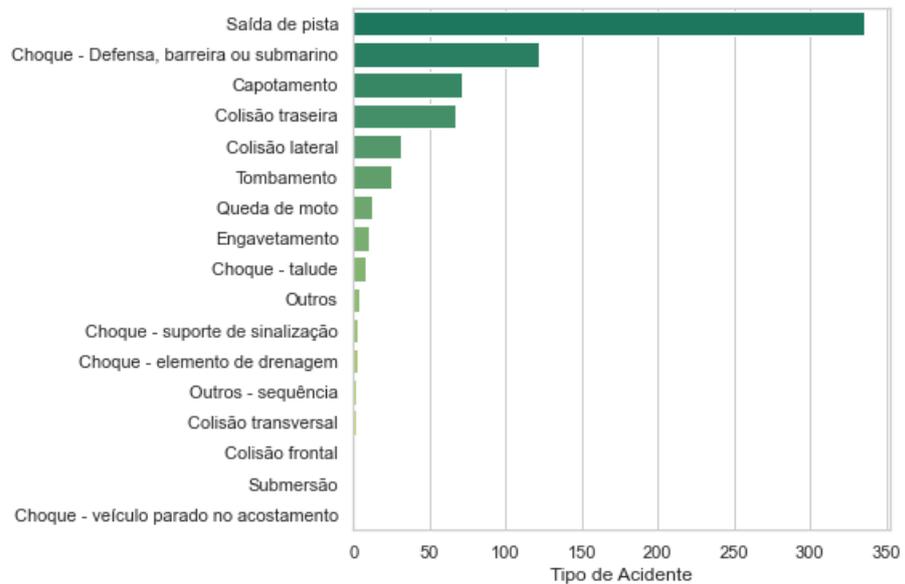
Analisando os quilômetros 664 e 665, que possuem as maiores taxas de severidade da BR 376 nos sentidos norte e sul, respectivamente, observou-se que os tipos de acidentes predominantes são os mesmos, sendo a saída de pista o tipo de acidente mais comum (figuras 65 e 66). A causa predominante em ambos é a perda de controle (figuras 67 e 68).

Figura 65 - Tipos de acidentes na BR 376 km 664 sentido Norte, entre 2015 e 2020



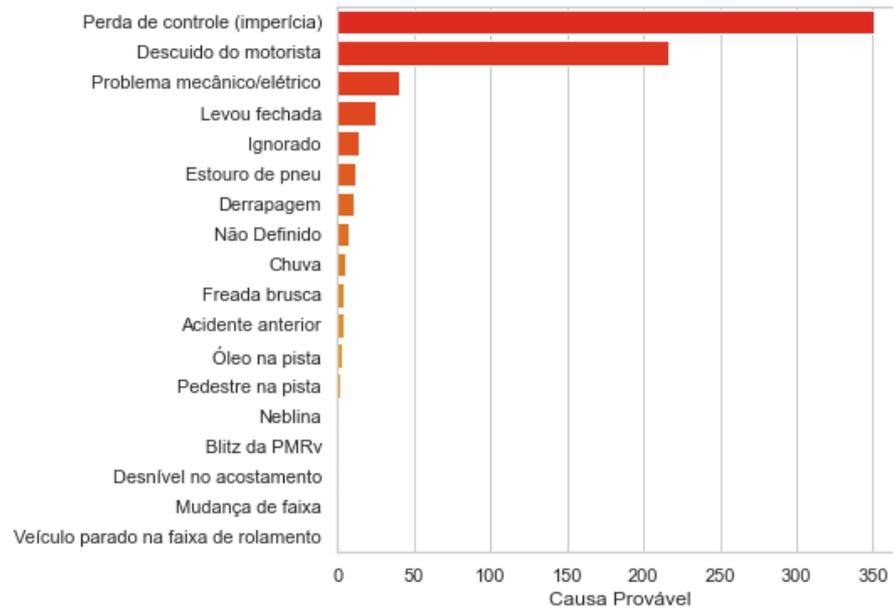
Fonte: autoria própria

Figura 66 - Tipos de acidentes na BR 376 km 665 sentido Sul, entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

Figura 67 - Causas prováveis dos acidentes na BR 376 km 664 sentido Norte, entre 2015 e 2020



Fonte: autoria própria

Figura 68 - Causas prováveis dos acidentes na BR 376 km 665 sentido Sul, entre 2015 e 2020

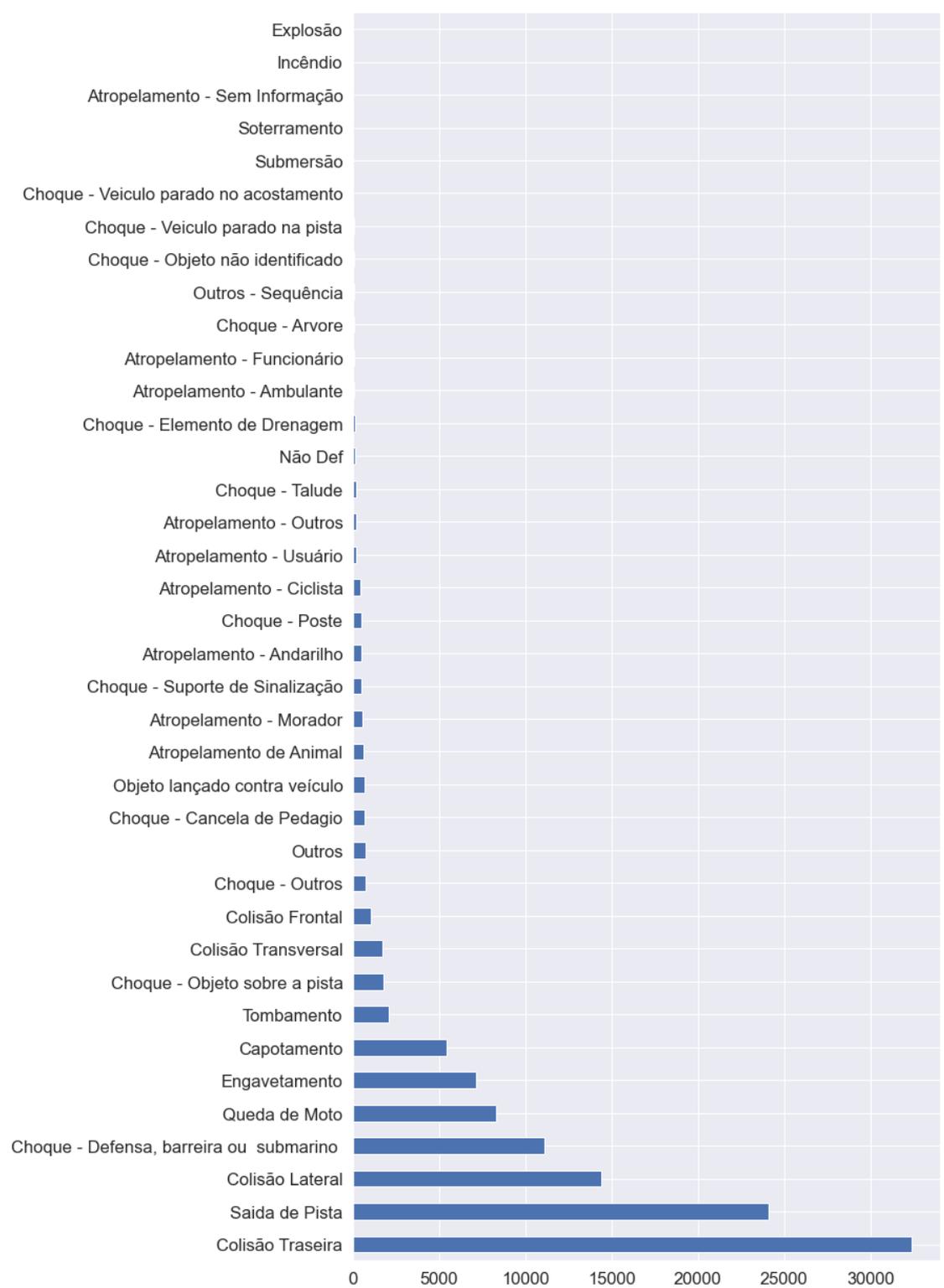


Fonte: autoria própria

Também foi analisada a ocorrência de tipos de acidentes (Figura 69), causas prováveis (Figura 70) e condições registradas (Figura 71), em toda a Autopista Litoral Sul e levando em conta todos os acidentes disponíveis desde o segundo semestre de 2008.

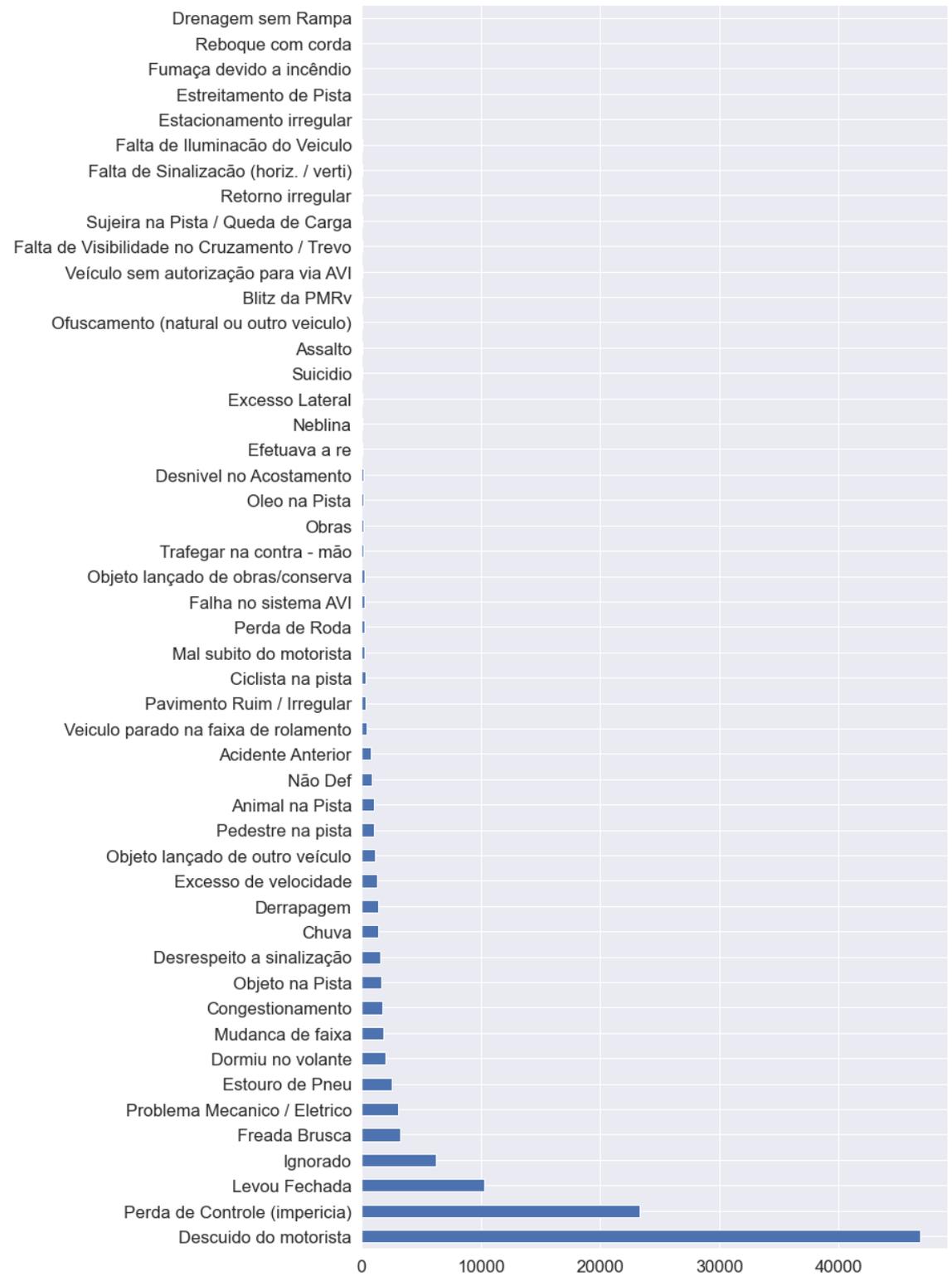
Os tipos de acidentes mais comuns foram colisão traseira, saída de pista, colisão lateral, choque contra barreira, queda de moto, engavetamento e capotamento (Figura 69). Já as causas prováveis mais comuns foram descuido do motorista e perda de controle (Figura 70).

Figura 69 - Número de acidentes por tipo registrado



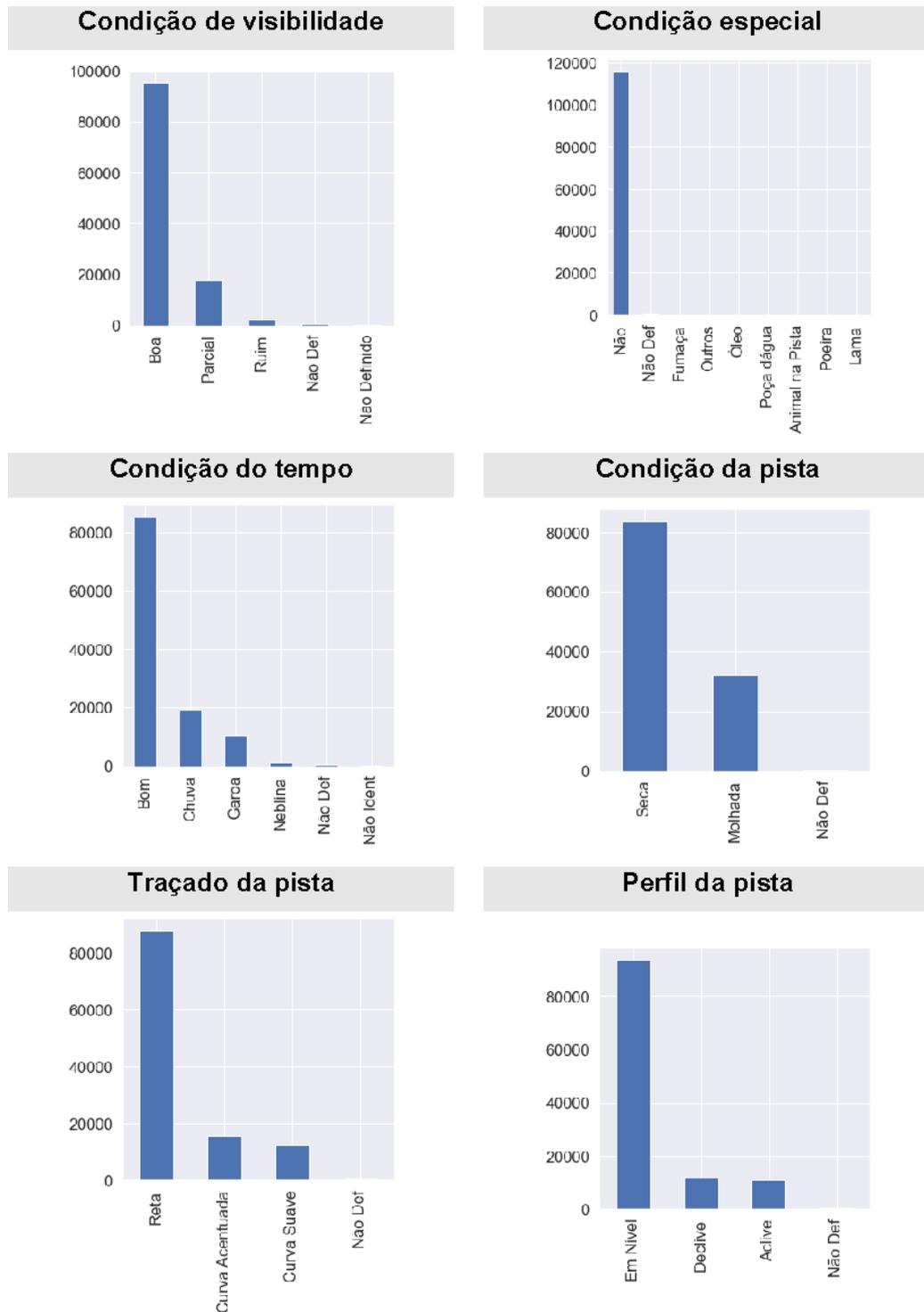
Fonte: autoria própria

Figura 70 - Número de acidentes por causa provável registrada



Fonte: autoria própria

Figura 71 - Número de acidentes para diversos tipos de condições registradas



Fonte: autoria própria

7.2. Análise dos resultados do experimento no simulador de direção

Inicialmente foram realizadas análises descritivas dos dados coletados do experimento realizado no simulador. Por meio de gráficos, verificou-se se as distribuições das variáveis coletadas podem ser assumidas como normais, suposição necessária nas análises paramétricas adotadas neste estudo. Posteriormente, verificaram-se as possíveis relações de dependência, entre as variáveis explicativas (dependentes) coletadas, por meio de diagramas de dispersão. Para quantificar a relação entre as variáveis consideraram-se duas medidas: Coeficiente de Pearson, se era possível assumir normalidade nas variáveis consideradas e o Coeficiente de Spearman, métrica não paramétrica que permite analisar a dependência estatística de duas variáveis por meio de postos sem assumir normalidade. Por fim, analisou-se também a dependência entre as variáveis independentes e dependentes. Vale ressaltar que para analisar a dependência entre variáveis quantitativas e qualitativas categóricas usaram-se os gráficos *boxplots*.

Para verificar as conclusões feitas nas análises descritivas implementou-se o teste modificado de Kolmogorov-Smirnov (HAIR et al., 2005) para verificar a normalidade das variáveis.

Para analisar estatisticamente a influência das variáveis independentes nas variáveis resposta (dependentes) realizaram-se análises usando testes paramétricos para comparar as médias de duas populações, utilizou-se o teste *t-student* para as variáveis cuja distribuição de probabilidade pode ser assumida como normal com variância desconhecida. Finalmente, implementou a Análise de Variância de um fator (ANOVA) para comparar médias de mais de duas populações normais. Vale destacar que o número de populações consideradas é direcionado pelo número de categorias das variáveis respostas (independentes), por exemplo, a variável de duplicidade do sinal é dicotômica, isto é, só tem dois possíveis resultados: sim ou não, por tanto, é possível implementar o teste *t-student*, já na variável o tipo de sinal que tem mais de dois possíveis resultados implementou-se o teste de ANOVA. O teste *t-student* é robusto para variáveis com distribuição não normais, portanto foi usado em todas as análises de dependência com variáveis independentes categóricas e dicotômicas.

Na análise de resíduos do modelo ANOVA verificou-se que havia, em alguns casos, afastamentos de homocedasticidade, isto é, igualdade de variância nas variáveis do estudo. Assim, nesses casos, implementou-se nesses o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

7.2.1. Análise da efetividade dos projetos de sinalização propostos

A velocidade de operação registrada na entrada da curva crítica foi menor no cenário C, com redução de 20% em relação ao cenário base. Os cenários A e B apresentaram redução de 5 e 10%, respectivamente. A velocidade mínima média na curva crítica também foi menor no cenário C, com uma redução superior a 20% quando comparada ao cenário base.

Com relação à percepção da sinalização, o uso do sistema de rastreamento do olhar permitiu identificar como os condutores distribuíram a atenção entre os elementos da sinalização. No cenário base, as placas de advertência de pista sinuosa foram percebidas por 50% dos condutores, em média, enquanto as placas de regulamentação de limite de velocidade foram percebidas por 63% dos condutores, em média.

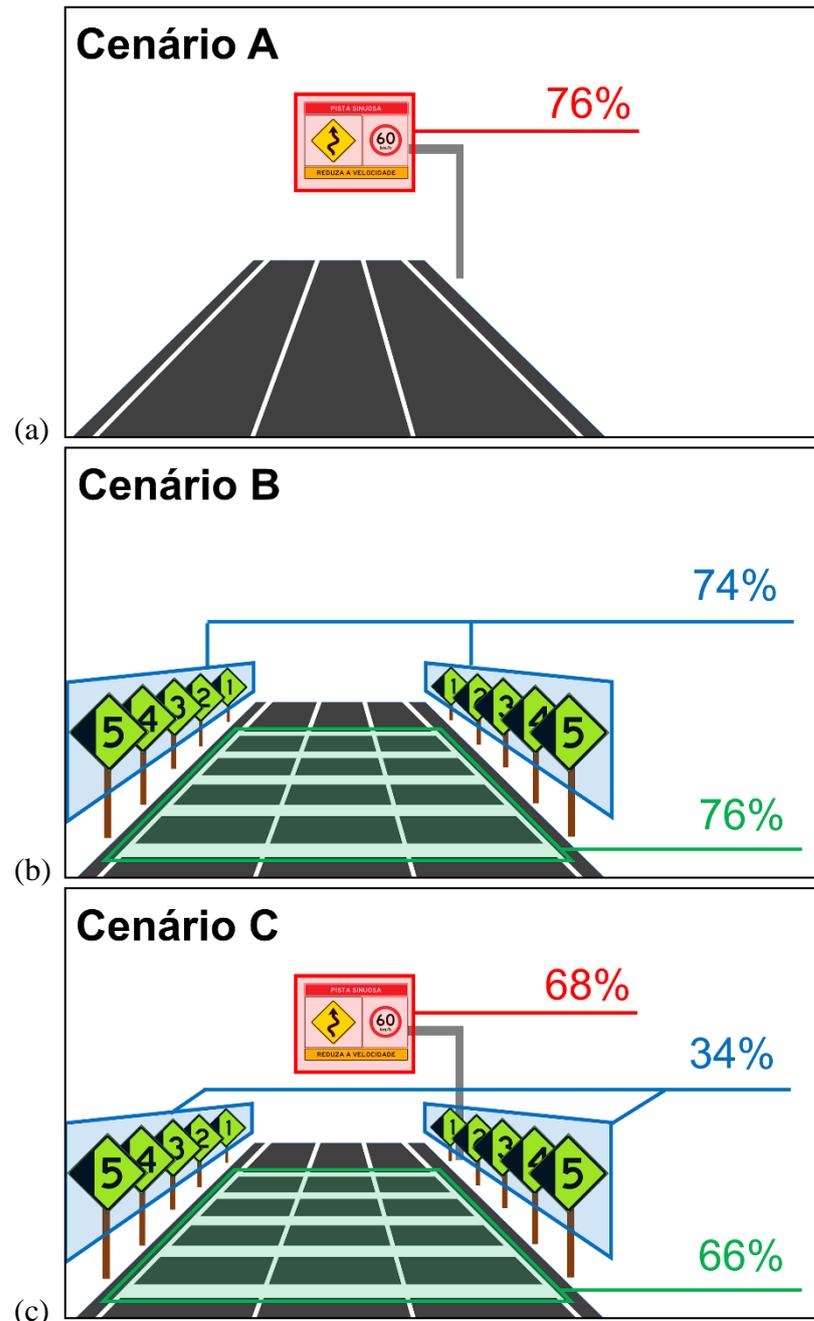
No cenário A, a placa composta aérea foi observada por 76% dos condutores, enquanto as placas de regulamentação de limite de velocidade foram percebidas por 41% dos condutores, e as placas de advertência de pista sinuosa foram percebidas por 31% dos condutores. Diante disso, pode-se afirmar que a placa aérea é mais conspícua que as placas existentes no solo no cenário base e, portanto, mais efetiva para chamar a atenção dos condutores sobre o risco das curvas. A figura 72a ilustra os resultados do cenário A.

No cenário B, as LERV foram percebidas por 76% dos condutores, os MAN foram percebidos por 74% dos condutores e tanto as placas de regulamentação de limite de velocidade, quanto as placas de advertência de pista sinuosa foram percebidas por 21% dos condutores. Diante disso, pode-se afirmar também que as LERV e os MAN são mais conspícuos que as placas existentes no solo no cenário base. Apesar disso, 20% dos condutores não perceberam nenhum tipo de sinalização presente no cenário. A figura 72b ilustra os resultados do cenário B.

