



**2º SIMPÓSIO DE TRANSPORTES DO PARANÁ**  
**3º SEMINÁRIO EM AEROPORTOS E TRANSPORTE AÉREO**  
**3º URBANIDADE**



Anelise Schmitz (Organizadora)

Diego Fernandes Neris (Organizador)

Sergio Tadeu Gonçalves Muniz (Organizador)

2º Simpósio de Transportes do Paraná

3º Seminários em Aeroportos e Transporte Aéreo

3º Urbanidade

Curitiba

Setor de Tecnologia da UFPR



2020

Copyright ©2020, Simpósio de Transportes do Paraná (STPR), Seminários em Aeroportos e Transporte Aéreo (SATA) e Urbanidade.

ISSN: 2676-0088

DOI: 10.5380/2stpr2020.anais

### **Núcleo Editorial**

Departamento de Transportes (DTT). Setor de Tecnologia.

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, nº 100. Centro Politécnico, Bloco V

81531-990 Curitiba-PR, Brasil

Esta é uma publicação dos trabalhos aprovados e apresentados no 2º Simpósio de Transportes do Paraná, 3º Seminários em Aeroportos e Transporte Aéreo e 3º Urbanidade.

Todos os direitos reservados. O conteúdo dos trabalhos (artigos completos, comunicações técnicas ou relatórios de pesquisa em andamento) é de exclusiva responsabilidade de seus autores, que consentiram a publicação neste volume. Os autores dos trabalhos aqui disponibilizados autorizam, para fins científicos, a citação de seus trabalhos, desde que referenciados com a correspondente autoria, título do artigo/resumo, paginação, título da obra, ano e volume desta. Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada para fins econômicos ou reproduzida inteira ou parcialmente por processo mecânico, eletrônico ou outro sem a autorização escrita do editor e dos autores (de acordo com a Lei nº 9.610 de 19/02/1998).



**Corpo Editorial**

Anelise Schmitz  
Diego Fernandes Neris  
Sergio Tadeu Gonçalves Muniz

**Criação e Arte**

André Victor Igarashi

**Comitê Científico**

Anabele Lindner  
Andrea Souza  
Bárbara Stolte Bezerra  
Breno Barra  
Bruno Alexandre Brandimarte Leal  
Camilo Borges Neto  
Conrado Vidotte Plaza  
Daniane Vicentini  
Danielle Clerman  
Edu Franco  
Evelyn Paniz  
Fernando Hideki Hirose  
Garrone Reck  
Glaucia Maia de Oliveira  
Gustavo Riente de Andrade  
João Rodrigo Mattos

**Equipe de Voluntários**

André Victor Igarashi  
Danilo Carvalho dos Santos  
Fabricio Heiss Janissek  
Felipe de Bortolli Poli  
Gabriel Coltre Andrade

**Comissão Organizadora - Coordenação**

Anelise Schmitz  
Diego Fernandes Neris  
Sergio Tadeu Gonçalves Muniz

**Comissão Organizadora – Alun@s**

André Victor Igarashi  
Laura Martins Masso  
Maria Eduarda Saquetto Michelini  
Mariana Letícia de Souza

Joe Villena Del Carpio  
Jorge Tiago Bastos  
José Ricardo Vargas de Faria  
José Thomaz Mendes Filho  
Juliana Bernardes  
Karla Cristina Rodrigues Silva  
Luiz Aurélio Virtuoso  
Luiz Calhau  
Magaly Romão  
Márcia de Andrade Pereira Bernardinis  
Matheus Domingos  
Matheus Lemos Nogueira  
Roberto Gregório da Silva Junior  
Talita Barreto  
Thaís Kleinert  
Valerio Marochi

Laura Martins Masso  
Luis Henrique Alves  
Luis Henrique Menuci  
Maria Eduarda Saquetto Michelini  
Mariana Letícia de Souza

## Prefácio

Após os ótimos resultados obtidos na primeira edição do Simpósio de Transportes do Paraná (STPR), realizado em 2018, a sua segunda edição, de novembro de 2020, teve o desafio adicional de ser realizado integralmente *online*, dada a imposição da pandemia do Covid-19. Assim como em sua primeira edição, o 2º STPR ocorreu concomitantemente ao Seminário em Aeroportos e Transporte Aéreo (SATA) e ao Urbanidade, ambos em suas terceiras edições. O objetivo da realização conjunta do 2º STPR, do 3º SATA e do 3º Urbanidade foi o de reunir temáticas comuns nos campos do transporte e da mobilidade e do planejamento urbano e regional.