No cenário C, a placa composta aérea foi percebida por 68% dos condutores, as LERV foram percebidas por 66%; os MAN foram percebidos por 34%, as placas de regulamentação de limite de velocidade no solo foram percebidas por 32%; e as placas de advertência de pista sinuosa presentes no solo foram percebidas por apenas 11% dos condutores. Entretanto, ao contrário do que aconteceu no cenário base e nos cenários A e B, todos os condutores que participaram do experimento

perceberam ao menos algum tipo de sinalização, ou seja, a efetividade da sinalização foi maior no cenário C. A figura 72c ilustra os resultados do cenário C.

Figura 72 - Esquema com a porcentagem de condutores que perceberam os elementos de sinalização em cada cenário



Fonte: autoria própria

7.2.2. Conclusão

A validade relativa do simulador é considerada requisito suficiente para que as diferenças observadas no simulador entre dois ou mais cenários sejam transferíveis à realidade (RANNEY, 2011). Portanto, espera-se que, se entre dois cenários de sinalização avaliados, um deles resulta ser mais efetivo no simulador – em termos de conspicuidade, resposta dos condutores etc. – também será o mais efetivo na realidade.

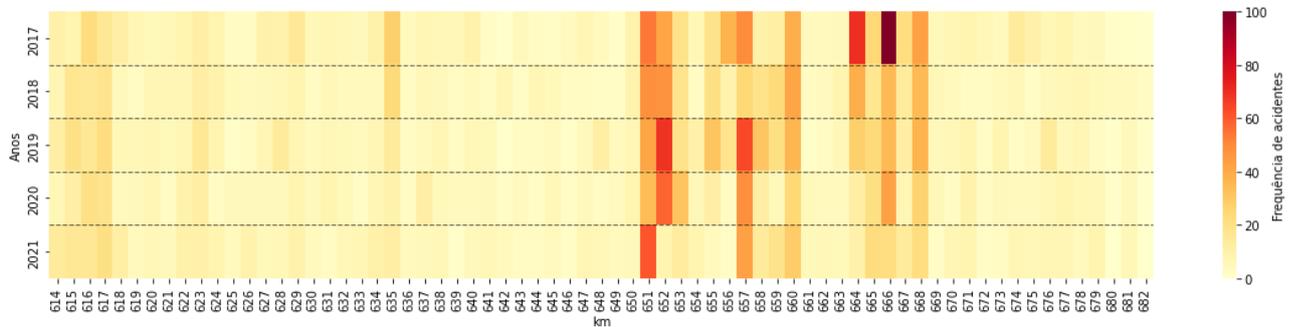
Sob esse critério, e com base nos resultados obtidos no simulador, concluiu-se que o cenário C é o mais apropriado para ser implantado nos trechos críticos, por ter sido mais efetivo, com todos os condutores percebendo ao menos algum elemento da sinalização proposta. Entre os distintos elementos propostos neste cenário, destaca-se que a placa aérea composta e as LERV foram os elementos mais conspícuos, seguidos dos MAN e das placas de regulamentação de limite de velocidade.

7.3. Atualização da análise estatística de acidentes

Durante a primeira etapa de execução deste projeto de pesquisa identificou-se os trechos críticos da Autopista Litoral Sul quanto à ocorrência de acidentes (vide item 6.1 desse relatório). Com base nas informações e análises executadas nessa fase, foram definidos os trechos experimentais para alteração da superfície do pavimento e da sinalização visando a melhoria da segurança viária, e consequente redução da quantidade e severidade dos acidentes rodoviários.

Os trechos experimentais definidos estão localizados na via BR376, sentido norte. A seguir apresenta-se o gráfico *heatmap* referentes à frequência de acidentes nos trechos BR-376/PR sentido norte da Autopista Litoral Sul no período de 2017 a 2021. Nota-se na Figura 73 que o maior número de acidentes registrados nos últimos 5 anos na via BR-376 sentido norte concentra-se, principalmente, entre os quilômetros 651, 653, 657, 660, 665, 666 e 668. Destacam-se os quilômetros 651, 657 e 666, onde se registraram, em média, respectivamente, 47,5; 52 e 33,3 acidentes nos últimos três anos. Por fim, ressalta-se uma diminuição percentual de 48,8% de acidentes no quilômetro 666 em 2021 em relação ao ano anterior e um aumento percentual de 79,4% de acidentes no quilômetro 651 em 2021 em relação ao ano anterior.

Figura 73 - Frequência de acidentes- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



Fonte: autoria própria

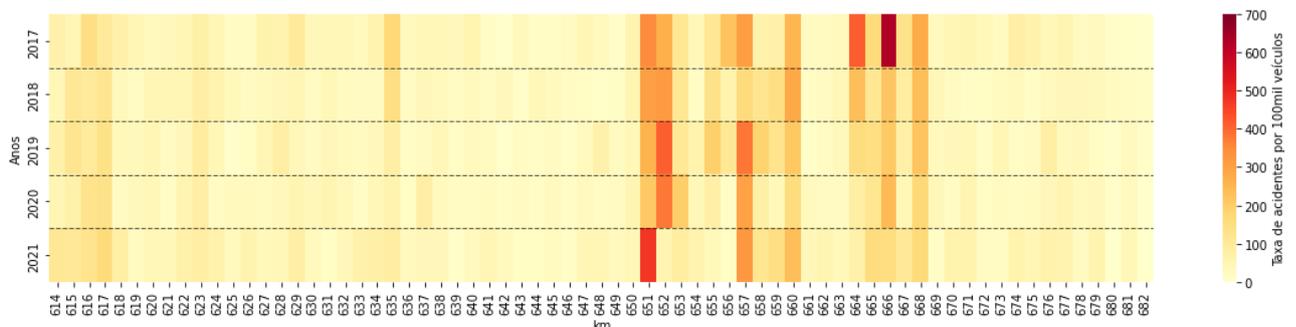
Considerando o volume de tráfego registrado em um dia na Autopista Litoral Sul na via BR-376/PR, sentido norte, foi calculada a taxa de acidentes por 100 mil veículos, por quilômetro, definida como:

$$t_k = \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{f_i}{vdm_i} \right) \times 100.000,$$

Onde: f_i representa a frequência de acidentes registradas durante o mês i e vdm_i , o volume diário médio mensal registrado no quilômetro k . Para este trecho foram usados os valores de VDM disponibilizados para a praça de pedágio 2.

Na Figura 74 apresenta-se o gráfico *heatmap* da taxa de acidentes durante o período de 2017 a 2021. Destacam-se os quilômetros 651 e 657 cujas taxas de acidentes oscilaram no período de estudo entre 163 e 478, observando-se um aumento ao longo do tempo desta taxa nestes quilômetros.

Figura 74 - Taxa de acidentes por 100 mil veículos - BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.

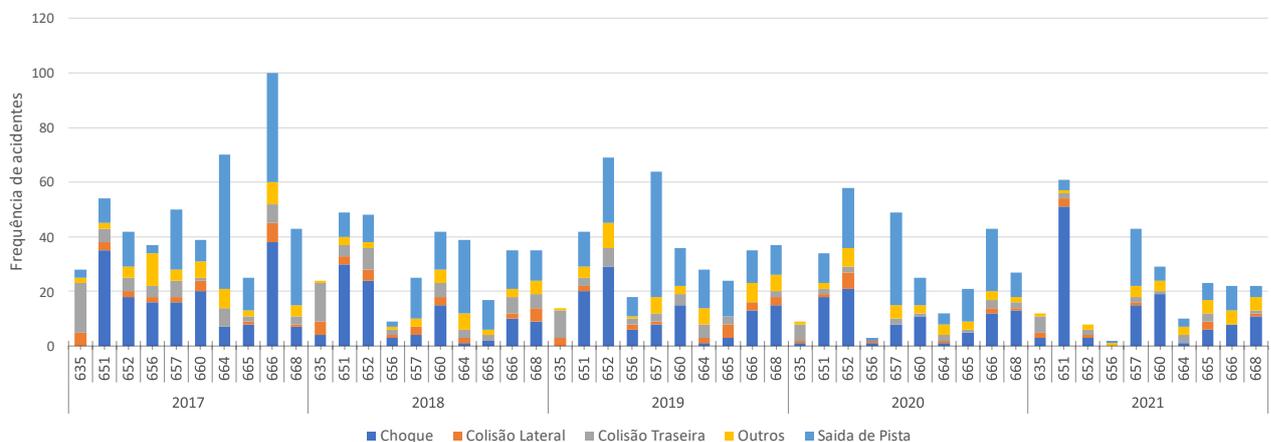


Fonte: autoria própria

Considerando a frequência de acidentes registrados no trecho BR-376 sentido norte foram selecionados os 10 quilômetros com maior criticidade. Na Figura 75 é apresentada a frequência de acidentes segundo o tipo de acidente. Observa-se que a maioria dos acidentes registrados nesse trecho são choques e/ou saída da pista. Vale destacar que nos últimos três anos:

- No quilômetro 651 foram registrados 137 acidentes dos quais 85,4% foram decorrentes de choques (65%) e saída da pista (19,4%).
- No quilômetro 657 foram registrados 156 acidentes dos quais 84,6% foram decorrentes de choques (19,9%) e saída da pista (64,7%).
- No quilômetro 660 foram registrados 90 acidentes dos quais 82,2% foram decorrentes de choques (50,0%) e saída da pista (32,2%).
- Nos quilômetros 665, 666 e 668, foram registrados, respectivamente, 68, 100 e 86 acidentes dos quais 66,2%, 77,0% e 73,3% foram ocasionados, respectivamente, por choques e saída de pista.

Figura 75 - Frequência de acidentes segundo o tipo de acidente- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



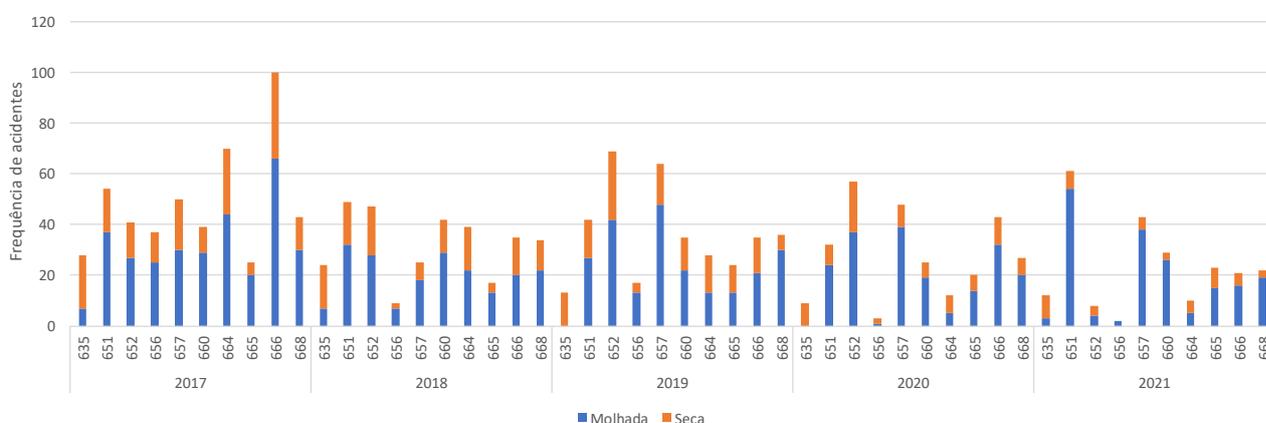
Fonte: autoria própria

Por fim, nota-se em 2021 um aumento percentual de acidentes de 183,3%, no quilômetro 651, decorrentes de choques em relação ao ano anterior. Por outro lado, constatou-se uma diminuição de acidentes por saída de pista no quilômetro 652, sendo que em 2021 não houve acidentes por saída de

pista. Finalmente, observa-se um aumento e uma diminuição percentual de 87,5% e 38,2% de acidentes, no quilômetro 657, decorrentes de choques e saída de pista, respectivamente, em 2021 em relação ao ano anterior.

Observa-se na Figura 76 que a maioria dos acidentes ocorridos, nos quilômetros mais críticos, foram registrados quando a pista estava molhada. Nos últimos dois anos, pelo menos 74% dos acidentes ocorridos nos quilômetros 651, 657, 660, 666 e 668 foram registrados quando a pista estava molhada.

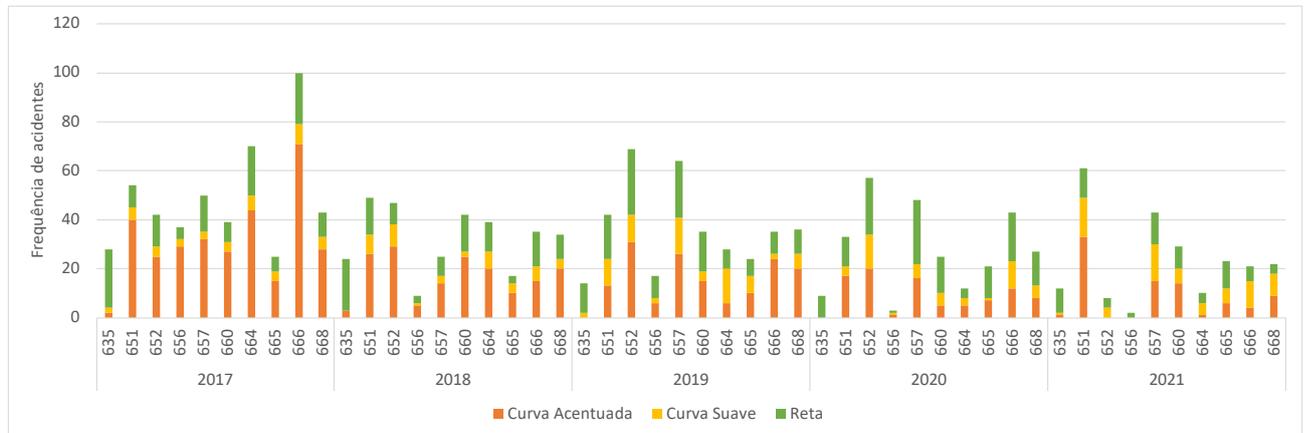
Figura 76 - Frequência de acidentes segundo a condição da pista- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



Fonte: autoria própria

A Figura 77 ilustra a frequência de acidentes segundo o traçado da pista. Nota-se que a maioria dos acidentes registrados, pelo menos 60%, nos três últimos anos nos quilômetros 651, 657, 666 e 668 aconteceram na presença de curvas (acentuadas ou suaves). Observa-se também uma diminuição de acidentes nas curvas acentuadas no quilômetro 666 nos dois últimos anos em relação ao ano de 2017, onde 71% dos acidentes ocorreram nestas curvas. Por sua vez, em 2020 e 2021 registraram-se, respectivamente, 28% e 19% dos acidentes nestas curvas.

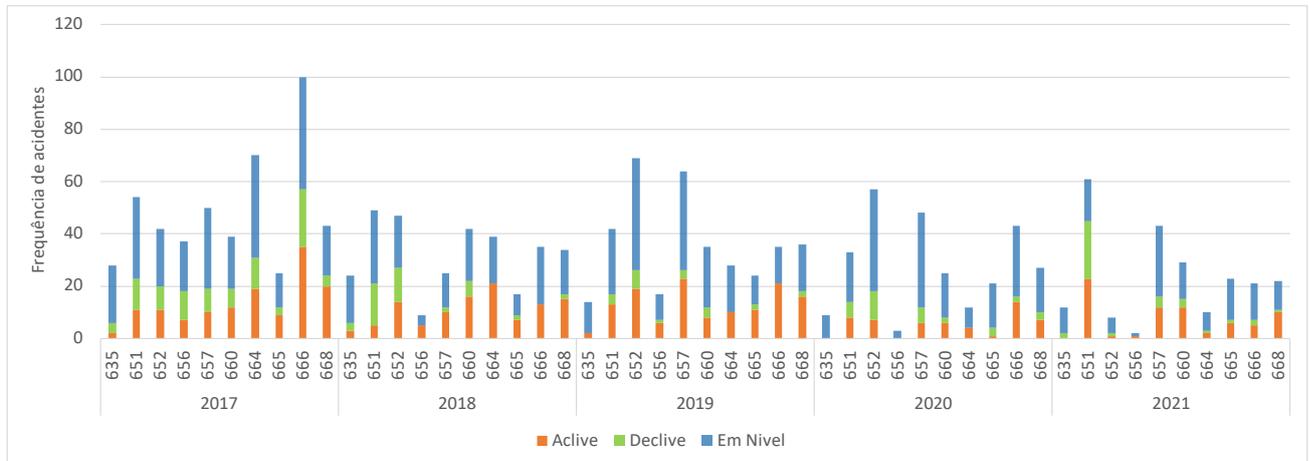
Figura 77 - Frequência de acidentes segundo o traçado da pista- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



Fonte: autoria própria

Na Figura 78 apresenta-se a frequência de acidentes segundo o perfil da pista. Nota-se que a maioria dos acidentes registrados nos quilômetros em questão ocorrem em trechos “em nível”. Ressalta-se o quilômetro 666 em que 62,8% e 66,7% dos acidentes registrados em 2021 e 2020, respectivamente, ocorreram em trechos “em nível”. Por sua vez, em 2019 essa porcentagem era de 40%. No quilômetro 561, em torno de 60% dos acidentes registrados, no período de 2017 a 2020, ocorreram em trechos “em nível”. Já em 2021 os acidentes ocorreram principalmente em trechos em aclave (37,1%) e declive (36,1%). Finalmente, em média, 60% dos acidentes registrados por ano no quilômetro 567 ocorreram principalmente em trechos “em nível”.

Figura 78 - Frequência de acidentes segundo o perfil da pista- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



Fonte: autoria própria

Na Tabela 12 apresenta-se a frequência de usuários ileso e vítimas dos acidentes registrados nos 10 quilômetros com maior criticidade na via BR-376 sentido norte. Ressalta-se que o maior número de usuários ileso ocorreu nos quilômetros 651,652, 657 e 666, em média. Nos cinco anos considerados houve, respectivamente 72, 69, 64 e 63 usuários ileso. Com relação às vítimas, destacam-se os quilômetros 651 e 652, nos quais registram-se, em média, 7 vítimas (leves, moderadas ou fatais) por ano.

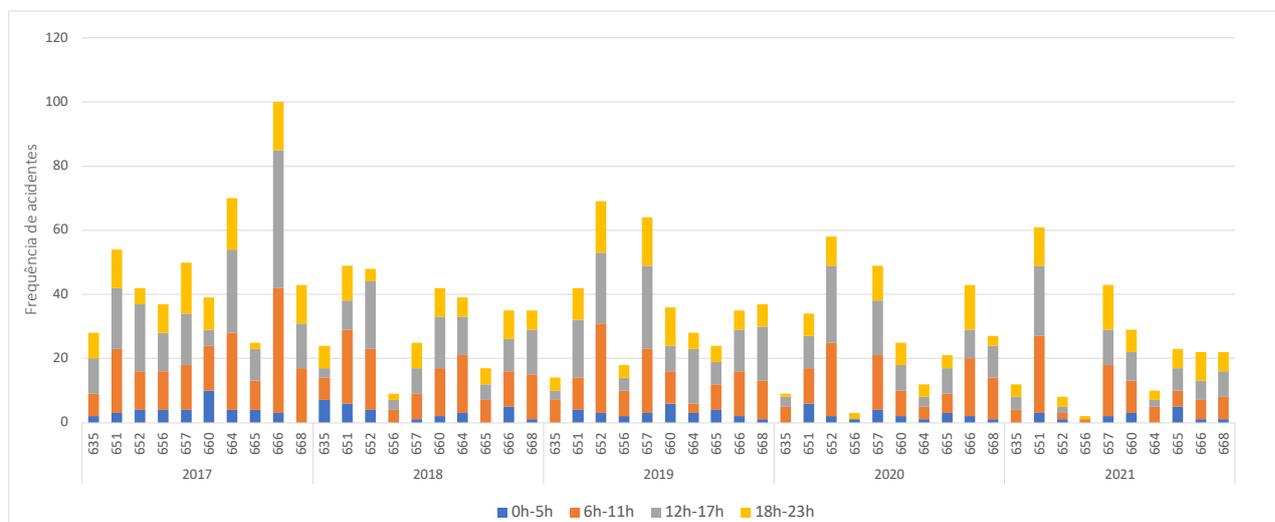
Tabela 12 - Ilesos e vítimas na pista- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.

		km									
	Ano	635	651	652	656	657	660	664	665	666	668
Ilesos	2017	59	80	84	64	72	57	90	33	142	65
	2018	46	65	70	11	37	52	50	19	42	55
	2019	29	77	89	25	83	57	32	37	37	44
	2020	20	42	93	5	64	30	17	30	68	39
	2021	23	96	9	2	63	35	20	41	27	39
Vítimas leves	2017	1	10	5	11	2	6	10	2	5	1
	2018	1	7	2	2	4	3	2	0	3	3
	2019	0	5	11	1	3	3	2	1	3	1
	2020	0	3	7	1	3	3	0	1	0	0
	2021	1	9	6	0	5	5	1	4	7	2
Vítimas moderadas	2017	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0
	2018	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0
	2019	0	0	2	0	1	0	0	1	2	0
	2020	0	0	3	0	1	0	1	1	1	1
	2021	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Vítimas Graves ou Fatais	2017	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0
	2018	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	2019	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: autoria própria

Finalmente, na Figura 79 apresenta-se a frequência de acidentes segundo o horário da ocorrência. Nota-se que, majoritariamente, os acidentes acontecem no período das 6h às 17h. Para esta análise considerou-se o VDM (volume diário médio) por hora.

Figura 79 - Frequência de acidentes segundo o horário- BR-376 sentido norte - 2017 a 2021.



Fonte: autoria própria

7.3.1. Atualização da análise estatística de acidentes após as alterações no pavimento e na sinalização

7.3.1.1. Primeira análise até julho de 2022

As soluções adotadas para a melhoria da segurança viária foram alterações na superfície do pavimento e na sinalização dos trechos experimentais. A primeira atualização das análises compreendeu o período de 2017 a julho de 2022. Nesta primeira análise consideram-se os primeiros sete meses de cada ano para poder avaliar o efeito das alterações no pavimento realizadas neste trecho no mês de janeiro de 2022, os resultados são apresentados a seguir.

7.3.1.1.1. Alterações na superfície do pavimento

Na Tabela 13 apresenta-se o número de acidentes registrados no trecho experimental 1 (referente às alterações na superfície do pavimento): 666km+650m a 665km+700m durante o período de 2017 a 2022.

Tabela 13 - Frequência de acidentes no trecho experimental 1

Ano	Pista	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
2017	Molhada	8	3	5	7	16	3	5
	Seca	7	1	4	3	2	0	1
	Total	15	4	9	10	18	3	6
2018	Molhada	2	2	2	1	0	0	0
	Seca	2	2	2	0	1	0	3
	Total	4	4	4	1	1	0	3
2019	Molhada	0	1	0	2	0	0	0
	Seca	0	1	1	1	0	0	2
	Total	0	2	1	3	0	0	2
2020	Molhada	7	7	1	1	0	1	1
	Seca	5	0	1	0	0	0	2
	Total	12	7	2	1	0	1	3
2021	Molhada	4	1	0	0	0	1	0
	Seca	0	0	1	1	0	2	0
	Total	4	1	1	1	0	3	0
2022	Molhada	1	0	0	0	0	1	0
	Seca	1	1	0	0	0	2	0
	Total	2	1	0	0	0	3	0

Fonte: autoria própria

É possível verificar que durante o primeiro trimestre após as intervenções (fevereiro a abril de 2022), o número de acidentes diminuiu 66,7% e 90,0% em relação aos anos de 2021 e 2020, respectivamente. Nesse trimestre de 2022, a diminuição foi maior na condição de pista molhada, uma vez que não se registraram acidentes nessa condição, já em 2021 e 2020 registraram-se 1 e 7 acidentes, respectivamente, em condição de pista molhada. Vale destacar que nesse trimestre de 2022 ocorreu um único acidente em condição de pista seca e, segundo o relato das pessoas envolvidas, foi ocasionado por congestionamento. No segundo trimestre após as intervenções, isto é, de maio a julho de 2022 totalizaram-se 3 acidentes (1 em condição de pista molhada e 2 em condição de pista seca) sendo que o agente responsável pelo registro da ocorrência constatou que as causas prováveis dos

acidentes em pista seca foram “dormir ao volante” e “desrespeito à sinalização”. O acidente em condição de pista molhada teve como causa provável a “perda do controle do motorista”. Em 2021, dois dos três acidentes registrados nesse mesmo período ocorreram, segundo o relatório de acidentes, devido à “perda de controle do motorista”.