O Simpósio estruturou-se em três eixos temáticos: Planejamento e Operação de Transportes; Infraestrutura de Transportes e Transportes Sustentáveis.

As palestras ministradas procuraram representar esta diversidade de temáticas e a escolha dos palestrantes seguiu critérios técnicos, contemplando profissionais que são referências em suas áreas de atuação, com o propósito de propiciar aos participantes/ouvintes as últimas atualizações nos temas apresentados.

Originalmente concebido para atender as demandas locais e/ou regionais, enquanto fórum de discussão entre estudantes, professores, pesquisadores e profissionais na área de transportes, o evento suplantou em muito a sua abrangência geográfica, contando com a participação de autores e conferencistas provenientes das Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.

Os trabalhos apresentados foram de três categorias: artigo completo, comunicação técnica e relatório de pesquisa em andamento, sendo que os artigos completos compuseram a maioria dos trabalhos.

Ao lado de temas tradicionais da área de transportes, como transporte viário, segurança viária, acidentes de trânsito, transporte público, capacidade das vias, interseções urbanas, pavimentação, misturas asfálticas, rodovias, portos, ferrovias e projeto geométrico, que foram abordados por parte substancial dos trabalhos apresentados, temas emergentes como mobilidade ativa (em especial a caminhabilidade e a ciclomobilidade), *smart cities* e sustentabilidade também tiveram destaque, o que denota a importância crescente destes temas – e de seus correlatos - na área de transportes.

Agradecemos a dedicação dos professores do Departamento de Transportes da Universidade Federal do Paraná, cuja iniciativa deu origem à primeira edição em 2018 e cujos esforços resultaram nesta segunda edição e que, certamente, perdurarão nas futuras edições. O evento não teria sido possível sem a colaboração dos alunos pertencentes ao Grupo de Estudos em Transportes (GET), além dos alunos voluntários do curso de Engenharia Civil da UFPR, cujos incansáveis esforços foram fundamentais para que o evento atingisse a sua finalidade. Nossos agradecimentos também vão para os professores, pesquisadores e profissionais que compuseram o comitê científico, que se dedicaram à tarefa de seleção e revisão dos trabalhos submetidos, contribuindo de forma decisiva para a qualidade do evento e dos materiais aqui disponibilizados.

Até o próximo evento!

*Profa. Anelise Schmitz*

*Prof. Diego Fernandes Neris*

*Prof. Sergio Tadeu G. Muniz*

*Coordenação do 2ºSTPR/3ºSATA/3ºUrbanidade*

## SUMÁRIO

### **EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE TRANSPORTES**

<b>Artigos Completos</b> _____	<b>11</b>
ANÁLISE PELA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS FOCADO NA SEGURANÇA: ESTUDO DE CASO SERVIÇO DE TRANSPORTE POR ÔNIBUS LINHA 53 VIA USFCAR _____	13
Tassiane de Paula Pinheiro Coelho; Leonardo Suave; Diego Fernandes Neris	
ANÁLISE DE FATORES CONTRIBUÍNTES PARA A PERDA DA VELOCIDADE OPERACIONAL EM SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO: UM ESTUDO DE CASO _____	25
Eduardo C. Amancio; Mayra Branco; Natalia L. Cavichioli; Maria I. Iijima; Tatiana M. C. Gadda	
INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O TRANSPORTE DE TRENS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO TRENSURB _____	37
Aline Oliveira Silveira De Moraes, Anelise Schmitz, Danielle de Souza Clerman Bruxel, Juliana De Azevedo Bernardes, Viviane Gschwenter Lopes dos Santos	
PERFIL E COMPORTAMENTO DE ESTUDANTES DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UFPR QUANTO AO USO DO CELULAR AO DIRIGIR _____	51
Souza, Olivia; M. A. P, Bernardinis	
FATORES DETERMINANTES PARA O EXCESSO DE VELOCIDADE EM VIAS ARTERIAIS URBANAS _____	63
Maria Clara Suginoshita; Gabriela Rolim Ribeiro Valeixo; Pedro Augusto Borges dos Santos; Jorge Tiago Bastos	
CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS OCORRIDOS EM LOCAIS CRÍTICOS DE ACORDO COM O RISCO ASSOCIADO À RODOVIA _____	75
Tiago Augusto Pianezzer; Camila Belleza Maciel Barreto; Valter Zanela Tani; Amir Mattar Valente	
POLO GERADOR DE VIAGEM: CONTRIBUIÇÕES TÉCNICAS PARA CURITIBA _____	87
Gabrielle Afonso Pereira; Amanda Thamiris Santana de Lima	
ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS CRÍTICOS EM RODOVIAS RURAIS _____	99
Tiago Augusto Pianezzer; Jorge Destri Júnior	

### **EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE TRANSPORTES**

<b>Comunicações Técnicas</b> _____	<b>111</b>
IMPACTO DE CURVAS HORIZONTAIS NA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE INSTANTÂNEA EM CENÁRIO URBANO _____	113
Rafael A. Szeliga; Bruno H. S. Chaves; Jorge T. Bastos	
AValiação DO CONTEÚDO DOS PORTAIS DOS DEPARTAMENTOS ESTADUAIS DE TRÂNSITO - DETRANS _____	121
Pedro Augusto Borges dos Santos ; Jorge Tiago Bastos; Francisco Vieira Garonce	

LEVANTAMENTO DE EVIDÊNCIAS COMPORTAMENTAIS DE CONDUTORES UTILIZANDO GRUPOS FOCAIS _____	129
--	-----

André Victor Igarashi; Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão; Jorge Tiago Bastos

### ***EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE TRANSPORTES***

<b>Relatórios de Pesquisa em Andamento _____</b>	<b>137</b>
--	------------

PROJETO E OPERAÇÃO DE ROTATÓRIAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA _____	139
---	-----

Ana Paula Calliari; Julia Micaela Balen; Diego Fernandes Neris

ANÁLISE SOBRE A ABORDAGEM DA TEMÁTICA IMPACTOS SOCIAIS NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS CIVIS _____	143
--	-----

Luiz. G. Bernart; Philippe. C. C. Arruda; Rafael. T. Macan; Márcia. A. P. Bernardinis

### ***EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS***

<b>Artigos Completos _____</b>	<b>147</b>
--------------------------------	------------

EQUIPAMENTOS URBANOS E A MOBILIDADE REDUZIDA: Um Estudo no Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier _____	149
---	-----

Helena P. Schulze; Márcia A. P. Bernardinis; Fernanda G. Goes

ANÁLISE DO ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE NO CENTRO DA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL, RS ____	161
---	-----

Caroline Castilhos Rezende; Rafael do Nascimento e Silva; Anelise Schmitz

ANÁLISE REGIONAL DA QUALIDADE DE CALÇADAS DO MUNICÍPIO DE FRANCA-SP _____	173
---	-----

Larissa Teodoro Oliveira; Tassiane de Paula P. Coelho; Leonardo Suave; Diego Fernandes Neris

PROPOSTA DE METODOLOGIA E AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA CICLOVIÁRIA DE CURITIBA ____	185
--	-----

Fernanda Gomes Goes; Bruna Caroline Gonçalves da Silva; Helena Pauline Schulze; Marcia de  
Andrade Pereira Bernardinis

OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES A PARTIR DO ROTEAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRANSBORDO E TRIAGEM: O CASO DE CARAPEBUS-RJ _____	197
---	-----

Maíra Moraes Duarte; Conrado Vidotte Plaza; Beatriz Rohden Becker; Glaydston Mattos Ribeiro

### ***EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS***

<b>Comunicações Técnicas _____</b>	<b>209</b>
------------------------------------	------------

CAMINHABILIDADE NA ÁREA INTRAURBANA DE LAJEADO/RS _____	211
---	-----

Mariana Sofia Auler; Anelise Schmitz; Matheus Lemos Nogueira

## **EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS**

### **Relatórios de Pesquisa em Andamento \_\_\_\_\_ 219**

DIAGNÓSTICO DA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL NO *CAMPUS* UNIVERSITÁRIO CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MÉTODO IMSCAMP \_\_\_\_\_ 221