Por fim, salienta-se que um semestre antes das intervenções (entre julho/2021 a dezembro/2021) foram registrados 8 acidentes (todos em condição de pista molhada), e após as alterações na superfície do pavimento, no período entre fevereiro/2022 a julho/2022, foram totalizados 4 acidentes (1 em condição de pista molhada, 3 em condição de pista seca) representando uma diminuição de 87,5% de acidentes na condição de pista molhada. Dos acidentes registrados no período de fevereiro/2022 a julho/2022, três acidentes tiveram apenas danos materiais, 50% ocorreram por “saída de pista” ou “choque” e 50% por “colisão traseira”. A condição de visibilidade era boa nos dias em que aconteceram os acidentes em pista seca e parcial quando a condição era de pista molhada. Desses acidentes, uma vítima foi apontada. As possíveis causas desses 4 acidentes registrados entre fevereiro/2022 a julho/2022 foram: “congestionamento”, “dormir ao volante”, “perda de controle” (acidente em pista molhada) e “desrespeito à sinalização”.

Para considerar o volume total de veículos que trafegaram na via no dia das ocorrências, analisou-se a taxa de acidentes por 100.000 veículos, na qual cada acidente registrado é ponderado pelo volume diário de veículos que trafegaram no dia do acidente. Na Tabela 14 apresenta-se a taxa de acidentes por 100.000 registrados no trecho experimental 1.

Tabela 14 - Taxa de acidentes por 100.000 veículos no trecho experimental 1

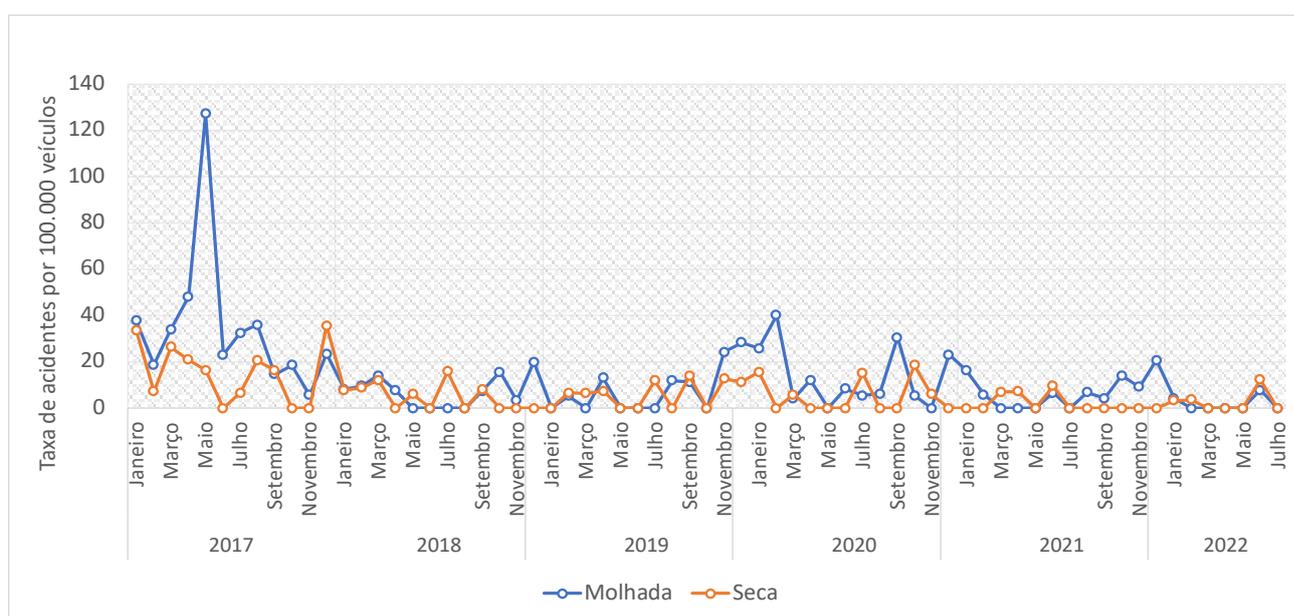
Ano	Pista	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
2017	Molhada	37,88	18,76	34,03	48,14	126,92	23,19	32,59
	Seca	33,66	7,35	26,55	21,06	16,58	0,00	6,74
	Total	71,55	26,12	60,58	69,20	143,50	23,19	39,33
2018	Molhada	8,26	9,57	14,11	7,76	0,00	0,00	0,00
	Seca	7,93	8,91	12,13	0,00	6,09	0,00	15,98
	Total	16,18	18,48	26,24	7,76	6,09	0,00	15,98
2019	Molhada	0,00	5,36	0,00	13,26	0,00	0,00	0,00
	Seca	0,00	6,73	6,46	7,51	0,00	0,00	12,09
	Total	0,00	12,09	6,46	20,78	0,00	0,00	12,09
2020	Molhada	25,97	40,20	4,24	12,14	0,00	8,56	5,50
	Seca	15,76	0,00	6,02	0,00	0,00	0,00	15,07
	Total	41,73	40,20	10,26	12,14	0,00	8,56	20,58
2021	Molhada	16,46	5,95	0,00	0,00	0,00	6,81	0,00
	Seca	0,00	0,00	7,05	7,35	0,00	9,66	0,00
	Total	16,46	5,95	7,05	7,35	0,00	16,48	0,00
2022	Molhada	4,33	0,00	0,00	0,00	0,00	7,97	0,00
	Seca	3,40	3,78	0,00	0,00	0,00	12,46	0,00
	Total	7,73	3,78	0,00	0,00	0,00	20,42	0,00

Fonte: autoria própria

As análises realizadas permitem observar uma diminuição total de 85,6% na taxa de acidentes na condição de pista molhada no primeiro semestre após as intervenções (fevereiro/2022 a julho/2022) quando comparado com o semestre imediatamente anterior (julho/2021 a dezembro/2021). É importante enfatizar que no semestre anterior à implementação das intervenções na superfície do pavimento, não houve acidentes em condição de pista seca. Por sua vez, no semestre posterior às alterações ocorreram dois acidentes nessas condições, um no mês de fevereiro e outro em julho de 2022.

A Figura 80 ilustra o gráfico da taxa de acidentes por mês durante os últimos 6 anos de acordo com a condição da pista (seca ou molhada). Observa-se que a taxa de acidentes na condição de pista molhada nos primeiros 4 meses após as intervenções (fevereiro/2022 a maio/2022) zerou – não houve acidentes; no mês de junho a taxa de acidentes por 100.000 veículos foi de 7,96 nessas condições (ocorreu 1 acidente), por fim, no mês de julho novamente a taxa de acidentes zerou em condição de pista seca e molhada

Figura 80 - Taxa de acidentes por 100.000 veículos no trecho experimental 1



Fonte: autoria própria

7.3.1.1.2. Alterações na sinalização

As alterações na sinalização da via foram realizadas no trecho experimental 2, compreendido entre os quilômetros 667 e 650.

A Tabela 15 apresenta a taxa de acidentes por 100.000 veículos registrada no trecho experimental 2 durante os últimos 6 anos, de acordo com a condição da pista. Destaca-se o mês de fevereiro de 2022, onde nos primeiros dias foram implementadas as novas sinalizações. Nesse mês registrou-se uma diminuição da taxa de acidentes de 66,3% em relação ao mês de fevereiro do ano anterior e de 75,9% em relação a todo o ano de 2021. Em março de 2022 houve um aumento na taxa de acidentes,

comparado ao mesmo mês dos anos anteriores, principalmente em condição de pista molhada. Foram registrados 32 acidentes nessa condição, sendo os tipos mais frequentes os “choques” e “saídas de pista” (62,5%), e as causas prováveis mais comuns (atribuídas pelo agente responsável pelo registro da ocorrência) a “perda de controle” e a “imperícia” (53,1%). Nos meses de abril/2022 e junho/2022 houve nova e significativa diminuição média da taxa de acidentes de aproximadamente 20,0% em relação aos mesmos meses do ano anterior. Em julho, houve aumento da taxa de acidentes, quando comparada ao mesmo mês de 2021, e diminuição quando comparada ao mesmo mês dos anos de 2017 a 2020. Ocorreram 16 acidentes (9 em condição de pista molhada), sendo 62,5% deles dos tipos “choque” e “saída de pista”.

Tabela 15 -Taxa de acidentes por 100.000 veículos no trecho experimental 2

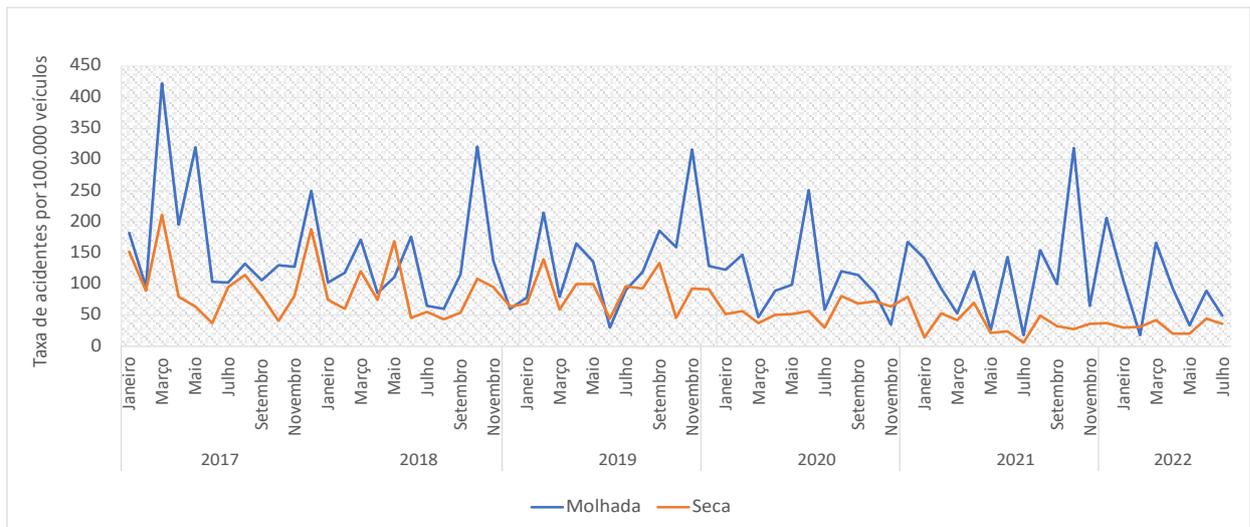
Ano	Condição	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017	Molhada	182,6	95,0	422,2	195,6	319,6	103,2	102,4	132,5	106,4	129,9	127,7	249,8
	Seca	152,0	88,7	210,7	79,8	64,2	37,8	95,3	114,9	80,7	40,7	80,4	187,7
	Total	334,6	183,7	632,9	275,4	383,8	141,0	197,7	247,4	187,1	170,6	208,1	437,5
2018	Molhada	102,1	118,3	171,4	85,7	110,3	175,6	65,4	60,2	115,6	321,4	138,0	59,7
	Seca	75,1	60,6	120,8	75,2	169,1	45,2	55,7	42,8	53,8	108,8	94,9	63,5
	Total	177,3	179,0	292,1	160,9	279,4	220,8	121,1	103,0	169,4	430,2	232,9	123,3
2019	Molhada	78,8	214,6	79,1	164,9	136,1	30,5	89,9	119,5	185,8	158,7	316,7	129,3
	Seca	68,3	140,4	58,6	99,7	100,2	44,9	96,3	92,9	134,3	45,3	92,7	91,5
	Total	147,1	355,1	137,7	264,6	236,3	75,4	186,2	212,4	320,1	204,0	409,4	220,8
2020	Molhada	123,1	146,9	47,1	88,8	98,9	250,6	59,4	121,1	114,3	85,0	34,8	167,2
	Seca	51,8	56,4	36,8	50,3	51,4	56,4	30,2	80,4	69,1	72,4	64,0	79,1
	Total	174,9	203,3	83,9	139,1	150,3	306,9	89,6	201,5	183,3	157,4	98,8	246,3
2021	Molhada	141,0	92,3	52,7	120,1	25,9	143,8	17,5	154,7	100,0	319,0	64,6	206,8
	Seca	14,8	53,2	42,3	69,3	21,8	23,5	5,8	49,4	31,8	27,9	35,4	37,4
	Total	155,8	145,5	95,0	189,4	47,7	167,3	23,3	204,2	131,8	346,8	100,0	244,2
2022	Molhada	106,3	17,5	166,3	93,3	33,2	89,3	49,3	-	-	-	-	-
	Seca	30,4	31,5	41,9	20,2	19,9	44,8	36,4	-	-	-	-	-
	Total	136,7	49,1	208,2	113,5	53,1	134,0	85,7	-	-	-	-	-

Fonte: autoria própria

A Figura 81 ilustra o gráfico da taxa de acidentes por 100.000 veículos entre os anos de 2017 a 2022 no trecho experimental 2 de acordo com a condição da pista (seca ou molhada). Para avaliar o efeito das novas sinalizações implementadas considerou-se dois períodos (antes e depois), o primeiro de

setembro de 2021 a janeiro de 2022 e o segundo de março de 2022 a julho de 2022. No período antes das intervenções registrou-se uma taxa total de acidentes de 162,92 e no período posterior 163,1. Porém, na condição de pista molhada observa-se uma diminuição, significativa, de 45,8% quando comparados os dois períodos.

Figura 81 - Taxa de acidentes por 100.000 veículos no trecho experimental 2



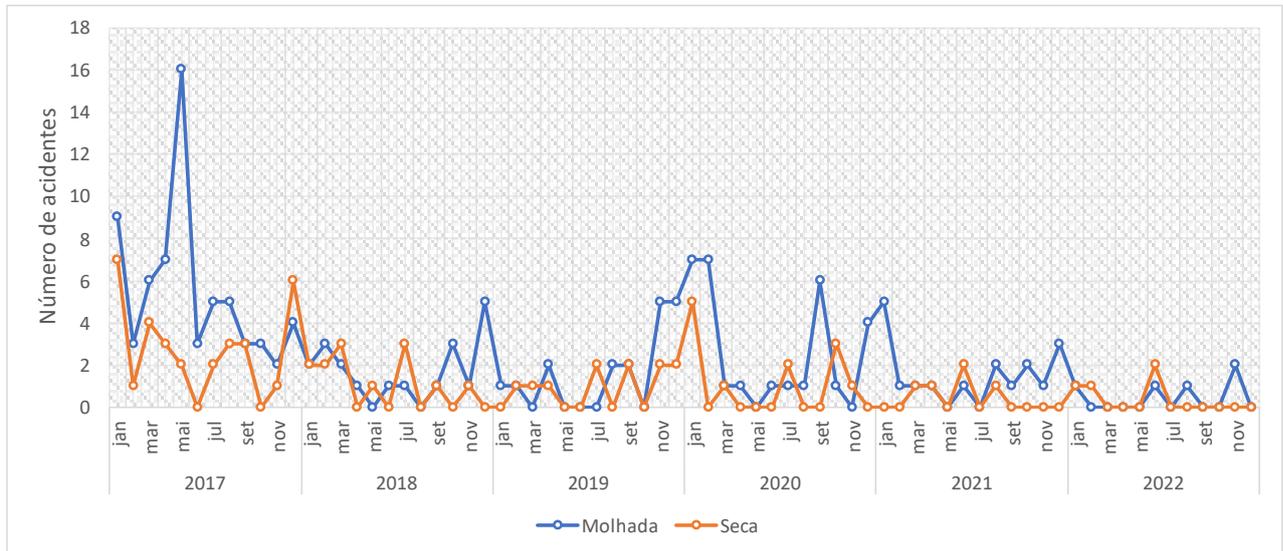
Fonte: autoria própria

7.3.1.2. Análise Final até dezembro de 2022

7.3.1.2.1. Alterações na superfície do pavimento

Na Figura 82 apresenta-se, segundo a condição da pista, seca ou molhada, o número de acidentes registrados no Trecho 1 (666km+650 a 665km+700) entre janeiro de 2017 e dezembro de 2022. Destaca-se que as alterações no pavimento foram realizadas em-janeiro de 2022.

Figura 82 - Número de acidentes no trecho com alterações na superfície do pavimento.



Fonte: autoria própria

Observa-se um maior número de acidentes na presença de pista molhada ao longo do período de estudo. No ano de 2021 totalizaram-se 18 acidentes em pista molhada, já em 2022 registram-se 5 acidentes nesta condição. Ressalta-se que no último semestre de 2022 ocorreram no total 3 acidentes (todos em pista molhada), já nos últimos semestres dos anos 2021 e 2022 registram-se, respectivamente, 10 acidentes (9 em pista molhada) e 19 acidentes (13 em pista molhada).

O número de acidentes registrados no Trecho 1, agrupados por trimestre, são apresentados na Tabela 16. Nota-se que no último ano há uma diminuição de acidentes de 60,9% em relação ao ano de 2021 e de 78,6% em relação ao ano de 2020. Salienta-se que em 2022 foi ano em que foi registrado o menor número de acidentes neste trecho.

Tabela 16 - Número de acidentes por trimestre no trecho com alterações no pavimento

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	30	31	21	16	98
2018	14	3	6	10	33
2019	4	3	8	14	29
2020	21	2	10	9	42
2021	8	5	4	6	23
2022	3	3	1	2	9
Total	80	47	50	57	234

Fonte: autoria própria

Na Tabela 17 apresenta-se o Volume Diário Médio de veículos (VDM) que trafegaram no trecho 1.

Tabela 17 - Volume diário médio de veículos que trafegaram por semestre no trecho 1.

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	18416,66	13844,41	15026,89	15867,63	15779,83
2018	18983,49	13468,30	15199,79	16404,15	16004,64
2019	19869,17	14391,34	15270,10	17402,03	16722,39
2020	19323,41	11285,59	14745,05	18096,36	15865,65
2021	18871,02	15073,32	16529,47	13907,43	16082,90
2022	20837,91	15802,73	16813,71	14625,93	17002,49

Fonte: autoria própria

Verifica-se que o volume diário médio de veículos no ano de 2022, em todos os trimestres, foi sempre maior quando comparado com o ano de 2021. Assim, pode-se considerar que, segundo as análises anteriores, houve de fato houve uma diminuição de acidentes em 2022 neste trecho. Para analisar com maior detalhe a influência do volume de veículos no número de acidentes a taxa de acidentes por 100 mil veículos será estudada nas seguintes seções.

Na Tabela 18 apresenta-se, segundo a condição da pista, o número de acidentes registrados no Trecho 1. Nota-se que durante os três últimos trimestres após as intervenções, isto é, de abril a dezembro de 2022, o número de acidentes diminuiu 60,0% e 71,4% em relação ao mesmo período dos anos de 2021 e 2020, respectivamente.

Tabela 18 - Número de acidentes por trimestre no trecho com alterações no pavimento segundo a condição da pista

Ano	Condição da pista	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	Molhada	18	26	13	9	66
	Seca	12	5	8	7	32
	Total	30	31	21	16	98
2018	Molhada	7	2	2	9	20
	Seca	7	1	4	1	13
	Total	14	3	6	10	33
2019	Molhada	2	2	4	10	18
	Seca	2	1	4	4	11
	Total	4	3	8	14	29
2020	Molhada	15	2	8	5	30
	Seca	6	0	2	4	12
	Total	21	2	10	9	42
2021	Molhada	7	2	3	6	18
	Seca	1	3	1	0	5
	Total	8	5	4	6	23
2022	Molhada	1	1	1	2	5
	Seca	2	2	0	0	4
	Total	3	3	1	2	9

Fonte: autoria própria

Nota-se também que a diminuição de acidentes após as intervenções foi maior na presença de pista molhada. Nesta condição, considerando todo o ano de 2022, houve uma diminuição de acidentes de 72,2% e 83,3% quando comparado com 2021 e 2020, respectivamente. Por fim, vale ressaltar a

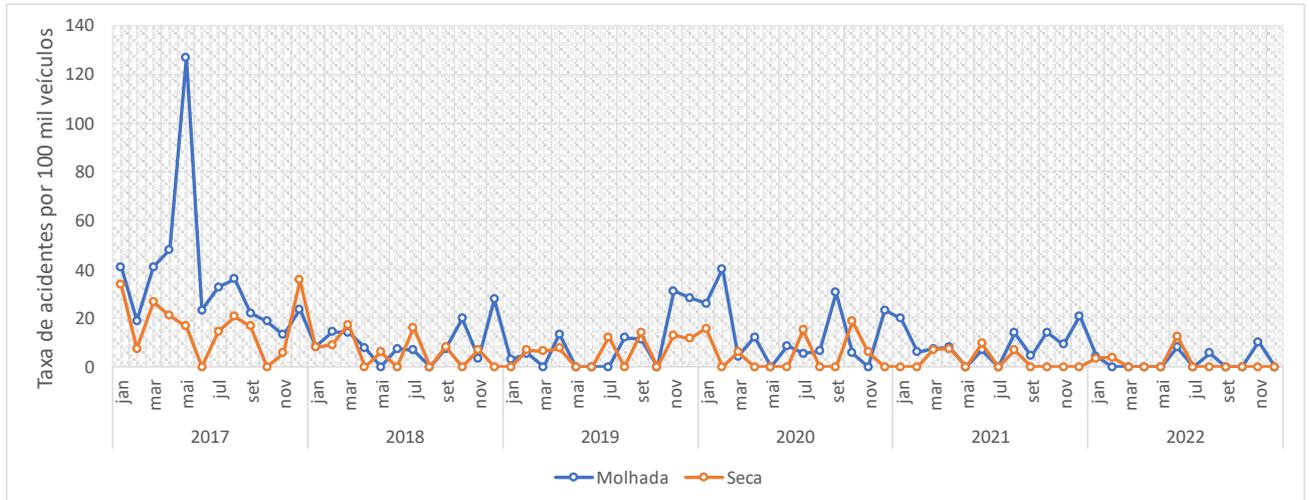
diminuição de acidentes em pista seca nos últimos anos. Nos últimos dois anos (2022 e 2021) registram-se na presença de pista seca no total 9 acidentes, já em 2020 e 2019 foram registrados, respectivamente, 12 e 11 acidentes. Enfatiza-se que após as intervenções nos últimos 6 meses de 2022 não se registram acidentes em pista seca.

Vale destacar que 60% dos acidentes que aconteceram na presença de pista molhada em 2022 tiveram danos materiais sem vítima, já nos outros 40% registram-se vítimas. Os acidentes registrados em pista molhada decorreram de choques (2 acidentes, causa provável: imperícia), capotamento (1 acidente, causa provável: descuido do motorista), queda de moto (1 acidente, causa provável: descuido do motorista) e saída da pista (1 acidente, causa provável: não definida). Com relação aos acidentes em pista seca, 3 dos 4 acidentes tiveram danos materiais sem vítimas. Os acidentes ocorreram por colisão traseira, choque e saída da pista. As possíveis causas desses 4 acidentes registrados foram: congestionamento, dormir no volante, desrespeito à sinalização e animal na pista.