Renata Emy Kuradomi; Diego Fernandes Neris

SEGURANÇA PÚBLICA E MOBILIDADE ATIVA: RELAÇÃO (IN)VISÍVEL NA CONSOLIDAÇÃO DA BICICLETA EM DESLOCAMENTOS URBANOS \_\_\_\_\_ 225

William Willrich; Márcia de Andrade Pereira Bernardinis

LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIONAL MATRIZ DE CURITIBA \_\_\_\_\_ 231

Gustavo Claudino Clemente; Carlos Augusto de Sá Ribas Santos; Sergio Tadeu Gonçalves Muniz

QUALIDADE DE VIDA EM CURITIBA: UMA AVALIAÇÃO SOB A ÓTICA DAS SMART CITIES \_\_\_\_\_ 237

Rodrigo Otávio Fraga Peixoto de Oliveira; Laura Panichi da Motta e Camanducaia; Márcia de Andrade Pereira Bernardinis; Marcus Vinicius Theodoro de Camargo

## **EIXO TEMÁTICO: INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

### **Artigos Completos \_\_\_\_\_ 242**

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS BIM E SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO \_\_\_\_\_ 243

Gosch, Alessandra Costa; Luz, Cristhyano Cavali da; Ratton, Eduardo

ELABORAÇÃO DO DESAFIO RODOVIÁRIO - FASE 1: ESTUDO E VIABILIDADE DA ADAPTAÇÃO DO PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS EM ESCALA REDUZIDA \_\_\_\_\_ 255

M. Michelini; F. Janissek; L. Masso; M. Souza; D. Vicentini

CONFLITOS FERROVIÁRIOS EM PASSAGENS EM NÍVEL: UMA ABORDAGEM DOS CASOS CRÍTICOS EM CURITIBA, PR \_\_\_\_\_ 267

Júlia Balen; Maria Eduarda Saquetto Michelini; Luis Henrique Menuci; Anelise Schmitz

MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO PMF E CA: UMA AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA COMPARATIVA \_\_\_\_\_ 279

Breno Salgado Barra; Yader A. Guerrero Pérez; Alexandre Mikowski; Marcelo Heidemann; Helena P. Nierwinski

IMPACTO DE DIFERENTES MATRIZES BETUMINOSAS NOS PARÂMETROS VOLUMÉTRICOS E MECÂNICOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS \_\_\_\_\_ 291

Breno Salgado Barra; Yader A. Guerrero Pérez; Daniel Hastenpflug; Lilian Kethelyn Brum Maciel Rodrigues; Ruan Marcos Xavier

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DAS CINZAS DE TERMELÉTRICA APLICADAS EM MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS \_\_\_\_\_ 303

Estéfani Clara; Breno Salgado Barra; Leto Momm; Alexandre Mikowski; Adriana Goulart dos Santos

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO TEOR DE LIGANTE EM PROJETOS DE CONCRETO ASFÁLTICO _____	315
Christiane da Silva Deolindo; Matheus Lemos Nogueira; Anelise Schmitz; Jéssica Santos Rossi	
PROPOSTA DE PAVIMENTO RÍGIDO E INTERTRAVADO PARA PROJETO DE TERMINAL DE ÔNIBUS EM JOINVILLE-SC _____	327
Breno Salgado Barra; Yader A. Guerrero Pérez; Alexandre Mikowski; Marcelo Heidemann; Helena P. Nierwinski	
ANÁLISE DE MODELOS PARA PREVISÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COMPACTO COM ROLO _____	339
Hedelvan Emerson Fardin	
INOVAÇÕES EM UMA USINA MÓVEL DE RECICLAGEM DE RCD PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA PAVIMENTAÇÃO _____	351
Leonardo Fagundes Roseback Miranda, Thaísa Mariana Santiago Rocha, Vanessa Vogt, Antônio Acácio de Melo Neto	
USO DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS COM CAL EM PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS NA REGIÃO DE CURITIBA-PR _____	363
Rafael Witiuk; Beatriz Pozzebon; Mayara Gomes; José Carlos Silva Filho	
AValiação DOS CRITÉRIOS DE PROJETO PARA ESTRUTURAS DE ACOSTAGEM DE NAVIOS: ESTUDO DE CASO APLICADO AO TERMINAL PORTUÁRIO PÚBLICO DE ITAJAÍ-SC _____	375
Helena Paula Nierwinski; Leandro Podda; Marcelo Heidemann; Breno Salgado Barra	

### ***EIXO TEMÁTICO: INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES***

<b>Relatórios de Pesquisa em Andamento _____</b>	<b>387</b>
PROPOSIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO MESTRE DE MANUTENÇÃO PARA PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM _____	389
Ingrid Rebouças de Moura; Herbert Ricardo Garcia Viana	

---

**EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E  
OPERAÇÃO DE TRANSPORTES**

---

**Artigos Completos**

---





# ANÁLISE PELA PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS FOCADO NA SEGURANÇA: ESTUDO DE CASO SERVIÇO DE TRANSPORTE POR ÔNIBUS LINHA 53 VIA USFCAR

*Tassiane de Paula Pinheiro Coelho<sup>1</sup>; Leonardo Suave<sup>2</sup>; Diego Fernandes Neris<sup>3</sup>*

*<sup>1,3</sup> Universidade de Franca UNIFRAN e Universidade Federal do Paraná UFPR;  
tdcoelho@unifran.edu.br, diego.neris@ufpr.br*

*<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos UFSCar; leonardosuave@estudante.ufscar.br*

## RESUMO

A proposta deste artigo visa analisar condições/qualidade do veículo público, o ônibus em questão, pela percepção dos próprios usuários, referente a linha 53 Jockey Clube x Maria Stella Fagá – Via UFSCar, localizada na cidade de São Carlos/SP. Foram avaliados na literatura bibliográfica conceitos de qualidade, conforto, efeitos à saúde e segurança. A metodologia utilizada foi baseada em questionários e entrevistas propostas aos usuários deste transporte, por um período de aproximadamente quatro meses, com isso foram feitas análises dos dados obtidos. A superlotação e falta de segurança foram apontadas como principais defeitos no decorrer do artigo, o resultado fundamental obtido foi que aproximadamente 42% dos entrevistados acusam falta de segurança, desconforto em relação ao uso deste transporte, que não possibilita melhores condições. As propostas são de avaliar as condições de segurança, saúde, conforto e qualidade oferecida por esta linha de transporte, e por fim estabelecer algumas propostas viáveis para esta situação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte viário, ônibus, segurança.

## ABSTRACT

*The proposal of this article aims to analyze conditions / quality of the bus public transport, the bus in question, by the perception of the users themselves, referring to line 53 Jockey Club x Maria Stella Fagá - Via UFSCar, located in the city of São Carlos / SP. Concepts of quality, comfort, health and safety effects were evaluated in the bibliographical literature. The methodology used was based on questionnaires and interviews proposed to the users of this transport, for a period of approximately four months, with which the data were analyzed. Overcrowding and lack of safety were identified as main defects throughout the article, the main result was that approximately 42% of the interviewees accused of lack of safety, discomfort in relation to the use of this transport, which does not allow better conditions. The proposals are to evaluate the conditions of safety, health, comfort and quality offered by this transport line, and finally to establish some viable proposals for this situation.*

**KEYWORDS:** Road transport, buses, security.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Freitas et al. (2011) o transporte público via ônibus é considerado o principal meio de locomoção em nosso país, devido a alguns fatores como: maior abrangência de malha rodoviária, regularidade de serviços, valor de tarifas acessíveis, entre outros fatores.



De acordo com Eboli e Mazulla (2007) citados por Freitas et al. (2011), consideram alguns critérios importantes para se obter uma análise de qualidade do transporte público, alguns deles são os números de ônibus por linha, tempo de espera, acessibilidade, espaço interno do ônibus, superlotação, ruídos, segurança, acesso a informações, conforto dos usuários, limpeza, entre outros. Já os autores Ferraz e Torres (2004) abordam critérios como temperatura, acessibilidade, números de portas, comportamento motorista/cobrador, conforto, segurança, lotação, assentos, tempo entre outros. O destaque está em que ambos os autores consideram a importância da segurança, conforto e acessibilidade.