Por fim, vale ressaltar que um ano antes das intervenções (2021) foram registrados 23 acidentes. Em pista molhada, registraram-se 18 sendo que 72,2% desses acidentes ocorreram por saída de pista ou choques, por outra parte, 60% dos acidentes ocorridos em pista seca foram decorrentes de saída de pista ou choques. Em 2020, foram registrados 30 acidentes em pista molhada sendo que 60% foram por saída de pista e 33,3% por choques. Já os acidentes em pista seca 66,6% (8 acidentes) ocorreram por saída de pista ou choques. Dos 9 acidentes 3 deles apontaram vítimas leves ou moderadas. A condição de visibilidade era boa nos dias em que aconteceram os acidentes em pista seca e em 2 dos 5 acidentes registrados em pista molhada a visibilidade era boa.

Para considerar o volume total de veículos que trafegaram no dia das ocorrências é analisada a Taxa de acidentes por 100.000 veículos na qual cada acidente registrado é ponderado pelo volume de veículos que transitaram no dia do acidente. Na Figura 83 apresenta-se a Taxa de acidentes por 100.000 registrados no Trecho 1.

Figura 83 - Taxa de acidentes no trecho com alterações na superfície do pavimento.



Fonte: autoria própria

Nota-se que a taxa de acidentes na presença de pista molhada foi zero em oito dos meses de 2022, sendo que no último semestre de 2022 registram-se acidentes somente nos meses de agosto e novembro, cujas taxas foram, respectivamente, 5,64 e 10,12. Já na presença de pista seca no último semestre de 2022 não se registraram acidentes.

Tabela 19 - Taxa de acidentes por 100 mil veículos por trimestre no trecho com alterações no pavimento segundo a condição da pista

Ano	Condição da pista	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	Molhada	100,67	198,25	90,47	55,25	444,63
	Seca	67,57	37,65	51,73	41,27	198,22
	Total	168,24	235,89	142,20	96,52	642,85
2018	Molhada	36,72	15,07	14,22	51,01	117,01
	Seca	34,03	6,09	24,20	6,97	71,29
	Total	70,75	21,16	38,42	57,98	188,30
2019	Molhada	8,32	13,26	23,26	59,40	104,24
	Seca	13,19	7,51	26,08	24,33	71,11
	Total	21,50	20,78	49,34	83,73	175,35
2020	Molhada	70,41	20,70	42,47	28,76	162,33
	Seca	21,78	0,00	15,07	24,63	61,48
	Total	92,19	20,70	57,54	53,39	223,81
2021	Molhada	33,25	14,74	18,31	44,12	110,42
	Seca	7,05	17,01	6,79	0,00	30,85
	Total	40,30	31,76	25,10	44,12	141,28
2022	Molhada	4,33	7,97	5,64	10,12	28,06
	Seca	7,18	12,46	0,00	0,00	19,64
	Total	11,51	20,42	5,64	10,12	47,70

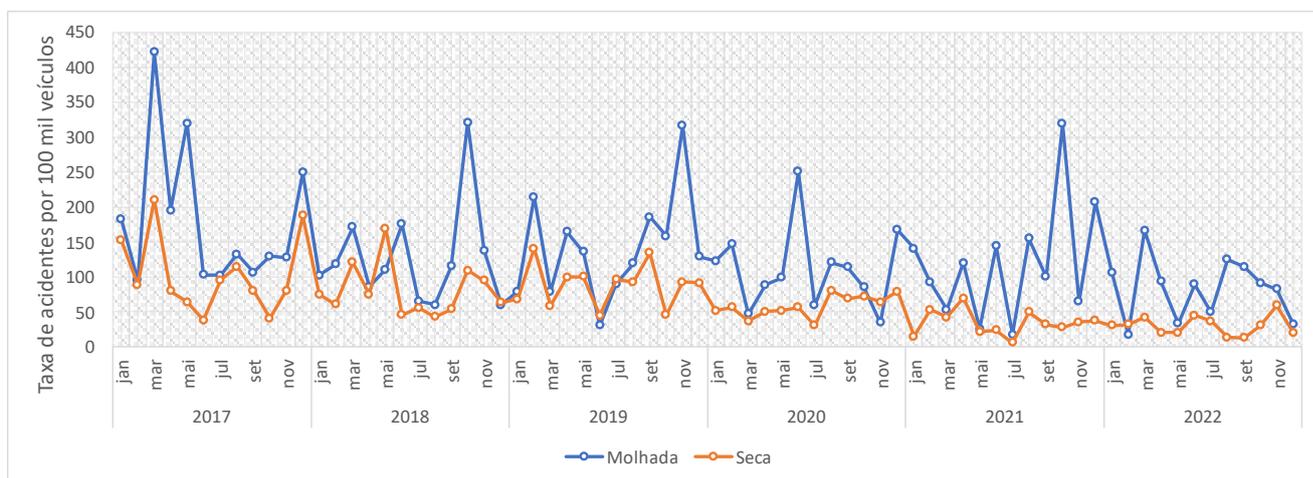
Fonte: autoria própria

Observa-se na Tabela 19 uma diminuição total de 74,6% na taxa de acidentes, na presença de pista molhada, no ano de 2022 quando comparado com o 2021. As diminuições em pista molhada no 4º trimestre de 2022 foram, respectivamente, 87,0%, 46,0%, 69,2% e 77,1%. Vale destacar que a taxa de acidentes, durante todos os trimestres após as intervenções, diminuiu quando comparados com os respectivos trimestres dos 5 anos anteriores. Por fim, no total, em 2022 a taxa de acidentes diminuiu 66,2% quando comparado com o ano anterior.

7.3.1.2.2. Alterações na sinalização

Na Figura 84 apresentam-se a Taxa de acidentes por 100.000 veículos registrada no trecho 2 durante os últimos 6 anos segundo a condição da pista. Ressalta-se que nos primeiros dias de fevereiro de 2022 foram implementadas as novas sinalizações. Observa-se que neste trecho, maioritariamente, os acidentes são registrados na presença de pista molhada. Por fim, nota-se uma tendência decrescente na taxa de acidentes na presença de pista molhada desde agosto de 2022, por outra parte, em todo o ano de 2022 a taxa de acidentes em pista seca manteve-se com valores menores que 60 como observado no segundo semestre de 2021.

Figura 84 - Taxa de acidentes no trecho com alterações na sinalização



Fonte: autoria própria

Os acidentes registrados no trecho 2, agrupados por trimestre, são apresentados na Tabela 20. Nota-se uma diminuição de acidentes de 22,4%, 49,0%, no segundo e quarto trimestre de 2022, respectivamente, quando comparados com a frequência de acidentes registrados no ano anterior. Já no terceiro semestre não se observa um aumento significativo (menos de 2%) de acidentes no ano de 2022 em relação ao ano de 2021. Por fim, vale destacar que em 2022 registrou-se o menor número de acidentes no quarto trimestre.

Tabela 20 - Número de acidentes por trimestre no trecho com alterações na sinalização

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	198	105	91	132	526
2018	122	80	57	128	387
2019	121	87	111	139	458
2020	105	69	74	92	340
2021	77	58	60	96	291
2022	80	45	61	49	235
Total	703	444	454	636	2237

Fonte: autoria própria

Na Tabela 21 apresenta-se a Taxa de acidentes por 100.000 veículos registrada no trecho 2 durante os últimos 6 anos segundo a condição da pista. Destaca-se a diminuição de 65,1% da taxa de acidentes, em pista molhada, no 4º trimestre de 2022 em relação ao mesmo trimestre do ano de 2021. Vale salientar que, em outubro e dezembro de 2022, a taxa diminuiu 71,3% e 84,2%, em relação a 2021, respectivamente. Por fim, a menor taxa de acidentes foi registrada no mês de fevereiro em que a taxa de acidentes registrada foi de 17,54, já em fevereiro de 2021 a taxa de acidentes foi de 92,3, registrando-se uma diminuição de aproximadamente 80,9%.

Tabela 21 - Taxa de acidentes por trimestre no trecho com alterações de sinalização segundo a condição da pista

Ano	Condição da pista	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	Molhada	699,84	618,38	341,25	507,37	2166,85
	Seca	451,34	181,78	291,01	308,84	1232,96
	Total	1151,19	800,16	632,25	816,21	3399,81
2018	Molhada	391,83	371,62	241,16	519,17	1523,78
	Seca	256,51	289,43	152,35	267,22	965,51
	Total	648,34	661,06	393,51	786,39	2489,30
2019	Molhada	372,61	331,51	395,19	604,71	1704,01
	Seca	267,32	244,85	323,41	229,51	1065,09
	Total	639,93	576,35	718,59	834,22	2769,09
2020	Molhada	317,08	438,27	294,77	286,87	1336,99
	Seca	145,03	158,02	179,67	215,59	698,30
	Total	462,10	596,29	474,44	502,46	2035,29
2021	Molhada	285,99	289,82	272,23	590,37	1438,40
	Seca	110,33	114,65	87,06	100,69	412,73
	Total	396,32	404,48	359,28	691,06	1851,14
2022	Molhada	290,14	215,74	288,93	206,31	1001,12
	Seca	103,83	84,88	62,77	109,85	361,34
	Total	393,97	300,62	351,71	316,17	1362,46

Fonte: autoria própria

Por fim, ressalta-se que 55,3% dos acidentes registrados em 2022 no trecho 2 foram decorrentes de choques, 10,2% por saída de pista e 20% por colisão lateral ou traseira. Observa-se também que 37 acidentes dos 235 registrados em 2022 tiveram vítimas leves ou moderadas e 2 com vítimas fatais. Finalmente, analisando as possíveis causas dos acidentes encontra-se que 78,7% dos acidentes ocorreram por descuido do motorista (37,4%) e imperícia (41,2%).

8. IMPLANTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ESCOLHIDAS

Nesta etapa, foi prevista a implantação das alternativas que foram escolhidas com o intuito de se buscar uma redução da quantidade e criticidade de acidentes em trechos específicos, delimitados através de análise estatística de dados históricos dos acidentes.

Idealizou-se a implantação de um segmento experimental de pavimento, com o intuito de se melhorar as condições de atrito disponível, bem como a implantação de novos elementos de sinalização para melhor alertar os usuários quanto ao risco de ocorrência de acidentes.

8.1. Trecho experimental de pavimento

As análises estatísticas realizadas demonstraram que a melhoria de atrito, principalmente em condições de pavimento molhado, seria uma alternativa promissora para redução da quantidade de acidentes entre os quilômetros 665+482 e 666+232 da BR-376, sentido norte.

A alternativa escolhida para buscar a melhoria de atrito foi a aplicação de uma camada delgada de mistura asfáltica, de granulometria descontínua, com utilização de ligante asfáltico modificado por borracha (Gap-Graded 9,5mm AMB). Este tipo de mistura asfáltica consiste principalmente de agregados graúdos e miúdos, com apenas uma pequena porcentagem de agregados de tamanho intermediário, além de um teor de ligante asfáltico superior ao que se observa em misturas densas (ou bem graduadas). Como resultado, tem-se uma mistura asfáltica durável, com excelente contato entre agregados e conseqüentemente alta resistência à deformação permanente. Além disso, também apresenta boa uniformidade e bons valores de profundidade de macrotextura, o que é essencial para garantia de um bom atrito entre pneus e pavimento, principalmente em segmentos com geometria sinuosa e em condições climáticas adversas, com pavimento molhado.

8.1.1. Materiais

Os materiais para produção da mistura asfáltica foram escolhidos em função de sua qualidade, buscando garantir um desempenho adequado da solução frente ao elevado volume de tráfego no trecho em estudo.

8.1.1.1. Agregados

Os agregados utilizados são de origem granítica, provenientes da pedreira PLM, localizada em Tijucas/SC.

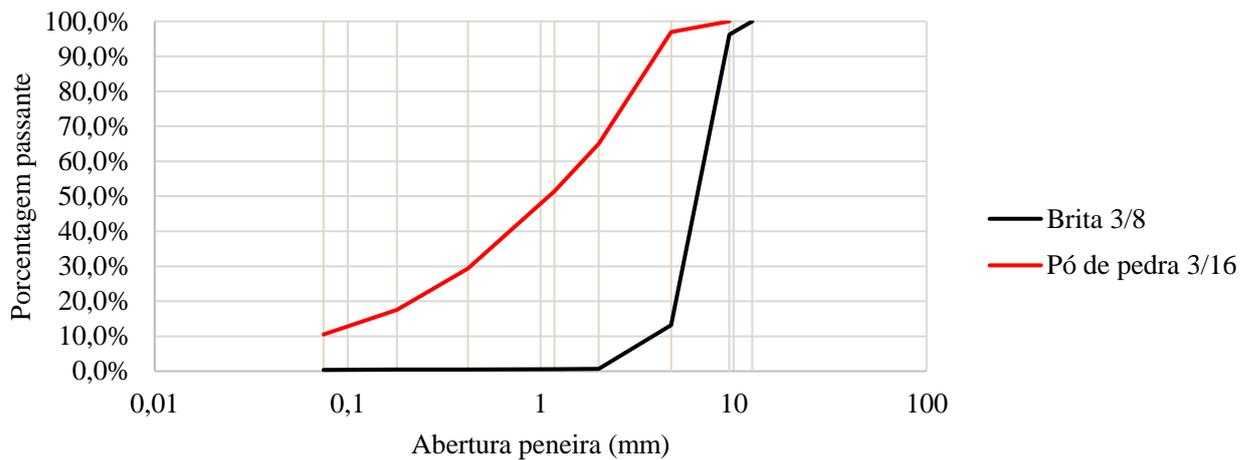
Os agregados foram avaliados para verificar se todas suas características se encontravam em conformidade com os requisitos de qualidade estabelecidos na especificação particular da Arteris para execução de camadas de concreto asfáltico (Arteris ES 027 – Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA). Ressalta-se que esta especificação particular estabelece parâmetros de qualidade para os materiais mais rigorosos do que a especificação vigente do DNIT para este tipo de serviço.

Nesta etapa, foram considerados os seguintes procedimentos:

- ABNT NBR 12052 - Solo ou agregado miúdo - Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
- AASHTO T-11 - Standard Method of Test for Materials Finer Than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing (Análise granulométrica de agregados passantes na peneira 75 μm (n°. 200), por lavagem);
- AASHTO T-27 - Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (Análise granulométrica de agregados miúdos e graúdos);
- AASHTO T-330 - Standard Method of Test for The Qualitative Detection of Harmful Clays of the Smectite Group in Aggregates Using Methylene Blue (Detecção qualitativa de argilas prejudiciais do grupo esmectita em agregados utilizando azul de metileno);
- AASHTO T-84 - Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate (Massa específica e absorção de agregados finos);
- AASHTO T-85 - Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate (Massa específica e absorção de agregados graúdos).

A figura 85 apresenta a curva granulométrica obtida para cada agregado escolhido para compor a mistura asfáltica.

Figura 85 – Curva granulométrica obtida para os agregados individuais



Fonte: autoria própria

A figura 86 ilustra a realização dos demais ensaios descritos anteriormente, e a tabela 22 apresenta os resultados obtidos. Cabe salientar que os ensaios prescritos nos métodos ABNT NBR 12052 e AASHTO T-330 foram realizados considerando a composição granulométrica estabelecida durante o desenvolvimento do projeto de dosagem, que será discutido adiante.

Figura 86 – (a) e (b) – Execução de procedimentos necessários para determinação da massa específica dos agregados, (c) Execução do ensaio de equivalente de areia, (d) Resultado do ensaio de azul de metileno



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: autoria própria

Tabela 22 – Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados

Método de ensaio		Resultado		Limites
		Brita 3/8"	Pó de pedra 3/16"	
Massa específica real (Gsa)	AASHTO T-84 e T-85	2,647 g/cm ³	2,647 g/cm ³	-
Massa específica aparente (Gsb)	AASHTO T-84 e T-85	2,594 g/cm ³	2,615 g/cm ³	-
Absorção	AASHTO T-84 e T-85	0,8%	0,4%	-
Equivalente de Areia	ABNT NBR 12052	65,3%		> 60%
Azul de metileno	AASHTO T-330	3,0 mg/g		< 8,0 mg/g

Fonte: autoria própria

Nota-se que o material apresentou bons resultados nos ensaios de equivalente de areia e azul de metileno. Trata-se de uma evidência de que os agregados escolhidos se apresentam puros, sem contaminações por argila, o que poderia ser prejudicial ao desempenho da mistura asfáltica principalmente na presença de umidade.

8.1.1.2.Ligante asfáltico

O ligante asfáltico utilizado neste estudo foi fornecido pela CBB Asfaltos. Trata-se de um Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) modificado por pó de borracha de pneus, de classificação AB-08, de acordo com a resolução ANP nº 39, de 24.12.2008 - Reg. Técnico ANP nº 05/2008.

A caracterização do CAP utilizado para o desenvolvimento do projeto de dosagem foi realizada através da execução dos seguintes procedimentos:

- ABNT NBR 11341 - Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;

- ABNT NBR 15086 - Materiais betuminosos - Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro;
- ABNT NBR 15235 - Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
- ABNT NBR 15529 - Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional;
- ABNT NBR 6296 - Produtos betuminosos semissólidos - Determinação da massa específica e densidade relativa;
- ABNT NBR 6560 - Ligantes asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
- ABNT NBR 6576 - Materiais asfálticos - Determinação da penetração.

A figura 87 ilustra a realização dos ensaios descritos acima, e a tabela 23 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados na amostra de CAP destinada à execução do projeto de dosagem.

Figura 87 - Ensaios de caracterização do CAP: (a) Viscosidade rotacional, (b) Penetração, (c) Recuperação Elástica e (d) Ponto de Amolecimento



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: autoria própria

Tabela 23 – Resultados obtidos nos ensaios de caracterização do CAP utilizado na dosagem

Método de ensaio		Unidade	Resultados	Limites
Ponto de amolecimento	NBR 6560	°C	58,5	≥ 50
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm	NBR 6576	0,1mm	48	30 a 70
Recuperação Elástica, 10cm, 25°C	NBR 15086	%	69	≥ 50
Viscosidade Brookfield 175°C – Spindle 3, 20 rpm	NBR 15529	cP	1610	800 a 2000
Ponto de Fulgor	NBR 11341	°C	264	≥ 235
Massa específica a 25°C	NBR 6296	g/cm ³	1,010	-
Após Envelhecimento no RTFOT				
Variação de Massa	NBR 15235	%	0,38	-1,0 a 1,0
Variação do ponto de amolecimento	NBR 6560	°C	2,1	≤ 10
Porcentagem de recuperação elástica original, 10cm, 25°C	NBR 15086	%	103	≥ 100
Porcentagem de penetração original, 25°C	NBR 6576	%	57	≥ 55

Fonte: autoria própria

Pode-se inferir que o material utilizado para o projeto de dosagem atendeu a todos os requisitos de qualidade estipulados pela ANP.

8.1.2. Projeto de dosagem

Após a caracterização dos materiais e comprovação do atendimento aos requisitos mínimos de qualidade necessários, deu-se início à elaboração do projeto de dosagem.

O projeto de dosagem visa estabelecer uma combinação de CAP e agregados que garanta um equilíbrio entre todas as propriedades desejadas para o Concreto Asfáltico (impermeabilidade, estabilidade, rigidez, flexibilidade, resistência à fadiga, trabalhabilidade etc.). Para desenvolvimento do projeto de dosagem, são utilizados procedimentos laboratoriais específicos, que foram criados para este fim.

Neste estudo, foram seguidos os procedimentos descritos na especificação AASHTO T-312 - Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Asphalt Mixture Specimens by Means of the Superpave Gyrotory Compactor (Preparação e determinação da densidade de amostras de mistura asfáltica quente (MAQ) através do compactador giratório Superpave).

Inicialmente, definiu-se a proporção de cada um dos agregados para que houvesse o enquadramento da composição granulométrica nos limites estabelecidos para a faixa Gap-Graded 9,5mm na especificação Arteris ES 027 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente – CA.

Para o enquadramento dos materiais disponíveis na faixa especificada para este tipo de mistura, considerou-se uma proporção de 61,5% de Brita 3/8”, 37,0% de Pó de Pedra 3/16” e 1,5% de Cal CH-I. Cabe ressaltar que a incorporação da Cal CH-I na composição granulométrica teve por objetivo assegurar um bom desempenho da mistura asfáltica frente aos efeitos nocivos da água, reduzindo assim a probabilidade de surgimento de danos relativos à presença de umidade.

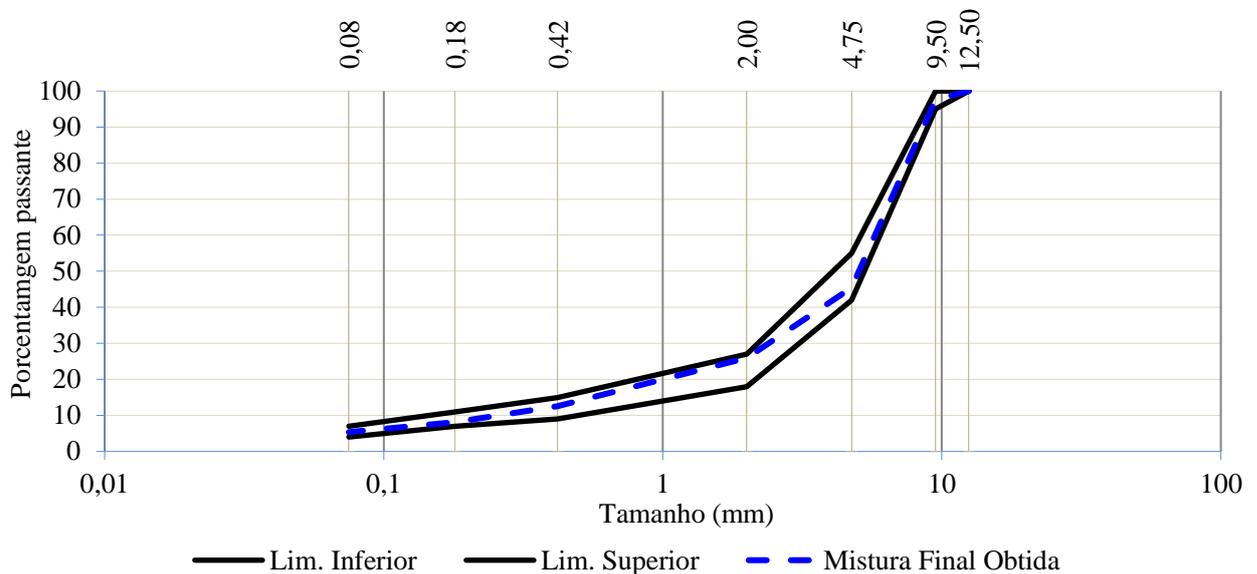
A tabela 24 e a figura 88 ilustram os resultados obtidos.

Tabela 24 – Composição granulométrica para enquadramento na faixa Gap-Graded 9,5mm

Peneiras		Brita 3/8”	Pó de pedra 3/16”	Cal CH-I	Mistura Obtida	Faixa especificada		Faixa de Trabalho (Tolerâncias em relação ao projeto)	
ASTM	mm					Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior
1/2”	12,5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3/8”	9,5	96,2%	100%	100%	97,7%	95%	100%	91%	100%
Nº 4	4,8	13,2%	96,9%	100%	45,5%	42%	55	40%	50%
Nº 10	2,0	0,7%	65,0%	100%	25,9%	18%	27%	21%	31%
Nº 40	0,42	0,5%	29,3%	94%	12,6%	9%	15%	8%	18%
Nº 80	0,18	0,5%	17,6	88%	8,1%	7%	11%	5%	11%
Nº 200	0,075	0,4%	10,5%	84%	5,4%	4%	7%	3%	7%

Fonte: autoria própria

Figura 88 – Curva granulométrica da mistura de agregados



Fonte: autoria própria

Após a definição das proporções de agregados, foi realizada a pesagem de 5 grupos compostos por 4 amostras de agregados combinados (de acordo com a composição definida), para confecção de corpos de prova.

Ao primeiro grupo foi adicionado um teor de CAP de 4,0% (em massa), e para cada grupo seguinte o teor de CAP foi aumentado em 0,5%. As misturas de agregados com CAP foram realizadas a 175°C, conforme recomendação do fornecedor do CAP.

Após a realização das misturas, foi realizado o condicionamento das amostras em estufa por 2 horas, na mesma temperatura. Este condicionamento é realizado com o intuito de possibilitar a absorção de CAP pelos agregados, simulando o período de transporte do material desde a sua produção em usina até o canteiro de obras.

Após concluído o processo de condicionamento, deu-se início à compactação dos corpos de prova no compactador giratório. Para cada grupo, foram moldados 3 corpos de prova considerando 125 giros, a uma velocidade de 30 giros por minuto, a um ângulo interno de 1,16° e a uma pressão de 600kPa. Finalizada a compactação, os corpos de prova foram extraídos dos moldes e resfriados à temperatura

ambiente. A quarta amostra de cada grupo foi separada para posterior verificação da máxima densidade das misturas.

A massa específica de cada corpo de prova foi verificada através de pesagem hidrostática, de acordo com o procedimento AASHTO T-166 - Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity (G_m) of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens (Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca), e a máxima densidade foi medida através do procedimento AASHTO T-209 - Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity (G_{mm}) and Density of Asphalt Mixtures (Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas para Pavimentação). A figura 89 ilustra a realização destes ensaios, e a tabela 25 apresenta os resultados obtidos.

Figura 89 – (a) Pesagem hidrostática para determinação da massa específica aparente (b) ensaio para verificação da máxima densidade da mistura solta.



(a)



(b)

Fonte: autoria própria

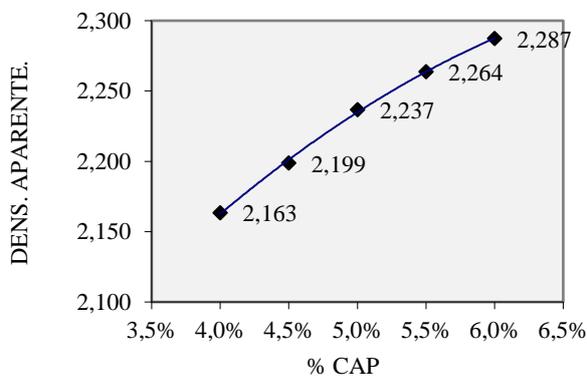
Tabela 25 – Resultados obtidos nos ensaios de verificação da massa específica aparente dos corpos de prova e da massa específica máxima das misturas

Corpo de prova	% de CAP	Massa específica aparente do CP (g/cm ³)	Massa específica máxima da mistura (g/cm ³)
1	4,0	2,160	2,470
2		2,152	
3		2,179	
4	4,5	2,196	2,453
5		2,202	
6		2,199	
7	5,0	2,237	2,436
8		2,242	
9		2,232	
10	5,5	2,282	2,417
11		2,246	
12		2,264	
13	6,0	2,278	2,400
14		2,296	
15		2,287	

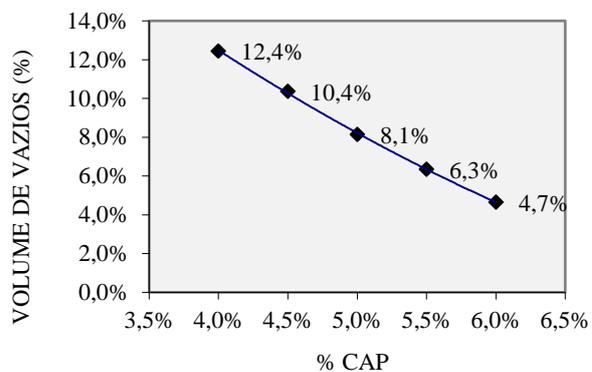
Fonte: autoria própria

Da posse desses dados, foi possível realizar os cálculos dos parâmetros volumétricos para cada grupo de corpos de prova, sendo estes parâmetros fundamentais para se definir o teor ótimo de CAP a ser utilizado. A figura 90 ilustra a evolução observada em cada parâmetro ao se alterar o teor de CAP.

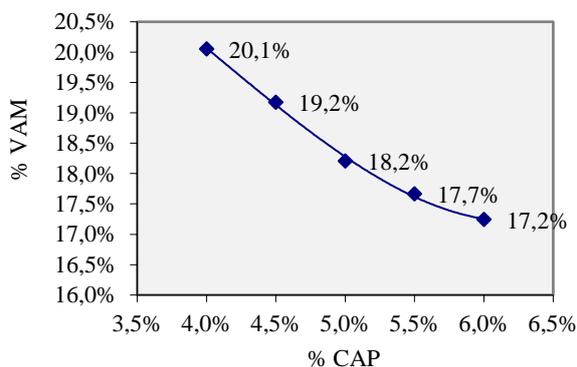
Figura 90 – Evolução dos parâmetros volumétricos pela alteração do teor de CAP



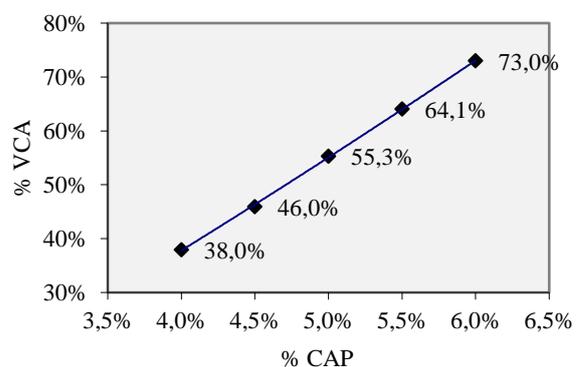
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: autoria própria

Para definição do teor ótimo de CAP, considerou-se como alvo a obtenção de um volume de vazios de 5%, onde verificou-se ser possível o enquadramento de todos os parâmetros volumétricos nos limites de especificação. Para esta condição, o teor de CAP obtido foi de 5,9%.

Por fim, buscou-se realizar a verificação da compactabilidade da mistura considerando este teor de CAP de 5,9%, de acordo com critérios estabelecidos na especificação *AASHTO R 35 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures (Projeto volumétrico Superpave para misturas asfálticas)*. Em síntese, são estabelecidos diferentes níveis de densificação em laboratório (em função do nível de tráfego esperado) para se estimar o nível de compactação da camada em 3 estágios, a saber: (i) após o espalhamento do material, ou seja, atrás da vibroacabadora, (ii) no meio da vida útil da camada, e (iii) ao final da vida útil da camada, após a densificação adicional causada pelo tráfego. Estes 3 níveis de compactação são comumente definidos como N_{ini} , N_{des} e $N_{máx}$, respectivamente.

As especificações de densidade N_{ini} variam de 89% a 91,5% da densidade máxima da mistura, dependendo do nível de tráfego do projeto. Para este projeto, considerou-se como N_{ini} a densificação obtida à 9 giros, com um valor máximo admissível de 89% da densidade máxima da mistura, devido ao elevado volume de tráfego da rodovia. O atendimento ao limite especificado é de extrema importância pois, misturas que falham neste critério compactam muito facilmente, o que não é desejável. De outro lado, embora não se tenha definido um valor mínimo admissível para este parâmetro, misturas com N_{ini} muito baixo podem se tornar extremamente difíceis de se compactar em campo, tendo um risco elevado de alta permeabilidade da camada.

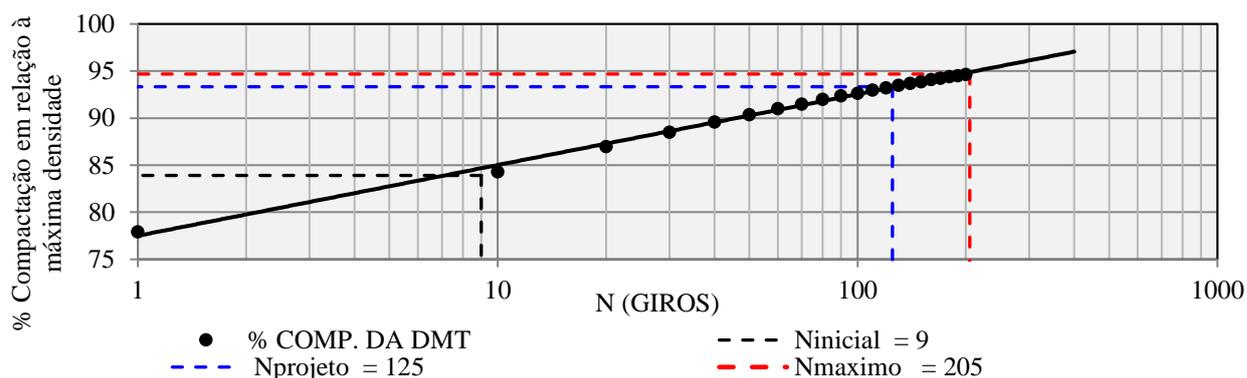
Em relação ao parâmetro N_{des} , considera-se como limite admissível a porcentagem da densidade máxima da mistura alvo do projeto de dosagem, o que neste caso é de 95%. Este parâmetro foi verificado a 125 giros, em função do elevado nível de tráfego esperado para o segmento.

Por fim, para o parâmetro $N_{máx}$, considera-se o limite de 98% em relação à densidade máxima da mistura, para todos os níveis de tráfego. Para as condições específicas deste projeto, este parâmetro foi avaliado a 205 giros. O atendimento a este parâmetro é primordial, pois a obtenção de um volume de vazios baixo em campo resulta em uma mistura plástica, que deforma facilmente, não sendo desejável.

Para esta etapa, foi realizada a moldagem de 2 corpos de prova adicionais, considerando 205 giros, a uma velocidade de 30 giros por minuto, um ângulo interno de $1,16^\circ$ e a uma pressão de 600kPa. Durante a compactação, a altura dos corpos de prova foi registrada após o término de cada giro, de

forma a possibilitar a verificação da evolução da massa específica ao longo de todo processo, e verificação do atendimento aos parâmetros de densificação, conforme a figura 91.

Figura 91 – Curva de densificação para o teor de CAP definido no projeto de dosagem



Fonte: autoria própria

Pode-se notar que todos os parâmetros de densificação foram atendidos, o que garante que a mistura apresentará um comportamento satisfatório durante o seu espalhamento em pista, bem como durante o processo de compressão da camada e ao longo de período de projeto.

As tabelas 26, 27 e 28 apresentam os dados obtidos para este estudo de dosagem.

Tabela 26 – Resumo das massas específicas e absorção dos materiais utilizados no estudo de dosagem

Material	Massa Específica Real	Massa Específica Efetiva da Mistura de Agregados	Massa Específica Aparente da Mistura de Agregados (sss)	Absorção de Água (%)
CAP Modif. Borracha TYREFLEX B	1,010	-	-	-
Brita 3/8	2,647	-	2,594	0,8
Pó de Pedra 3/16	2,647	-	2,615	0,4
Cal CH "I"	2,344	-	-	-
Mistura Final Obtida	2,642	2,630	2,598	-

Fonte: autoria própria

Tabela 27 – Quadro resumo das características da mistura dosada

Quadro Resumo das Características do Projeto			Diâmetro da Amostra 100 mm		
Brita 3/8	57,9%	Massa Específica Aparente do CP	2,283	Ninicial 9 Giros: %compactação da DMT	84
Pó de Pedra 3/16	34,8%	Massa específica Máxima da Mistura (% VV=0)	2,403	Nmaximo 205 Giros: %compactação da DMT	95
Cal CH "I"	1,4%	Porcentagem de Vazios (% VV)	5,0%	Relação Filler / Ligante	0,8
Teor ótimo de CAP adicionado	5,9%	Vazios do Agreg. Mineral (VAM)	17,3%	Temperatura de Moldagem CP (°C)	175
		Vazios Cheios de Asfalto (% VCA)	71,1%	Tempo de Condicionamento	2h
Absorção de CAP	0,5%	Nprojeto 125 Giros: %compactação da DMT	93,3	% de Grãos com Relação > (1 : 3) Arteris D 4791	14,5

Fonte: autoria própria

Tabela 28 – Quadro resumo dos parâmetros volumétricos para o teor de CAP definido na dosagem

% DE CAP	Massa Específica Aparente do CP	Massa Específica Máxima da Mistura	Porcentagem de Vazios	Vazios do Agregado Mineral	Vazios Cheios de Asfalto	N _{ini} 9 Giros	N _{des} 125 Giros	N _{max} 205 Giros
5,9%	2,283	2,403	5,0%	17,3%	71,1%	84%	93%	95%
Mínimo	-	-	3,0%	16,0%	65,0%	-	-	-
Máximo	-	-	5,0%	18,0%	80,0%	89%	96%	98%

Fonte: autoria própria

8.1.3. Aplicação da camada asfáltica em pista

Uma vez definidos os materiais e o projeto de dosagem da mistura asfáltica, iniciou-se o processo de aplicação da camada asfáltica no segmento delimitado através das análises estatísticas.

Inicialmente, foi realizada uma análise no ligante asfáltico recebido na usina asfáltica, para constatar se os parâmetros de qualidade se mantiveram adequados e próximos aos parâmetros obtidos no ligante asfáltico utilizado no processo de dosagem. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 – Resultados obtidos nos ensaios de caracterização do CAP recebido na usina

Método de ensaio		Unidade	Resultados	Limites
Ponto de amolecimento	NBR 6560	°C	57	≥ 50
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm	NBR 6576	0,1mm	44	30 a 70
Recuperação Elástica, 10cm, 25°C	NBR 15086	%	66	≥ 50
Viscosidade Brookfield 175°C – Spindle 3, 20 rpm	NBR 15529	cP	1350	800 a 2000
Ponto de Fulgor	NBR 11341	°C	248	≥ 235
Massa específica a 25°C	NBR 6296	g/cm ³	1,010	-
Após Envelhecimento no RTFOT				
Varição de Massa	NBR 15235	%	0,43	-1,0 a 1,0
Varição do ponto de amolecimento	NBR 6560	°C	3,1	≤ 10
Porcentagem de recuperação elástica original, 10cm, 25°C	NBR 15086	%	-	≥ 100
Porcentagem de penetração original, 25°C	NBR 6576	%	61	≥ 55

Fonte: autoria própria

Nota-se que o ligante asfáltico recebido em usina atendeu aos requisitos de qualidade, mantendo um padrão muito similar à amostra utilizada para elaboração do projeto de dosagem.

Por se tratar de um segmento com alto volume de tráfego, foi necessário realizar a obra em período noturno, buscando reduzir a chance de ocorrência de possíveis problemas operacionais, como a formação de filas e congestionamentos. Cabe salientar que a execução da obra em período noturno exige um maior controle de todo o processo, tendo em vista que nesta condição há baixa iluminação (dificultando a visualização de defeitos superficiais no acabamento), além de temperaturas mais baixas (o que favorece o resfriamento da camada e dificulta sua densificação em pista).

A aplicação foi iniciada pela terceira faixa da pista, sendo esta faixa mais solicitada devido a maior quantidade de veículos lentos e pesados. Posteriormente, os serviços foram realizados na faixa 1, e por fim na faixa 2.

Foi necessário realizar a fresagem da camada asfáltica existente para que não houvesse alteração no greide da rodovia, o que poderia reduzir o espelho das barreiras de concreto do tipo New Jersey. A figura 92 ilustra o procedimento.

Figura 92 – (a) Execução da fresagem da camada asfáltica existente, (b) Camada asfáltica fresada



(a)



(b)

Fonte: autoria própria

Após a realização da fresagem, foi verificada a espessura resultante, e o fundo de caixa foi limpo através da remoção de partículas soltas que poderiam prejudicar a aderência entre a nova camada e o pavimento remanescente, conforme pode ser observado na figura 93.

Figura 93 – (a) Limpeza do fundo de caixa; (b) Verificação da espessura de fresagem



(a)

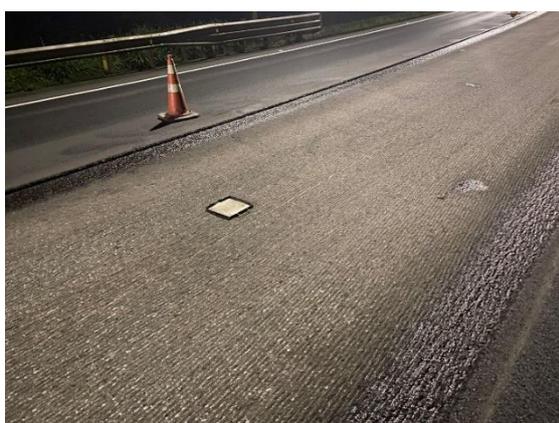


(b)

Fonte: autoria própria

Na sequência, foi realizada a aplicação da pintura de ligação, com emulsão asfáltica modificada por polímero, do tipo RR-1C-E. A taxa de resíduo da pintura de ligação foi medida em campo através do posicionamento de bandejas de área conhecida ao longo da extensão do segmento (figura 94). Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente, onde constatou-se através do Intervalo de Confiança de 95% que a taxa média de resíduo ficou entre 0,26 e 0,25 l/m².

Figura 94 – (a) posicionamento da bandeja para verificação da taxa de resíduo da pintura de ligação; (b) pintura de ligação aplicada.



(a)



(b)

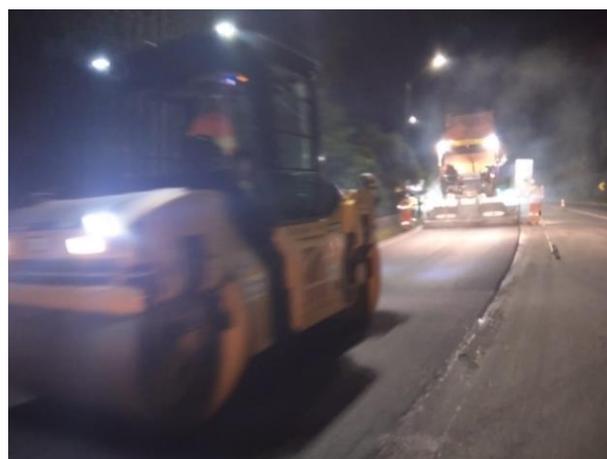
Fonte: autoria própria

Após a ruptura completa da emulsão, foi iniciado o processo de espalhamento e compressão da camada. Nesta etapa, os operadores dos rolos foram orientados a iniciar o processo de compressão sempre do ponto mais baixo da pista, e a permanecer sempre próximos à vibroacabadora, para um melhor aproveitamento da temperatura da mistura asfáltica. A figura 95 ilustra estes procedimentos.

Figura 95 – (a) espalhamento da mistura asfáltica, (b) Compressão da camada espalhada



(a)



(b)

Fonte: autoria própria

Por fim, foi realizada a aplicação da sinalização horizontal no segmento, conforme ilustra a figura 96.

Figura 96 – (a) e (b) Sinalização horizontal aplicada na superfície da mistura asfáltica.



(a)



(b)

Fonte: autoria própria

8.2. Trecho experimental de sinalização

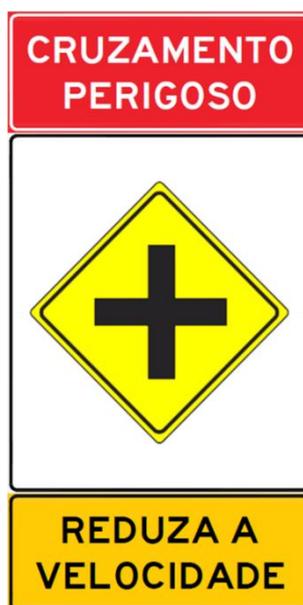
A alternativa de projeto selecionada, resultante da análise de dados, para implantação no trecho compreende novas placas compostas (aéreas e em solo), marcadores de alinhamento numerados (MAN) e linhas de estímulo à redução de velocidade (LERV). Segue uma descrição detalhada do projeto de sinalização implantado no trecho.

8.2.1. Descrição do projeto implantado

8.2.1.1. Segmento 1

O par de placas simples indicativas de cruzamento de vias (A-6) foram substituídas por placas compostas de 2,00 x 4,00 m, com o sinal A-6 centralizado e com textos de advertência de “CRUZAMENTO PERIGOSO” (fundo vermelho) e “REDUZA A VELOCIDADE” (fundo amarelo) (Figura 97).

Figura 97 - Ilustração da placa composta instalada no Segmento 1



Fonte: autoria própria

8.2.1.2.Segmento 2

O par de placas de advertência de pista sinuosa à direita (A-3b) que havia no km 657+200 foi realocado para o km 656+900. Em seu lugar, foi implantado um par de placas de limite de velocidade (R-19). No km 658+000, as duas placas educativas com a mensagem “SOB CHUVA REDUZA A VELOCIDADE” foram trocadas por placas compostas de 2,00 x 4,00 m, contendo o limite de velocidade (R-19) e o texto “SOB CHUVA OU NEBLINA – REDUZA A VELOCIDADE” com fundo na cor lima-limão (Figura 98).

Figura 98 - Ilustração da placa composta instalada nos segmentos 2 e 3



Fonte: autoria própria

Antes de uma das curvas, no km 658+300, foi implantado um semipórtico com uma placa aérea composta de 4,00 x 3,00 m. A placa combina o sinal de advertência de curva sinuosa à esquerda (A-3a) e o sinal de regulamentação de limite de velocidade (R-19). Além disso, foram incluídas as mensagens “PISTA SINUOSA” – em branco, no fundo vermelho, na parte superior – e “REDUZA A VELOCIDADE” – em preto, no fundo amarelo, na parte inferior. Veja o esquema na figura 99.

Figura 99 - Ilustração da placa composta aérea instalada no segmento 2



Fonte: autoria própria

Foram implantados três novos conjuntos de marcadores de alinhamento numerados na cor limão, cada um com cinco pares de placas numeradas de um a cinco (Figura 100). Os dois primeiros foram implantados nos km 658+200 e km 658+800. O último foi implantado no km 657+000, substituindo um conjunto de marcadores de alinhamento numerados em outro padrão (fundo amarelo). Por fim, um conjunto de linhas de estímulo à redução de velocidade (LERV) foram implantadas no km 658+200.

Figura 100 - Ilustração dos marcadores de alinhamento numerados (MAN) instalados nos segmentos 2 e 3



Fonte: autoria própria

8.2.1.3.Segmento 3

O par de placas compostas (com o texto “sob chuva ou neblina” e os sinais A-28 e R-19) no km 666+500 foi substituído por placas compostas de 2,00 x 4,00 m, com texto em fundo na cor lima-limão e o sinal R-19, iguais às instaladas no segmento 2 (Figura 98). Um par de placas de igual foi implantado também no km 667+400. Além disso, um par de placas de limite de velocidade (R-19) foi implantado no km 667+800.

Foram implantados dois conjuntos de marcadores de alinhamento numerados nos km 667+000 e km 666+500 (Figura 100). Um semipórtico foi implantado no km 665+900, com uma placa aérea composta de 3,00 x 4,00 m. A placa composta traz textos de advertência em fundo amarelo e vermelho, advertência de curva sinuosa à esquerda (A-3a) e limite de velocidade (R-19) (Figura 101). Além disso, um conjunto de linhas de estímulo à redução de velocidade (LERV) foram implantadas no km 667+000.

Figura 101 - Ilustração da placa composta aérea instalada no segmento 3



Fonte: autoria própria

8.2.2. Comprovação da implantação do projeto

As figuras 102 a 114 comprovam a implantação do projeto de sinalização *in loco*.