Os conceitos abordados na literatura bibliográfica realça a segurança oferecida aos usuários, efeitos e defeitos na saúde dos passageiros, conforto e qualidade disponibilizada. A situação agravante pela falta de segurança e qualidade oferecida por este meio de transporte foi o que levou de fato o fundamento deste estudo de caso da linha 53 – Via UFSCar, uma justificativa adequada a este tema está relacionada a uma análise para propor melhorias a esta situação que infelizmente tornou-se comum. A proposta dada é analisar dados obtidos em campo por meio de questionários, comparando situações como superlotação, falta de conforto e segurança, condições dos assentos, ocorrência de acidentes e entre outros fatores. O principal objetivo é poder contribuir para análise da questão da falta de segurança e qualidade no ônibus segundo a percepção dos próprios usuários.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Martins (2019), menciona que o referencial teórico é um tópico fundamental para realizar pesquisa e trabalhos acadêmicos, uma vez que, é necessário analisar os estudos recentes, com o intuito de analisar se o estudo abordado apresenta comprovação e contribuição científica e acadêmica para a sociedade.

A etapa referencial teórica implica analisar itens voltados para a segurança interna e externa disponível no transporte público via ônibus, diante disso, foram abordados temas como: i. características de transporte via ônibus; ii. efeitos de má segurança e iii. defeitos e segurança.

### **2.1. Características do transporte via ônibus**

Segundo Silva e Schlag (2017) O grande papel do transporte por via ônibus é promover mobilidade, acessibilidade, integração em áreas sociais e econômicas, e principalmente



qualidade e segurança de vida aos usuários. Silveira et al. (2002) abordado por Marins (2007) afirmam que algumas características procuradas pelos usuários de transporte público são a confiabilidade, responsabilidade, empatia, segurança, acessibilidade, conforto, entre outras que estão ilustradas na tabela 1.

Tabela 1 – Características da qualidade do transporte público segundo os usuários

<b>Características</b>	<b>Descrição</b>
Confiabilidade	Continuidade no cumprimento do serviço prometido
Responsabilidade	Prestação no atendimento das solicitações inerentes aos serviços
Empatia	Aspectos relacionados ao tratamento com o cliente
Segurança	Esforços empregados na minimização de riscos
Tangibilidade	Elementos materializados presentes no serviço
Ambiente	Contexto em que o serviço é prestado
Conforto	Condições das poltronas, iluminação e ventilação
Acessibilidade	Facilidade de acesso ao serviço e informações prestadas ao provedor
Preço	Valor pago pelo serviço
Comunicação	Informações disponibilizadas que permitem o uso adequado do serviço
Imagem	Elementos que permitem identificar o provedor como referência na prestação do serviço
Interatividade	Contatos com os responsáveis pela prestação do serviço

Fonte: Martins (2007).

## 2.2. Efeitos da falta de segurança

“Serviço adequado é o que satisfaz as condições de pontualidade, regularidade, continuidade, segurança, eficiência, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas.” (BRASIL, 2013).

Segundo Silva e Correia (2012) em relação ao conforto analisa-se tanta a exposição ao ruído como efeitos de vibração no corpo dos passageiros e motorista/cobrador. O interior do ônibus expõe à vibração ao corpo inteiro, o que pode levar a alguns danos a saúde.

Alguns efeitos causados por vibração do corpo inteiro são a perda de equilíbrio, lentidão de reflexos, apresentação de distúrbios visuais como visão turva, enjoo, gastrite, comprometimento de determinados órgãos do corpo e a degeneração do tecido muscular e nervoso, entre outros efeitos danosos. Lembrando que o corpo humano reage de diferentes maneiras quando exposto às vibrações, e que vibração de corpo inteiro está relacionada a alguns trabalhos em veículos como tratores, caminhões, aviões, navios e em destaque os ônibus. (empresa POLIMED – Medicina do Trabalho)



Seguindo o pensamento dos autores Debortoli e Okimoto (2009) expressão sobre o conforto dos assentos de ônibus, em que os usuários adotam diferentes posições e/ou posturas, ajuste do tronco no encosto do assento para buscar o alívio da pressão na região do lombar e também buscar aliviar o desconforto provocado pela coxa com a base do assento.

Quando a configuração estatística natural da coluna é respeitada e não exige esforço, cansaço e dor ao usuário do transporte público considera-se uma situação de postura adequada, assim aos usuários são oferecidos condições, conforto e qualidade suficiente para poder permanecer neste local por mais tempo. (Nascimento, 2003)

Segundo Itiro Iida (2016) os principais objetivos do estofamento é aliviar a carga corporal disposto sobre coluna, pernas e pés, com a função de assegurar um assento adequado, assim mantém uma postura estável e segura, propondo alívio das tensões nas articulações e relaxamento dos músculos, ou seja, conforto e qualidade ao usuário. Em relação ao estofamento dos assentos, muito macios não são considerados adequados em assegurar as pressões distribuídas no corpo, e também não possibilitam um bom suporte. Em relação às pressões distribuídas, as regiões como nádegas e pernas não suportam pressões, o que leva as dores e fadiga devido ao estrangulamento da circulação sanguínea nos capilares. Porém, um estofamento intermediário, ou seja, uma faixa média de maciez leva a certos benefícios como a redução desta distribuição da pressão e não prejudica a posição e postura do usuário no transporte público.

### **2.3. Defeitos e segurança**

Milhões de Brasileiros utilizam o transporte público ônibus, a empresa que disponibiliza este serviço tem o dever de oferecer e garantir condições de regularidade, eficiência, segurança e generalidade aos usuários deste meio de transporte. (Miranda, 2017)

De acordo com o artigo 22 do Código do Consumidor (1990): “Os órgãos públicos, por si ou suas empresas, concessionárias, permissionárias ou sob qualquer outra forma de empreendimento, são obrigados a fornecer serviços adequados, eficientes, seguros e, quanto aos essenciais, contínuos.”

O Código do Consumidor (1990) esclarece que: “Nos casos de descumprimento, total ou parcial, das obrigações referidas neste artigo, serão as pessoas jurídicas compelidas a cumpri-las e a reparar os danos causados, na forma prevista neste código”.

Segundo o direito do brasileiro, é possível requerer ao Poder Judiciário em que as concessionárias de transporte público transportem os passageiros em veículos em bom estado, transportem passageiros no limite da lotação do veículo, não atingindo a superlotação (ver figura 1), e que os veículos sejam suficientes para atender a demanda de cada cidade, e os horários impostos, caso não ocorra, é possível a condenação das concessionárias em fazer pagamentos de indenização por danos morais coletivos e/ou individuais referente as falhas na prestação do serviço. (Miranda, 2017)

De acordo com Comissão de Viação e Transportes (2017), é considerada infração gravíssima excesso de lotação em transporte de passageiros, a infração poderá ser punida com multa majorada em cinco vezes e retenção do veículo para regularização.



Figura 1 – Ilustração parte interna de um ônibus, exemplo clássico de superlotação  
Fonte: Miranda (2017).

Segundo Ferraz e Torres (2004), para analisar diferença entre lotação e superlotação tem-se parâmetro de avaliação de passageiro em  $\text{pé/m}^2$ , visto que lotação está entre 4 e 5, e superlotação valor de aproximadamente 6,7 passageiros em  $\text{pé/m}^2$ .

De acordo com Assessoria em Segurança e Higiene Ocupacional (2009) afirmam que: “Ruído é a mistura de sons ou tons, cujas frequências diferem entre si por um valor inferior ao poder de discriminação de frequência do ouvido, ou seja, é qualquer sensação sonora considerada indesejável.”

Lacerda (2010), Miedema (2007), Babish (2003), conforme citado por Silva e Correia (2012), mencionam que o ruído também está presente no interior dos transportes públicos, o tráfego de veículos, e podem provocar alguns efeitos na saúde dos usuários, como incômodo,



distúrbio no sono, doença isquêmica do coração, entre outros efeitos que são prejudiciais á saúde tanto dos passageiros, como principalmente dos motoristas e cobradores.

Outras consequências e efeitos na saúde provocados a exposição do ruído são a irritação, aumento da pressão arterial, taquicardia, surdez, infarto, dores de cabeça, cansaço, lembrando que estes efeitos dependem do nível de intensidade do ruído e do tempo de exposição a ele. (Assessoria em Segurança e Higiene Ocupacional, 2009)

### **3. METODOLOGIA**

O estudo de caso apresenta essa metodologia de análise da qualidade, conforto e segurança do transporte público, ônibus, do município de São Carlos – SP composto por 246.088 habitantes. (IBGE, 2017).