Figura 102 - Implantação das placas compostas no segmento 1 (km 651+900)



Fonte: autoria própria

Figura 103 - Implantação do semipórtico com placa aérea no segmento 2 (km 658+300)



Fonte: autoria própria

Figura 104 - Implantação do primeiro conjunto de MAN no segmento 2 (km 658+800)



Fonte: autoria própria

Figura 105 - Implantação do segundo conjunto de MAN no segmento 2 (km 658+200)



Fonte: autoria própria

Figura 106 - Implantação do terceiro conjunto de MAN no segmento 2 (km 657+000)



Fonte: autoria própria

Figura 107 - Implantação das placas compostas no segmento 2 (km 658+000)



Fonte: autoria própria

Figura 108 - Implantação das LERV no segmento 2 (km 658+200)



Fonte: autoria própria

Figura 109 - Implantação do semipórtico com placa aérea no segmento 3 (km 665+900)



Fonte: autoria própria

Figura 110 - Implantação do primeiro par de placas compostas no segmento 3 (km 667+400)



Fonte: autoria própria

Figura 111 - Implantação do segundo par de placas compostas no segmento 3 (km 666+500)



Fonte: autoria própria

Figura 112 - Implantação do primeiro conjunto de MAN no segmento 3 (km 667+000)



Fonte: autoria própria

Figura 113 - Implantação do segundo conjunto de MAN no segmento 3 (km 666+500)



Fonte: autoria própria

Figura 114 - Implantação das LERV no segmento 3 (km 667+000)



Fonte: autoria própria

9. AVALIAÇÃO PERIÓDICA DAS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DO PAVIMENTO E DA SINALIZAÇÃO

Para compreensão dos efeitos do tráfego com repetições de carga e do clima sobre as sinalizações, bem como sobre as alterações da textura superficial dos pavimentos, foram previstas avaliações periódicas no segmento de estudo (BR-376, pista norte) para estudo da evolução ou desgaste.

No plano de trabalho era previsto a execução de 5 avaliações periódicas, porém, o levantamento do 22º mês de execução desta pesquisa não foi realizado devido ao deslizamento na BR 376, que gerou congestionamentos e restrições de fechamento de rodovia.

Os parâmetros de qualidade da sinalização horizontal estão sendo avaliados através do uso de um retrorrefletômetro dinâmico, da marca RoadVista, modelo LaserLux G7 (figura 115). Este equipamento é acoplado na lateral de um veículo, sendo capaz de realizar as avaliações de retrorrefletividade na velocidade de operação da via. Sua frequência de aquisição de dados é de

400Hz, o que garante a realização de uma medição a cada 7 centímetros de faixa a uma velocidade de 100km/h. Apesar de ser um equipamento importado, sua geometria é de 15 metros, de acordo com o padrão de avaliação nacional.

Figura 115 - Retrorrefletômetro dinâmico LaserLux G7



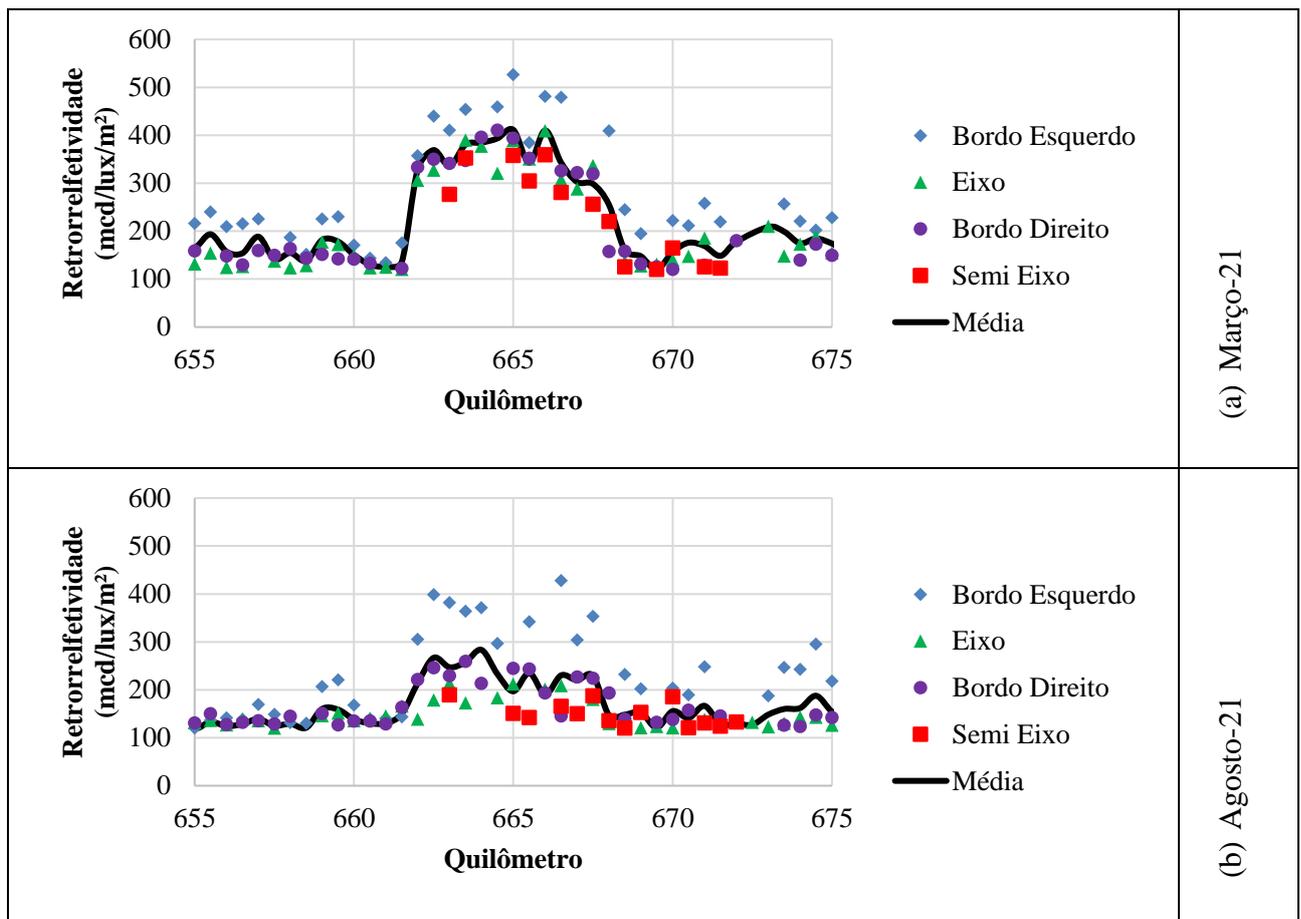
Fonte: Autoria própria

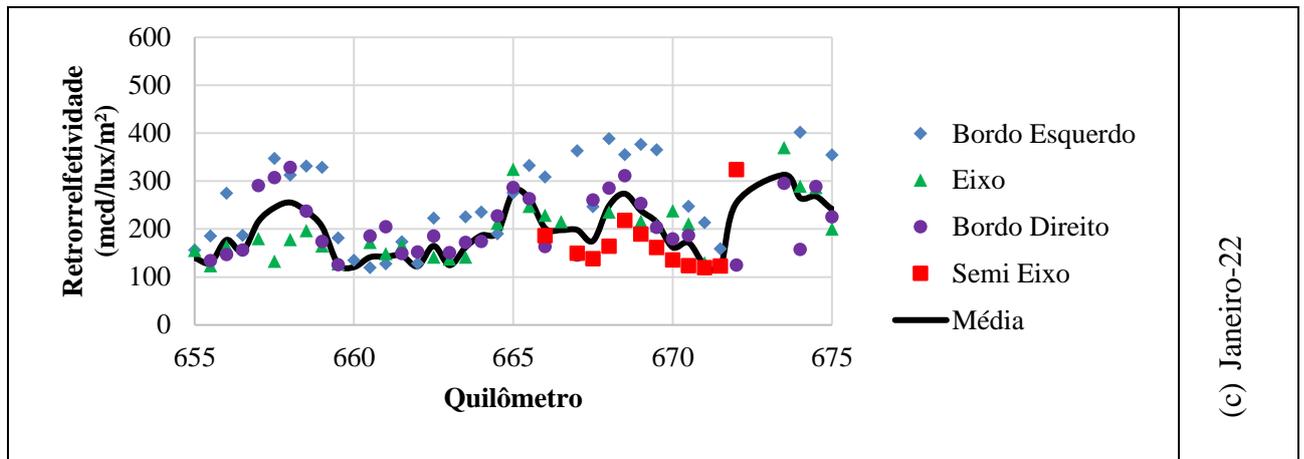
Destaca-se aqui o fato de que este tipo de equipamento possui um maior rigor de avaliação se comparado aos equipamentos estáticos. Isto ocorre devido a alguns fatores relevantes, a saber: (i) a retrorefletividade média dos segmentos, quando avaliada com o equipamento estático, é determinada usualmente através da realização de 30 medições, sendo esta amostragem muito inferior à realizada pelo equipamento dinâmico, e (ii) o equipamento dinâmico realiza avaliações mesmo quando a superfície da sinalização se encontra suja, seja pela presença de borracha resultante da frenagem brusca de veículos, seja por algum outro contaminante, como a areia ou água.

A figura 116 apresenta os resultados obtidos para os levantamentos de retrorefletividade realizados nos meses 03/2021, 08/2021 e 01/2022 no segmento em estudo. Os dados descritos como “Bordo Esquerdo” referem-se às medidas tomadas na demarcação mais interna da pista (lado esquerdo da faixa 1), os dados descritos como “Eixo” referem-se à demarcação existente entre as faixas de tráfego 1 e 2, os dados descritos como “Semi Eixo” referem-se à demarcação existente entre as faixas de

tráfego 2 e 3 (quanto existente), e os dados descritos como “Bordo Direito” referem-se à faixa mais externa da pista (lado direito da faixa de tráfego mais carregada).

Figura 116 – Avaliação das condições de retrorefletividade da sinalização horizontal com uso do Retrorefletômetro Dinâmico, geometria de 15 metros





Fonte: autoria própria

Através da análise dos dados, pode-se observar que a sinalização do “bordo esquerdo” da pista apresentou melhores valores de retrorefletividade nas 3 campanhas de medição realizadas. Isto ocorre, pois, esta demarcação se encontra na faixa com menor volume de tráfego de veículos longos e pesados, que em trechos curvos de serra geralmente acabam “comendo faixa”, trafegando sobre a sinalização e promovendo um maior desgaste abrasivo.

Em relação às demais posições, pode-se observar que o padrão de desgaste é similar entre as demarcações. Isto ocorre pois nestas condições os veículos trafegam com maior frequência sobre as demarcações, devido a mudanças de faixa para ultrapassagem.

De qualquer forma, pode-se inferir que, para todo o segmento de estudo (onde as análises estatísticas apontaram uma maior concentração de ocorrência de acidentes), os valores de retrorefletividade da sinalização horizontal se mostraram adequados nas três campanhas de avaliação realizadas (antes e após a aplicação das alternativas escolhidas), ou seja, sempre acima dos valores mínimos para revitalização estabelecidos em contrato. Portanto, pode-se deduzir que a concentração de acidentes neste segmento não se relaciona diretamente com deficiências de qualidade na sinalização horizontal.

No que diz respeito às condições de textura superficial do pavimento, foram realizadas avaliações de Irregularidade Longitudinal (IRI) e Macrotextura após a aplicação da nova camada no pavimento. É compreensível que, anteriormente à aplicação desta nova camada, estes parâmetros já se encontravam adequados em relação às exigências contratuais, tendo em vista que não foram apontadas

inconsistências no passado pela fiscalização. De qualquer forma, entende-se que a obtenção de parâmetros de qualidade ainda mais rigorosos possa auxiliar no controle das ocorrências em segmentos de maior criticidade.

Os ensaios de macrotextura foram realizados de acordo com o procedimento descrito na norma *ASTM E965 - Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*, conforme ilustrado na figura 117.

Figura 117 – (a) Espalhamento da areia; (b) medida do diâmetro médio do círculo de areia para determinação da profundidade de macrotextura.



(a)

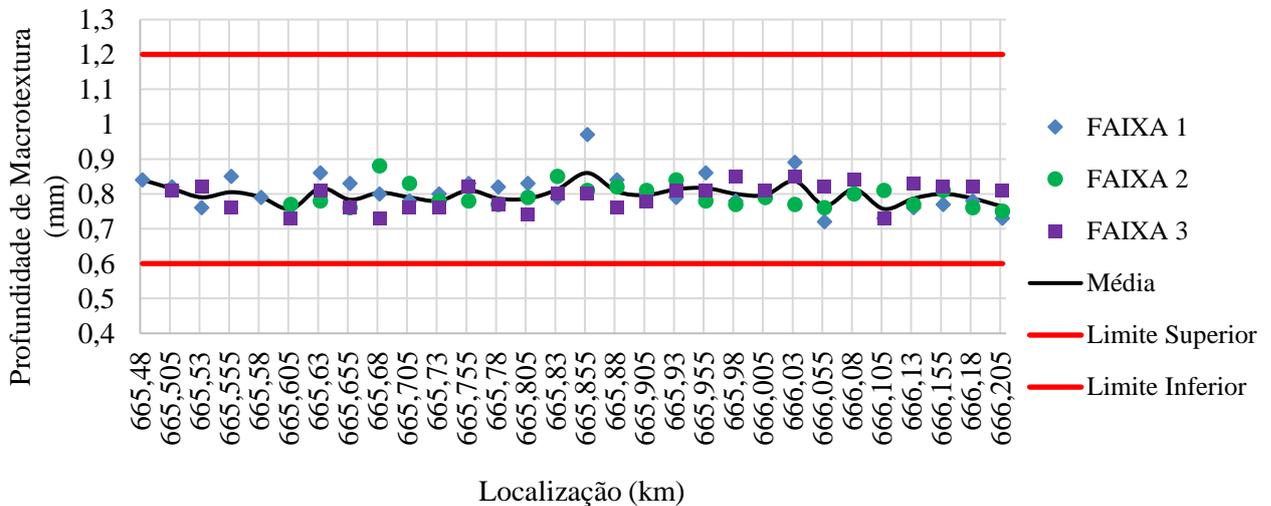


(b)

Fonte: autoria própria

As avaliações foram realizadas a cada 25 metros de faixa, sempre alternando entre trilhos de roda internos e externos (lado esquerdo e direito da pista). A Figura 118 apresenta os resultados individuais obtidos e os valores médios para as 3 faixas de rolamento.

Figura 118 – Valores de macrotextura aferidos através do ensaio de mancha de areia



Fonte: autoria própria

O valor médio de profundidade de macrotextura obtido para a Faixa 1 foi de 0,81mm, com coeficiente de variação de 6,3%. Para a faixa 2, o valor médio obtido foi de 0,79mm, com coeficiente de variação de 4,0%, e para a faixa 3 o valor médio obtido foi de 0,79mm, com coeficiente de variação de 4,6%.

O tratamento estatístico dos dados demonstra que o Intervalo de Confiança de 95% para a média de macrotextura da camada asfáltica aplicada está entre 0,81mm e 0,79mm, sendo o coeficiente de variação geral igual a 5,2%. Estes dados demonstram que a macrotextura da camada aplicada se encontra homogênea ao longo de todo o segmento.

Dando continuidade ao monitoramento das condições superficiais do pavimento e da sinalização para compreensão da evolução dos requisitos de qualidade dos serviços realizados para atendimento a este estudo, foram obtidos dados de retrorrefletividade da sinalização horizontal, dados de atrito superficial e de irregularidade longitudinal do pavimento, além da realização de um mapeamento de patologias.

Os valores de retrorrefletividade da sinalização horizontal foram obtidos através da utilização de um retrorrefletômetro dinâmico com geometria de 15 metros, sendo este o mesmo equipamento descrito no Relatório de Acompanhamento II. Neste ponto cabe salientar que os dados obtidos e apresentados no Relatório de Acompanhamento II referiam-se à avaliação da pintura provisória, que é aquela

executada imediatamente após a aplicação da camada asfáltica, tendo por finalidade prover parâmetros adequados de visibilidade durante o “período de cura” da nova camada (em geral 30 dias), onde pode ocorrer um desgaste mais acentuado, devido ao acúmulo de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) na superfície e deslocamentos por problemas de adesividade entre a tinta e o substrato. A nova pintura, descrita como “definitiva”, foi executada no final de fevereiro de 2022, aproximadamente 20 dias após o primeiro levantamento.

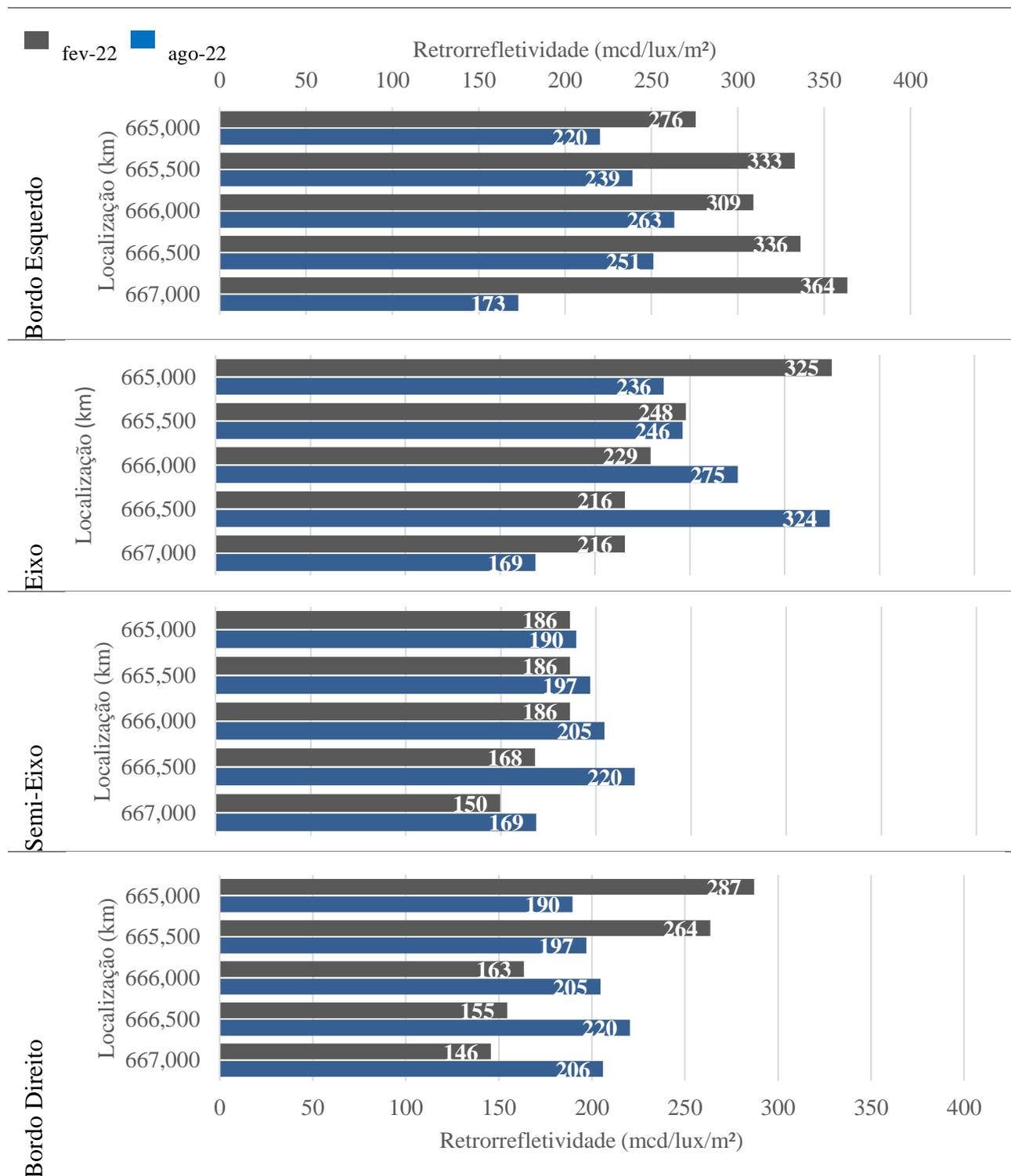
Os dados de retrorrefletividade obtidos para o trecho experimental de pavimento e seu entorno são apresentados na Tabela 30, separados por linha de pintura (bordo esquerdo, eixo, semi-eixo e bordo direito). É possível observar que não houve um padrão de desgaste para todas as linhas, o que pode ser justificado pela nova pintura realizada. De qualquer forma, pode-se constatar que os valores de retrorrefletividade continuam se mostrando adequados para garantia da visibilidade das demarcações em ambiente escuro, acima do limite estabelecido no PER (Programa de Exploração Rodoviária) para revitalização (120 mcd/lux/m²).

O atrito superficial do pavimento foi medido através da utilização de um equipamento denominado Griptester. Este equipamento mede o atrito existente entre o pneu e pavimento, simulando condições de chuva, através do espalhamento de água na superfície do pavimento. O coeficiente de atrito (Grip Number) é obtido através da relação entre a força vertical e a força horizontal que atuam no equipamento, que opera segundo o princípio de roda freada e arrasto fixo (LINHARES, 2021).

O griptester é um equipamento desenvolvido na Inglaterra, com deslizamento fixo, que opera fixando-se uma parcela de bloqueamento das rodas para o registro do coeficiente de atrito. Ele trabalha com as rodas 15 % bloqueadas e atinge a velocidade de até 65 km/h (SANTOS, 2004). Tilley *et al.* (2008) conduziram estudos na University of North Dakota, Surface Transportation Weather Research Center para medir o coeficiente de atrito de rodovias utilizando o equipamento griptester com o objetivo de monitorar e melhorar as condições de segurança viária e prevenir a ocorrência de acidentes, principalmente sob condições climáticas adversas, com a presença de neve, gelo e água. Os autores descrevem detalhadamente os procedimentos de medição com o griptester.

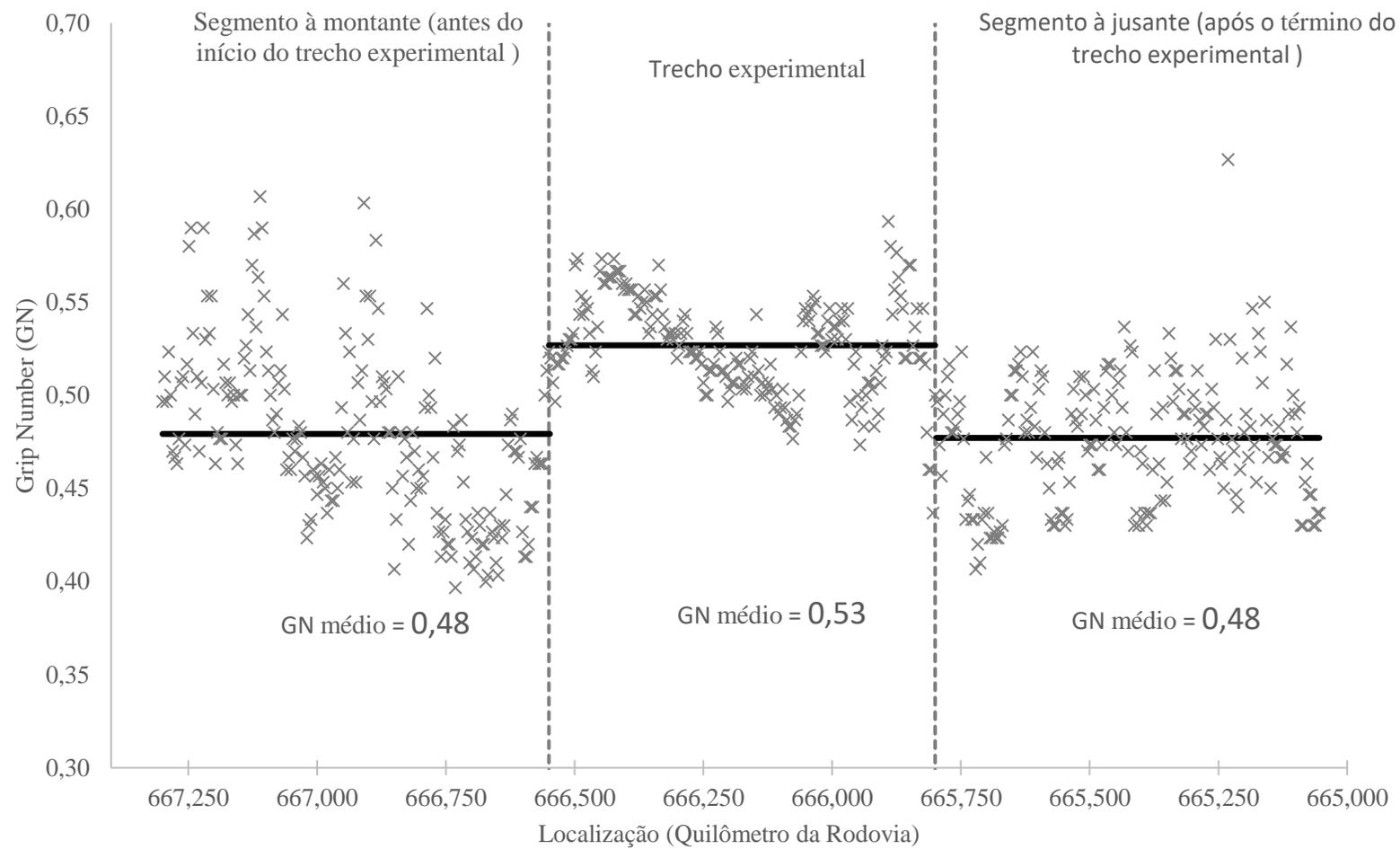
A Figura 119 apresenta os dados de atrito obtidos para o trecho experimental e para os segmentos de mesma extensão à montante e à jusante, para fins comparativos.

Tabela 30 - Evolução dos valores de retrorrefletividade da sinalização horizontal do trecho experimental e seu entorno entre fevereiro e agosto de 2022



Fonte: autoria própria

Figura 119: Avaliação de atrito realizada através da utilização do equipamento Grip-Tester



Fonte: autoria própria

Através da análise dos resultados apresentados na Figura 119, pode-se observar que os segmentos adjacentes ao trecho experimental, constituídos por camadas asfálticas convencionais, apresentam valores de atrito ligeiramente inferiores ao observado para o trecho experimental. Também é possível notar que existe maior uniformidade na distribuição dos dados de atrito para o trecho experimental, o que demonstra a homogeneidade da mistura gap-graded empregada na construção deste segmento.

A diferença observada nos valores de atrito medidos foi validada estatisticamente através da realização do teste T de Student, e os resultados são apresentados na Tabela 31.

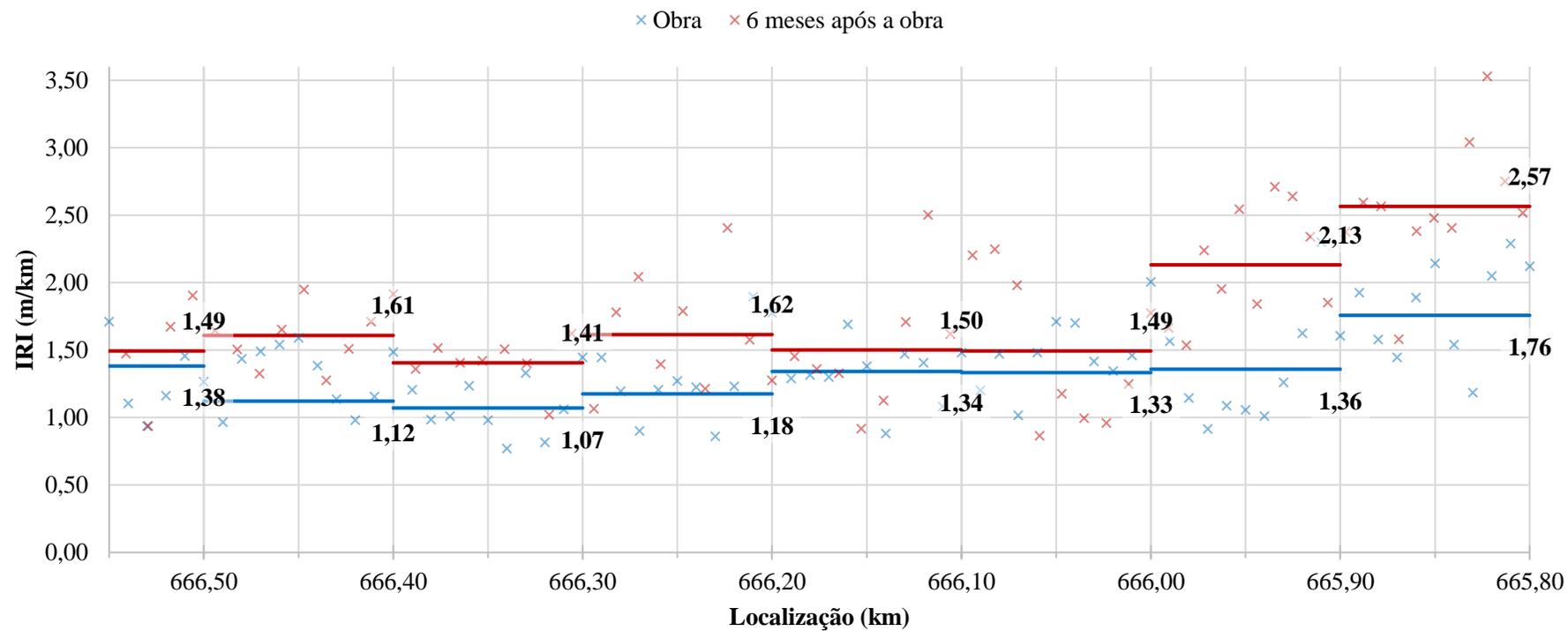
Tabela 31 - Parâmetros estatísticos obtidos através do teste T-Student para os resultados de atrito obtidos através do Griptester

Parâmetro	Montante	Trecho experimental	Jusante
Média	0,48	0,53	0,48
Variância	0,0061	0,0033	0,0055
Estatística T ($\alpha = 0,05$)	11,75		-
	-	12,69	
T-Crítico (uni-caudal) ($\alpha = 0,05$)	1,65		-
	-	1,65	
P-Value	<0,01		-
	-	<0,01	

Fonte: autoria própria

No que diz respeito à irregularidade longitudinal, os valores de IRI (*International Roughness Index*) foram obtidos através da utilização de um perfilômetro a laser, e os resultados são apresentados na Figura 120, a seguir.

Figura 120: Evolução dos valores de Irregularidade Longitudinal (IRI) do trecho experimental em 6 meses



Fonte: autoria própria

10. RELATÓRIOS

Ao longo do período de projeto foram elaborados três relatórios parciais abrangendo seguintes períodos e o relatório final

- Relatório Parcial 1/3: 01/03/2021 a 31/07/2021
- Relatório Parcial 2/3: 01/08/2021 a 31/01/2022
- Relatório Parcial 3/3: 01/02/2022 a 31/07/2022
- Relatório Final: 01/08/2022 a 31/01/2023

11. CAPACITAÇÃO TÉCNICA DE PESSOAL

Se faz necessário esclarecer que os recursos para capacitação técnica de pessoal estavam previstos exclusivamente para a participação da equipe executora em workshop da ANTT para apresentação do projeto, porém tal evento não foi realizado.

12. PRODUÇÃO CIENTÍFICA

É importante ressaltar que o presente projeto propiciou o desenvolvimento de atividades de pesquisa e a publicação e apresentação de trabalhos científicos em congressos e simpósios, viabilizando assim o compartilhamento dos resultados e conclusões com a comunidade acadêmica e técnica. A saber:

EPUSP:

1. Projeto de Iniciação Científica (IC):

Título: “Identificação de Trechos Críticos na Rodovia Litoral Sul (BR 376 PR)”.

Autora: Pedrina de Assis Corrêa.

Vigência: de setembro de 2021 até agosto de 2022.

Orientação: Professora Doutora Liedi Légi Bernucci.

Colaboração: Doutora Cláudia Soares Machado.

2. Trabalhos Científicos:

- a. "Identificação de trechos críticos na Autopista Litoral Sul (BR376 PR - ARTERIS)".

Autoras: Pedrina Vitória Assis Correia; Cláudia Soares Machado; Liedi Légi Bernucci.

Apresentado no 36º Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, realizado em Fortaleza, Ceará em 08 - 12 de novembro de 2022, publicado nos anais do congresso: Vol 1, 2022 -153309.

- b. "Análise de dados para avaliação da aderência pneu-pavimento em dois estudos de caso em uma rodovia concessionada federal".

Autores: Pedrina Vitória Assis Correia; Cláudia Soares Machado; Raíssa Rodrigues Cardoso de Farias; Edson Moura; Guilherme Linhares; Liedi Légi Bernucci.

Apresentado no 36º Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, realizado em Fortaleza, Ceará em 08-12 de novembro de 2022, publicado nos anais do congresso: Vol 1, 2022 -153306.

- c. "Identificação de Trechos Críticos na Rodovia Litoral Sul (BR 376 PR)".

Autoras: Pedrina Vitória Assis Correia, Cláudia Soares Machado, Liedi Légi Bernucci.

Apresentado em formato de pôster no 30º SIICUSP - Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP, trabalho nº 3384, realizado em São Paulo - SP, na Escola Politécnica da USP, em 28 de setembro de 2022.

EESC:

1. Dissertação de mestrado (em andamento):

Título: "Desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes para uma rodovia brasileira de múltiplas faixas em região montanhosa"

Autor: Eduardo Oliveira de Paula

Orientação: Professora Doutora Ana Paula Camargo Larocca

2. Trabalhos científicos:

"Crash Prediction Model for a Brazilian multilane highway in a mountainous region"

Autor: Eduardo Oliveira de Paula

Resumo aceito para apresentação na sessão de posters de estudantes na conferência *2023 Joint ITE International and Western District Annual Meeting and Exhibition*, que será realizada em Portland, Estados Unidos, em 13-16 de agosto de 2023.

Além disso, serão elaborados pela equipe do projeto, outros artigos científicos a serem submetidos para publicação em periódicos de relevância internacional dentro dos temas abordados na pesquisa.

O presente projeto também contribuiu para a consolidação dos grupos de pesquisa em segurança viária do Departamento de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e do Departamento de Engenharia de Transportes (STT) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

13. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS

Esta pesquisa objetivou a redução de acidentes rodoviários em pontos críticos de trecho sinuoso das rodovias BR 116/376 PR e BR 101 SC, de modo a minimizar o número de acidentes e a sua severidade; os prejuízos financeiros da empresa, do poder público e na operação da rodovia. A metodologia aplicada permitiu, a partir de série histórica de dados, identificar os trechos com maior criticidade viária.

A partir da identificação dos trechos críticos, definiu-se as ações que seriam implantadas para a melhoria imediata da segurança dos usuários. A definição das ações contemplou a análise de variação da sinalização horizontal e vertical e alteração na textura do pavimento no trecho crítico da BR376, sentido norte, por diversos condutores voluntários – o que só foi possível pelo fato de que os testes de condução foram realizados em laboratório de simulação de direção.

A definição, com precisão, do local para a implantação das intervenções foi possível de ser obtida pelo fato de o simulador de direção utilizado ser equipado com sistema de rastreamento de olhar. Esse

o sistema permite identificar com precisão, a qual distância e por quanto, os condutores enxergam as placas de sinalização e alterações no pavimento, e se eles desenvolvem a ação esperada – por exemplo, se ao avistarem uma placa que sinaliza a redução de velocidade, de fato reduzem a velocidade.

Desta forma, as intervenções implantadas tiveram o seu local de instalação precisamente determinado à luz da percepção do condutor e da reação que se espera que ele tenha, e o fundamental – com tempo hábil para evitar acidentar-se.

A partir dos resultados obtidos, que claramente sinalizaram a redução do número de acidentes, da severidade e do número de vítimas fatais, pode-se inferir que o conjunto de procedimentos adotados e as intervenções realizadas – alteração da sinalização horizontal e vertical e da macrotextura superficial do pavimento de trechos críticos localizados em região montanhosa e com incidência frequente de intempérie, contribuíram, em definitivo, para a melhoria da segurança dos usuários.

Especificamente para o trecho no qual foram realizadas exclusivamente intervenções na sinalização, registrou-se uma diminuição de acidentes de 22%, 49%, no segundo e quarto trimestre de 2022, respectivamente, quando comparados com a frequência de acidentes registrados no ano anterior. Destaca-se, adicionalmente, diminuição de 65,1% da taxa de acidentes, em pista molhada, no 4º trimestre de 2022 em relação ao mesmo trimestre do ano de 2021. Vale salientar que, em outubro e dezembro de 2022, a taxa diminuiu 71,3% e 84,2%, em relação a 2021, respectivamente.

Considerando o trecho no qual foram realizadas intervenções na sinalização e na macrotextura superficial do pavimento verificou-se que no último ano ocorreu uma diminuição de acidentes de 60,9% em relação ao ano de 2021 e de 78,6% em relação ao ano de 2020. Salienta-se que 2022 foi o ano em que foi registrado o menor número de acidentes neste trecho.

Importante destacar que o conjunto de intervenções – alteração da sinalização e da macrotextura superficial do pavimento – se apresentam ambientalmente sustentáveis na medida em que são intervenções menos drásticas ao ambiente da rodovia, além de menos onerosas, que, por exemplo,

intervenções na alteração da geometria do trecho. Complementarmente, são intervenções que podem ser executadas em curto espaço de tempo e sem a interrupção da operação do fluxo de tráfego da rodovia, sendo que a sinalização requer apenas o prazo de confecção e programação da instalação *in loco*, e a aplicação da alteração da macrotextura do pavimento requer atenção à ocorrência de chuvas na região.

Dá-se destaque ao fato de que as intervenções determinadas à partir da percepção dos condutores voluntários – o que foi possível pela condução em simulador de direção equipado com sistema de rastreamento do olhar –, e realizadas concomitantemente, são soluções pioneiras para a melhoria da segurança viária, com significativa contribuição para o aumento da percepção aos riscos do condutor às características geométricas dos trechos estudados, sendo soluções aplicáveis não somente em países em desenvolvimento, mas também nos denominados países do primeiro mundo.

13.1. Produtos Gerados

13.1.1. Redução da severidade dos acidentes e do número de ocorrências nos trechos tratados

Os trechos críticos que receberam intervenções na macrotextura superficial do pavimento e na sinalização horizontal e vertical foram acompanhados ao longo do restante do projeto e apresentaram resultados satisfatórios quanto à redução da severidade dos acidentes, do número de ocorrências, com redução do número de vítimas fatais, conforme mostrado no item 6 – Análise estatística. Os principais resultados desse item foram também constam no Anexo 3.

13.1.2. Manual de identificação, por modelagem estatística, de criticidade de acidentes de trechos rodoviários

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foi possível elaborar uma metodologia com a identificação clara das etapas e procedimentos necessários para a identificação da criticidade de acidentes de trechos rodoviários usando modelagem estatística. Tais atividades foram organizadas em um manual que consta no Anexo 4.

13.1.3. Caderno de procedimentos para coleta de dados de acidentes para estudos futuros

O registro de informações sobre os acidentes que ocorrem nas rodovias é etapa fundamental, senão a mais importante, para a criação de um banco de dados com informações descritivas, consistentes e que podem ser facilmente consolidadas. Atualmente, os registros das informações qualitativamente e quantitativamente sobre a acidentalidade viária se apresentam, ainda, como um gargalo para o avanço dos estudos sobre a segurança viária. Este projeto preconizou a elaboração de um caderno com a itemização dos procedimentos para coleta de dados de acidentes que devem ser seguidos, com o objetivo fim de prover dados consistentes. O caderno de procedimentos se encontra no Anexo 5 deste relatório.

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Washington, D.C., EUA: [s.n.].

ANDERSON, I. B. *et al.* Relationship to Safety of Geometric Design Consistency Measures for Rural Two-Lane Highways. **Transportation Research Record**, 1999.

BABIĆ, D., & BRIJS, T. Low-cost road marking measures for increasing safety in horizontal curves: a driving simulator study. **Accident Analysis & Prevention**, 153, 106013, 2021.

BAKSHI, A. K., GAWEEESH, S. M., & AHMED, M. M. The safety performance of connected vehicles on slippery horizontal curves through enhancing truck drivers' situational awareness: A driving simulator experiment. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, 79, 118-138, 2021.

BANDYOPADHYAYA, Ranja; MITRA, Sudeshna. Comparative Analysis of Hot-Spot Identification Methods in the Presence of Limited Information. *In: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROAD SAFETY AND SIMULATION 2011*, **Anais** [...]. [s.l.: s.n.]

BONERA, M., MUTTI, R., BARABINO, B., GUASTARROBA, G., MOR, A., ARCHETTI, C., & MATERNINI, G. (2022). Identifying clusters and patterns of road crash involving pedestrians and cyclists. A case study on the Province of Brescia (IT). **Transportation Research Procedia**, 60, 512-519.

CAFISO, S. *et al.* Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 4, p. 1072–1079, jul. 2010.

ÇELA, L., SHIODE, S., & LIPOVAC, K. (2012). Integrating GIS and spatial analytical techniques in analysis of road traffic accidents in Serbia. **Transport Engineering**, 155.

ÇELA, L.; SHIODE, S.; LIPOVAC, K. Integrating GIS and spatial analytical techniques in an analysis of road traffic accidents in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, v. 3, n.1, p. 1 – 15, 2013.

CHENG, Wen; WASHINGTON, Simon P. Experimental evaluation of hotspot identification methods. **Accident Analysis & Prevention**, [S. l.], v. 37, n. 5, p. 870–881, 2005.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, DF: [s.n.].

DE OÑA, J., LÓPEZ, G., MUJALLI, R., & CALVO, F. J. (2013). Analysis of traffic accidents on rural highways using Latent Class Clustering and Bayesian Networks. **Accident Analysis & Prevention**, 51, 1-10.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Manual de Identificação, Análise e Tratamento dos Pontos Negros. Ministério da Justiça, Brasília, 2ª edição, 1987.

DUCHOWSKI, A. **Eye Tracking Methodology, Theory and Practice**. Londres: Springer. 2007.

ELVIK, R. (2013). Risk of road accident associated with the use of drugs: a systematic review and meta-analysis of evidence from epidemiological studies. **Accident Analysis & Prevention**, 60, 254-267.

ELVIK, Rune. A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. **Accident Analysis & Prevention**, [S. l.], v. 40, n. 6, p. 1830–1835, 2008. b.

ELVIK, Rune. Evaluations of road accident blackspot treatment: A case of the iron law of evaluation studies? **Accident Analysis & Prevention**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 191–199, 1997.

ELVIK, Rune. **State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks**. [s.l: s.n.].

ELVIK, Rune; HØYE, Alena; VAA, Truls; SØRENSEN, Michael. **O Manual de Medidas de Segurança Viária**. [s.l: s.n.].

FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto et al. *Segurança Viária*. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

GARACH, L. *et al.* Proposal of a new global model of consistency: Application in two-lane rural highways in Spain. **Journal of Transportation Engineering**, v. 140, n. 8, 2014.

GHADI, Maen; TÖRÖK, Árpád. Comparison Different Black Spot Identification Methods. **Transportation Research Procedia**, [S. l.], v. 27, p. 1105–1112, 2017.

HAGHANI, M., BEHNOOD, A., OVIEDO-TRESPALACIOS, O., & BLIEMER, M. C. (2021). Structural anatomy and temporal trends of road accident research: Full-scope analyses of the field. **Journal of Safety Research**, 79, 173-198.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análisis Multivariante**. Pearson. Prentice Hall. 2005.

HUANG, X., & SHI, Y. (2016). Distribution Characteristics and Countermeasures of Traffic Accidents in Rural Road. **DEStech Transactions on Engineering and Technology Research**, (ICTIM).

HUANG, Y. D., SONG, X. P., WU, W., DU, W. J., CHEN, F., & SONG, M. T. Effect of Expansion Joints on Long-Span Bridges on Driving Behavior: A Driving Simulator Study. In **CICTP 2020** (pp. 4051-4063), 2020.

HUSSAIN, Q., ALHAJYASEEN, W. K., REINOLSMANN, N., BRIJS, K., PIRDAVANI, A., WETS, G., & BRIJS, T. Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study. **Accident Analysis & Prevention**, 150, 105916, 2021.

JIANG, B.; OKABE, A. Different Ways of Thinking about Street Networks and Spatial Analysis. *Geographical Analysis*, v. 46, n.4, p. 341–344, 2014.

LAMM, R. *et al.* Driving Dynamic Aspects and Related Safety Issues for Modern Geometric Design of Non-Built-Up Roads. **Transportation Research Record**, 1996.

LAMM, R. *et al.* Possible Design Procedure To Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads. **Transportation Research Record**, 1988.

LAMM, R. *et al.* Safety Evaluation Process for Two-Lane Rural Roads: A 10-Year Review. **Transportation Research Record**, 2002.

LAMM, R. *et al.* Safety Module for Highway Geometric Design. **Transportation Research Record**, 1995.

LINHARES, G. R. **Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Modificado por Borracha**. São Paulo: Dissertação: (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2021.

LIU, B., LIAO, Y., & GUAN, X. The Speed Model of Slippery Pavements in Curves Based on Driving Simulation Data. In **CICTP 2020** (pp. 3717-3729), 2020.

LIU, G., CHEN, S., ZENG, Z., CUI, H., FANG, Y., GU, D., & WANG, Z. (2018). Risk factors for extremely serious road accidents: Results from national Road Accident Statistical Annual Report of China. **PLoS one**, 13(8), e0201587.

LLOPIS-CASTELLÓ, D.; CAMACHO-TORREGROSA, F. J.; GARCÍA, A. Development of a global inertial consistency model to assess road safety on Spanish two-lane rural roads. **Accident Analysis and Prevention**, v. 119, p. 138–148, 1 out. 2018b.

LORD, D., & MANNERING, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 44(5), 291-305.

M GIBREEL, B. G. *et al.* STATE OF THE ART OF HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN CONSISTENCY. **Journal of Transportation Engineering**, 1999.

MACHADO C. A. S.; TAKIYA, H.; YAMAMURA, C. L. K. QUINTANILHA, J. A.; BERSSANETI, F. T. Placement of Infrastructure for Urban Electromobility: A Sustainable Approach. **Sustainability**, v. 12, n. 16, 6324, 2020.

MACHADO, C. A. S.; ALBARRACIN, O. Y. E.; CARVALHO, F. S.; HO, L. L.; QUINTANILHA, J. A.; BERNUCCI, L. L. B. (2021). Spatial identification of hazardous segments on rural highways

considering the interaction weather-pavement surface conditions using PKDE and NKDE. **Advances in transportation studies**, v.54.

MANEPALLI, U. R. R.; BHAM, G. H. An evaluation of performance measures for hotspot identification. **Journal of Transportation Safety & Security**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 327–345, 2016.

MANNERING, F. L., SHANKAR, V., & BHAT, C. R. (2016). Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. **Analytic Methods in Accident Research**, 11, 1-16.

MONTELLA, A. *et al.* Prediction of drivers' speed behavior on rural motorways based on an instrumented vehicle study. **Transportation Research Record**, v. 2434, p. 52–62, 2014.

MONTELLA, A.; COLANTUONI, L.; LAMBERTI, R. Crash prediction models for rural motorways. **Transportation Research Record**, n. 2083, p. 180–189, 2008.

MONTELLA, A.; IMBRIANI, L. L. Safety performance functions incorporating design consistency variables. **Accident Analysis and Prevention**, v. 74, p. 133–144, 2015.

NG, J. C. W.; SAYED, T. Effect of geometric design consistency on road safety. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 31, n. 2, p. 218–227, abr. 2004.

PAULA, M. E. B. DE; RÉGIO, M. **INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO FATAIS**. São Paulo, SP: [s.n.].

RANNEY, T. Psychological Fidelity: Perception of Risk. Em D. Fisher, M. Rizzo, J. Caird, & J. Lee, **Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology**. Boca Raton, USA: CRC Press. 2011.

SANTOS, E. L. **Análise histórica de medição de atrito das pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ**. Trabalho de Graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 2004.

SHAIK, M., & HOSSAIN, Q. S. (2020). Application of Statistical Models: Parameters Estimation of Road Accident in Bangladesh. **SN Computer Science**, 1(5), 1-10.

SINGH, G., SACHDEVA, S. N., & PAL, M. (2016). M5 model tree based predictive modeling of road accidents on non-urban sections of highways in India. **Accident Analysis & Prevention**, 96, 108-117.

TILLEY, J. S.; KROEBER, S. S.; GREEN, J.; CLONCH, D.; HALLIDAY, D. **Measurements of pavement condition and road weather environment within North Dakota using a tow-hitch mount road grip tester**. Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology, Fourth National Conference on Surface Transportation Weather, Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Indianapolis, Indiana, 2008, p. 364-378.

TREAT, J. R. *et al.* **TRI-LEVEL STUDY OF THE CAUSES OF TRAFFIC ACCIDENTS: FINAL REPORT Volume II: Special Analyses**. Washington, D.C., EUA: [s.n.].

WELLER, G. **The Psychology of Driving on Rural Roads**. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften. 2010.

WIERWILLE, W. *et al.* **Identification of Driver Errors: Overview and Recommendations**. McLean, VA, EUA: [s.n.].

WU, K.-F. *et al.* Exploring the Association between Traffic Safety and Geometric Design Consistency Based on Vehicle Speed Metrics. **Journal of Transportation Engineering**, 2013.

YU, R., & ABDEL-ATY, M. (2014). Analyzing crash injury severity for a mountainous freeway incorporating real-time traffic and weather data. **Safety Science**, 63, 50-56.

ZHANG, T., & CHAN, A. H. (2014). Sleepiness and the risk of road accidents for professional drivers: A systematic review and meta-analysis of retrospective studies. **Safety Science**, 70, 180-188.

15. ANEXOS

Anexo 1 – Relatório de resumo de atividades

Anexo 2 – Descrição das atividades desenvolvidas pelos bolsistas

Anexo 3 – Produtos Gerados: Redução da severidade dos acidentes e do número de ocorrências nos trechos tratados

Anexo 4 – Produtos Gerados: Manual de identificação, por modelagem estatística, de criticidade de acidentes de trechos rodoviários

Anexo 5 – Produtos Gerados: Caderno de procedimentos para coleta de dados de acidentes para estudos futuros

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

ANEXO 1 – RELATÓRIO DE RESUMO DE ATIVIDADES

Período de abrangência: 01/03/2021 a 28/02/2023

REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E MODELAGEM ESTATÍSTICA

Autopista Litoral Sul

RESUMO

A presente pesquisa RDT tem como objetivo geral a redução de acidentes rodoviários por intervenções na sinalização horizontal e vertical, e na textura superficial dos pavimentos com avaliação de resultados por meio de simulador de direção e modelagem estatística. O Relatório final compreende o período total de execução do projeto, porém esse resumo contempla somente as atividades previstas e desenvolvidas entre os meses 18 e 24 da pesquisa. Nesse período, deu-se continuidade ao desenvolvimento das etapas de (i) Levantamento de dados; (ii) Processamento dos dados; (iii) Análise estatística e (iv) Elaboração do relatório. A avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização, previstas para ocorrer nesse período, não foram realizadas em virtude do deslizamento na BR 376, que gerou congestionamentos e restrições de fechamento de rodovia.

ATIVIDADES PREVISTAS PARA O PERÍODO

Para o período final do projeto, estavam previstas as seguintes etapas:

- Levantamento de dados;
- Processamento de dados;
- Análise estatística;
- Avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização;
- Elaboração do relatório.

Essas etapas estavam previstas para serem executadas entre o mês 18 e o mês 24 do cronograma físico-financeiro apresentado no Plano de Trabalho.

ATIVIDADES EXECUTADAS NO PERÍODO

O presente resumo de atividades deve ser entregue até o mês 25 a partir do início do projeto e deve contemplar as etapas previstas entre o mês 18 e mês 24, conforme cronograma físico-financeiro aprovado no Plano de Trabalho.

Durante os últimos 6 meses de desenvolvimento do projeto foram executadas e finalizadas as seguintes etapas:

- Levantamento de dados;
- Processamento de dados;
- Análise estatística;
- Elaboração do relatório.

JUSTIFICATIVA

As etapas de (i) Levantamento de dados; (ii) Processamento dos dados; (iii) Análise estatística e (iv) Elaboração do relatório; descritas no cronograma físico-financeiro apresentado no Plano de Trabalho foram cumpridas dentro do prazo estabelecido para o período entre os meses 18 e 24 do projeto.

Durante o período, não foi possível realizar a avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização, devido ao deslizamento na BR 376, que gerou congestionamentos e restrições de fechamento de rodovia.

RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Levantamento de dados

Os dados de acidentes no período foram atualizados, permitindo também a atualização das análises estatísticas.

Tratamento de dados

Os dados atualizados na etapa anterior foram tratados para possibilitar as análises estatísticas.

Análise estatística

As análises estatísticas dos acidentes nos trechos que foram objeto de alterações na sinalização e na textura superficial do pavimento foram atualizados.

Elaboração do relatório

O relatório final foi redigido.

QUADRO RESUMO – ATIVIDADES PREVISTAS X DESENVOLVIDAS

Atividades Previstas	Produtos Esperados	Atividades Executadas	Status das Atividades Executadas	Produtos Gerados
Levantamento de dados	Levantamento dos dados de acidentes no período.	Levantamento de dados	Concluída	Levantamento dos dados de acidentes no período.
Tratamento de dados	Tratamento dos dados de acidentes no período para posterior atualização das análises estatísticas.	Tratamento de dados	Concluída	Tratamento dos dados de acidentes no período para posterior atualização das análises estatísticas.
Análise estatística	Atualização das análises estatísticas da acidentalidade viária nos trechos objeto de alterações na sinalização e na textura superficial do pavimento.	Análise estatística	Concluída	Atualização das análises estatísticas da acidentalidade viária nos trechos objeto de alterações na sinalização e na textura superficial do pavimento.
Avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização	Avaliação periódica das condições superficiais do pavimento e de sinalização nos trechos objeto das alterações propostas nesse projeto.	Não houve realização de atividades devido ao deslizamento na BR 376, que gerou congestionamentos e restrições de fechamento de rodovia.	Não concluída	Não houve geração de produtos.
Elaboração do relatório	Redação, organização e formatação do relatório final.	Elaboração do relatório	Concluída	Redação, organização e formatação do relatório final.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

ANEXO 2

Descrição das atividades desenvolvidas pelos bolsistas

REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E MODELAGEM ESTATÍSTICA

Autopista Litoral Sul

Página 180 de 197

1. INTRODUÇÃO

Este anexo traz a relação detalhada das atividades desenvolvidas pelos bolsistas de mestrado e pós-doutorado com bolsas remuneradas com recursos deste projeto.

2. BOLSISTA DE MESTRADO

O seguinte aluno de mestrado foi beneficiado por bolsa deste projeto:

Eduardo Oliveira de Paula

CPF: 112.839.036-10

Telefone: (16) 99869-7956

E-mail: eduardo.paula@usp.br

Modalidade de bolsa: Bolsa complementar de mestrado

Supervisor: Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes

Regime de trabalho: 16h por semana

Título do projeto: Análise da consistência do projeto geométrico de uma rodovia brasileira de múltiplas faixas por meio do modelo inercial

Período: 20 meses

Bolsa: Bolsa complementar de mestrado

Objetivo principal: auxiliar no levantamento e na análise dos dados utilizados ao longo das diversas fases do projeto e auxiliar na redação e organização dos relatórios.

Atividades desenvolvidas:

- Elaboração de parte da revisão bibliográfica;
- Elaboração de parte das análises estatísticas iniciais dos dados de acidentes;
- Levantamento e tratamento dos dados recebidos da concessionária em diversas fases do projeto;
- Auxílio na redação, organização e formatação dos relatórios.

Resultados alcançados: análises estatísticas e elaboração dos relatórios preliminares e deste relatório final.

Produção acadêmica: os resultados alcançados e apresentados neste relatório estão em fase de formatação para submissão para revistas científicas e congressos.

Participação em eventos científicos: não houve, até a presente data, participação em eventos científicos.

3. BOLSISTAS DE PÓS-GRADUAÇÃO

Os seguintes alunos de pós-graduação foram beneficiados por bolsas deste projeto:

Orlando Yesid Esparza

CPF: 235.350.258-00

Telefone: (16) 3373-9704

E-mail: orlando@ime.usp.br

Modalidade de bolsa: Pós-doutorado

Supervisor: Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes

Regime de trabalho: 20h por semana

Título do projeto: Análise da redução de acidentes rodoviários por intervenções na sinalização horizontal e vertical, e na textura superficial dos pavimentos com avaliação de resultados por meio de simulador de direção e modelagem estatística

Período: 12 meses

Bolsa: Pós-doutorado

Objetivo principal: estabelecer critérios para identificação de segmentos críticos para redução de acidentes rodoviários, principalmente para trechos sinuosos em serras, onde se concentram a maior quantidade de acidentes graves e fatais, bem como avaliar a eficácia das soluções implantadas ao longo do tempo.

Atividades desenvolvidas:

- Levantamento de estatísticas de acidentes, como tipo, gravidade e local, com uso de geoestatística para identificação de trechos críticos;
- Tratamento dos dados para *input* em softwares aplicativos;
- Desenvolvimento de histogramas de frequência de acidentes da rodovia: quantidade por posição (quilômetro das pistas);
- Apresentação de resultados da análise estatística descritiva dos acidentes;
- Análise da evolução da taxa de severidade dos acidentes – período de 2015 até 2020;
- Definição do planejamento estatístico e da coleta de dados dos experimentos realizados no simulador de direção: definição de amostra e estatística para tratamento de dados;
- Análise estatística dos dados resultantes das coletas de dados com o equipamento de rastreamento do olhar e variáveis, tais como: reações dos condutores ao observar os diversos tipos de placas de sinalização, e nos diferentes trechos da rodovia – antes de curva e tangentes; tempo de fixação do olhar nas placas e reação;
- Análise estatística comparativa entre os cenários criados;
- Análise estatística tipo “antes” e “depois” das modificações nos trechos: das placas de sinalização e instalação do trecho com alteração no revestimento superficial do pavimento;

- Análise estatística do acompanhamento da transferência dos acidentes após intervenção nos trechos;
- Análise estatística sobre a efetividade da mitigação dos acidentes e sua severidade.

Resultados alcançados: identificação de pontos críticos, identificação da melhor composição de combinação de intervenções para mitigação da acidentalidade e severidade; comprovação estatística, a partir das análises do tipo “antes “e “depois”, da diminuição dos acidentes e da sua severidade.

Produção acadêmica: os resultados alcançados e apresentados neste relatório estão em fase de formatação para submissão para revistas científicas e congressos.

Participação em eventos científicos: não houve, até a presente data, participação em eventos científicos.

Aurenice da Cruz Figueira

CPF: 597.100.982-68

Telefone: (16) 3373-9604

E-mail: aurefig@gmail.com

Modalidade de bolsa: Pós-doutorado

Supervisor: Profa. Dra. Ana Paula Camargo Larocca

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes

Regime de trabalho: 20h por semana

Título: Desenvolvimento de cenário virtual para análise de sinalização em simulador de direção para mitigação de acidentalidade em rodovia federal

Período: 9 meses

Bolsa: Pós-doutorado

Objetivo principal: desenvolvimento de cenário virtual de trecho de estudo de rodovia federal para análise de sinalização de projeto a partir da avaliação do comportamento do condutor a fim de validar a sinalização antes da implantação em campo a partir de dados compartilhados e coletados *in loco*

Atividades desenvolvidas:

- Tratamento de dados (arquivos *dwg*, e levantamento de campo) para a reconstrução da geometria do traçado do trecho de estudo em software aplicativo específico para construção do cenário virtual;
- Filmagem do trecho *in loco* para suporte à construção do cenário em software aplicativo específico;
- Levantamento de todos os elementos existentes na infraestrutura da rodovia, para confecção em software aplicativo específico o para replicação no cenário virtual;
- Identificação das coordenadas (localização) dos elementos da infraestrutura para replicação no cenário virtual;
- Levantamento de todos os elementos de sinalização existentes para confecção em software aplicativo específico e replicação no cenário virtual;
- Identificação das coordenadas (localização) dos elementos de sinalização horizontal e vertical para replicação no cenário virtual;
- Criação dos novos elementos de sinalização para testes dos cenários elaborados para percepção do risco pelo condutor;
- Criação das alterações para os cenários definidos para testes da percepção do risco pelo condutor

Resultados alcançados: criação dos ambientes virtuais – cenários – para a realização de testes no simulador de direção com convidados.

Produção acadêmica: os resultados alcançados e apresentados neste relatório estão em fase de formatação para submissão para revistas científicas e congressos.

Participação em eventos científicos: não houve, até a presente data, participação em eventos científicos.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

ANEXO 3

Produtos Gerados: Redução da severidade dos acidentes e do número de ocorrências nos trechos tratados

REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E MODELAGEM ESTATÍSTICA

Autopista Litoral Sul

1. INTRODUÇÃO

Nos itens abaixo constam os principais resultados quanto à redução da acidentalidade viária nos trechos que foram objeto de intervenção.

2. TRECHO COM ALTERAÇÃO NO PAVIMENTO (BR376/PR Sentido Norte, de 666 km+650 a 665 km+700)

A alteração no pavimento ocorreu em fevereiro de 2022, portanto, os trimestres 2, 3 e 4 desse ano já contavam com essa condição. Com relação ao mesmo trimestre do ano anterior, foram registradas reduções de 40% para o segundo trimestre, 75% para o terceiro semestre e 67% para o quarto trimestre. Com relação à média dos mesmos trimestres dos cinco anos anteriores, foram registradas reduções de 66% para o segundo trimestre, 90% para o terceiro trimestre e 82% para o quarto trimestre. O número de acidentes por trimestre pode ser visto na tabela 32.

Tabela 32 - Número de acidentes por trimestre no trecho com alterações no pavimento

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	30	31	21	16	98
2018	14	3	6	10	33
2019	4	3	8	14	29
2020	21	2	10	9	42
2021	8	5	4	6	23
2022	3	3	1	2	9

Fonte: autoria própria

Também foram calculadas as taxas de acidentes para esse trecho (tabela 33). Com relação ao mesmo trimestre do ano anterior, foram registradas reduções de 36% para o segundo trimestre, 78% para o terceiro semestre e 77% para o quarto trimestre. Com relação à média dos mesmos trimestres dos cinco anos anteriores, foram registradas reduções de 69% para o segundo trimestre, 91% para o terceiro trimestre e 85% para o quarto trimestre.

Tabela 33 - Taxa de acidentes por 100 mil veículos por trimestre no trecho com alterações no pavimento segundo a condição da pista

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	168,24	235,89	142,20	96,52	642,85
2018	70,75	21,16	38,42	57,98	188,30
2019	21,50	20,78	49,34	83,73	175,35
2020	92,19	20,70	57,54	53,39	223,81
2021	40,30	31,76	25,10	44,12	141,28
2022	11,51	20,42	5,64	10,12	47,70

Fonte: autoria própria

3. TRECHO COM ALTERAÇÃO NA SINALIZAÇÃO (BR376/PR Sentido Norte, de 667km a 650km)

A alteração na sinalização também ocorreu em fevereiro de 2022 e, portanto, os trimestres 2, 3 e 4 desse ano já contavam com essa condição. Com relação ao mesmo trimestre do ano anterior, foi registrada uma redução de 22% para o segundo trimestre, se manteve praticamente estável, considerando o aumento do volume diário médio, para o terceiro semestre e redução de 49% para o quarto trimestre. Com relação à média dos mesmos trimestres dos cinco anos anteriores, foram registradas reduções de 44% para o segundo trimestre, 22% para o terceiro trimestre e 58% para o quarto trimestre. O número de acidentes por trimestre pode ser visto na tabela 34.

Tabela 34 - Número de acidentes por trimestre no trecho com alterações na sinalização

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	198	105	91	132	526
2018	122	80	57	128	387
2019	121	87	111	139	458
2020	105	69	74	92	340
2021	77	58	60	96	291
2022	80	45	61	49	235

Fonte: autoria própria

Também foram calculadas as taxas de acidentes para esse trecho (tabela 35). Com relação ao mesmo trimestre do ano anterior, foram registradas reduções de 26% para o segundo trimestre, 2% para o terceiro semestre e 54% para o quarto trimestre. Com relação à média dos mesmos trimestres dos cinco anos anteriores, foram registradas reduções de 51% para o segundo trimestre, 32% para o terceiro trimestre e 56% para o quarto trimestre.

Tabela 35 - Taxa de acidentes por trimestre no trecho com alterações de sinalização segundo a condição da pista

Ano	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
2017	1151,19	800,16	632,25	816,21	3399,81
2018	648,34	661,06	393,51	786,39	2489,30
2019	639,93	576,35	718,59	834,22	2769,09
2020	462,10	596,29	474,44	502,46	2035,29
2021	396,32	404,48	359,28	691,06	1851,14
2022	393,97	300,62	351,71	316,17	1362,46

Fonte: autoria própria

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

ANEXO 4

Produtos Gerados: Manual de identificação, por modelagem estatística, de criticidade de acidentes de trechos rodoviários

REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E MODELAGEM ESTATÍSTICA

Autopista Litoral Sul

Página 191 de 197

1. INTRODUÇÃO

O tratamento dos pontos críticos das rodovias é uma forma eficiente de reduzir os acidentes, bem como a sua severidade e pode ser utilizado por qualquer gestor de rodovia. Sua aplicação pode ser estendida a outros órgãos que desenvolvam ações relacionadas com a segurança viária, em aderência à engenharia de tráfego. O esforço é direcionado para o tratamento de locais críticos onde, efetivamente, o risco de ocorrência de acidentes já esteja evidente e materializado.

2. LEVANTAMENTO DOS DADOS

Primeiramente, e sempre, é requisito básico ter acesso à banco de dados de acidentes contando com descrição com os seguintes itens:

- Identificação do local, preferencialmente com dados georreferenciados;
- Data e hora;
- Tipo de ocorrência (acidente apenas com danos materiais, acidente com vítimas não-fatais e acidentes com vítimas fatais);
- Tipo de acidente;
- Causa provável;
- Identificação/aparência, quando possível, do estado do condutor – sob efeito de álcool, substâncias químicas; sonolência;
- Quantidade e tipo dos veículos envolvidos;
- Condição operacional dos veículos envolvidos;
- Quantidade de vítimas por tipo (leves, moderadas, graves e fatais);
- Descrição do acidente;
- Descrição da dinâmica do acidente a partir dos registros das câmeras de monitoramento;
- Condição de visibilidade (boa, parcial ou ruim);
- Condição do tempo (tempo bom, neblina, chuva, garoa etc.);
- Condição da pista (seca ou molhada);
- Condição especial (animal na pista, óleo na pista, fumaça etc.);
- Condição da sinalização horizontal e vertical;

- Condição do pavimento.

Além disso, recomenda-se fortemente a coleta de velocidade operacional e de dados da condição do clima e microclima (recomenda-se a instalação de estações meteorológicas ao longo de trechos sinuosos de rodovias em regiões montanhosas a cada 20 km, distância máxima em que se considera que as condições atmosféricas são semelhantes).

3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Sugere-se os seguintes procedimentos para identificação dos trechos críticos:

- Análise geoestatística (estimador de densidade de kernel);
- Histograma de frequência dos acidentes;
- Mapas de calor (*heatmaps*) da frequência de acidentes por ano x km e da frequência de acidentes por tipo x km;
- Cálculo do índice de severidade e da taxa de severidade preconizados pelo DENATRAN (1987).

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

ANEXO 5

**Produtos Gerados: Caderno de procedimentos para coleta de dados de acidentes
para estudos futuros**

**REDUÇÃO DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS POR INTERVENÇÕES NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E
VERTICAL, E NA TEXTURA SUPERFICIAL DOS PAVIMENTOS COM AVALIAÇÃO DE RESULTADOS
POR MEIO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO E MODELAGEM ESTATÍSTICA**

Autopista Litoral Sul

1. INTRODUÇÃO

Para assegurar a disponibilidade dos dados necessários para estudos futuros, bem como a exploração dos problemas de segurança viária por variadas áreas de pesquisa, é importante que diversas informações sobre o acidente sejam coletadas. São fundamentais:

- Identificação do local, preferencialmente com dados georreferenciados;
- Data e hora;
- Tipo de ocorrência (acidente apenas com danos materiais, acidente com vítimas não-fatais e acidentes com vítimas fatais);
- Tipo de acidente;
- Causa provável;
- Identificação/aparência, quando possível, do estado do condutor – sob efeito de álcool, substâncias químicas; sonolência;
- Quantidade e tipo dos veículos envolvidos;
- Condição operacional dos veículos envolvidos;
- Quantidade de vítimas por tipo (leves, moderadas, graves e fatais);
- Descrição do acidente;
- Descrição da dinâmica do acidente a partir dos registros das câmeras de monitoramento;
- Condição de visibilidade (boa, parcial ou ruim);
- Condição do tempo (tempo bom, neblina, chuva, garoa etc.);
- Condição da pista (seca ou molhada);
- Condição especial (animal na pista, óleo na pista, fumaça etc.);
- Condição da sinalização horizontal e vertical;
- Condição do pavimento.

Nos itens seguintes, os pontos mais importantes desse processo serão tratados.

2. IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO ACIDENTE

A identificação precisa do local do acidente é fundamental para determinar corretamente os pontos críticos de uma rodovia. Nesse sentido, é indicada a coleta de dados georreferenciados, seja usando um tablet ou dispositivo semelhante, pois concilia a precisão necessária com a praticidade para coleta desses dados em campo. Na falta de um dispositivo desse tipo, uma alternativa é recorrer a marcações no bordo da pista. Tais marcações devem ser feitas a cada 100 m no mínimo. Dessa forma, a equipe pode usar um odômetro, percorrendo desde a marcação mais próxima até o local do acidente para registrar o local com maior exatidão. É importante salientar, neste caso, que atenção especial deve ser tomada no momento de estabelecer os locais das marcações, pois os erros nessa etapa serão propagados ao longo do processo e podem prejudicar consideravelmente a precisão do produto final. Nesse sentido, é importante usar uma base de referência comum entre todas as equipes envolvidas no processo e sempre registrar eventuais exceções que venham a surgir e demandem tratamento especial, como por exemplo, divergências entre os comprimentos dos trechos analisados que ocorrem quando as pistas não são paralelas. Além disso, como as marcações sofrem desgaste pela chuva e outras intempéries, é importante reforçar sua pintura a cada período.

3. ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Para manter a consistência dos registros, as informações devem ser coletadas em uma planilha padronizada, preferencialmente de forma digital usando aplicativo especializado, por uma equipe usando tablet ou aparelho similar. Caso seja coletado em planilha de papel, é importante que os dados posteriormente sejam digitalizados, com especial atenção para manter a precisão dos dados coletados. Após o processo, é importante armazenar as planilhas originais para formação de um registro histórico dos acidentes.

4. CAPACITAÇÃO DA EQUIPE

Toda a equipe envolvida no processo deve ser orientada a preencher e processar as planilhas com especial atenção e procurar preencher todos os campos, para manter a qualidade e a consistência dos dados coletados. Para tal, recomenda-se que a equipe envolvida no processo seja capacitada por meio de treinamentos, ressaltando a importância do trabalho para a melhoria da segurança no trânsito.