A linha do estudo de caso é a Linha 53 – Jóquei Clube x Maria Stella Fagá – Via UFSCar, horário do transporte é de 00:35 (hora e 35 minutos), esta linha passa por 68 pontos de parada (por volta de 35km de rota) e aproximadamente mais de 60% é utilizada por estudantes da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Foi realizada uma pesquisa quantitativa com abordagem pessoal e questionário por forma de e-mail a um grupo selecionado que utiliza esta linha de ônibus, em sua grande parte estudante, atendendo o critério de escolha por serem os maiores usuários desta linha de estudo, e motorista/cobrador (sujeitos ao ruído externo ocasionado pelo trânsito), atingindo um total de 50 pessoas entrevistadas. As perguntas foram focadas em seguridade, confiabilidade, segurança, conforto, ruídos, acidentes, análise de dores no corpo e por fim, uma forma generalizada de classificar a qualidade desta linha pela visão dos próprios usuários.

As respostas tanto do questionário e das entrevistas tem com o principal objetivo avaliar a qualidade, conforto e segurança pela visão dos passageiros da linha 53. A pesquisa foi realizada durante um período específico, a partir do dia 21 de agosto de 2017, início de aulas na Universidade Federal de São Carlos, até o término do semestre letivo de 2017, 22 de dezembro de 2017, aproximadamente 4 meses. Foi escolhido este período com a intenção de obter maior visualização dos usuários, pois não é adequado fazer pesquisa de campo em períodos de férias escolares, onde a demanda é menor outros pesquisadores.



#### 4. RESULTADOS

Para obter os resultados em relação ao objetivo da pesquisa foi analisada a frequência do uso da linha 53 por semana pelos usuários, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 – Frequência do uso da linha 53

Frequência de uso semanal	Percentual(%)
1 dia	8
2 dias	6
3 dias	8
4 dias	26
5 dias	44
6 dias	5
7 dias	3

Fonte: Autoria própria

De acordo com a pesquisa (tabela 3), foi abordado que 96% dos entrevistados passaram por situação de lotação e 90% passaram por superlotação referente a linha 53 do estudo de caso, percentual elevados, que infelizmente tornou-se comum aos usuários desta linha, destacando os percentuais de 30% e 20%, respectivamente significa que mais de 20 vezes e 50 vezes passaram pela situação de superlotação, o percentual de 18%, classificam os itens segurança, limpeza, ventilação e conforto no interior do ônibus, como péssimos, 34% em ruim e 30% mediano.

Tabela 3 – Fatores influenciados pela superlotação

Efeitos de Superlotação	
Machucar/Escorregar	18%
Obrigado(a) a ficar nos degraus das portas de entrada e saída	72%
Perder o ponto de parada	34%
Desconforto relacionado a falta de assento	88%
Dores no corpo, específico: pernas, coxas e braços	82%
Tempo máximo em pé (mais de 20 minutos)	56%

Fonte: Autoria própria



Em termo geral os usuários classificaram a segurança desta linha de acordo com a tabela 4. No item segurança, está relacionada de maneira geral a possibilidade de ocorrer acidentes de trânsito e/ou infraestrutura de veículos.

Tabela 4 – Segurança Linha 53 – percepção dos usuários: critérios avaliados

<b>Itens</b>	<b>Percentual</b>
Bom	10%
Médio	26%
Ruim	42%
Péssimo	22

Fonte: Autoria própria

Seguindo a linha dos questionários, foi considerado 18% dos usuários/passageiros, passaram pela situação de se machucar e/ou escorregar pelo fato da segurança na parte interna do ônibus. Os valores críticos deste total estão os 8 % passaram por esta situação mais de 4 vezes e 10% passaram por esta situação mais de 2 vezes. Foi relatado segundo o estudo de caso, cerca de 92 % dos entrevistados consideram os degraus das portas de entrada/saída dos ônibus local inseguro, em torno de 10 % passaram por esta situação mais de 20 vezes, 12% passaram por mais de 10 vezes esta situação, aproximadamente 18% passaram por esta situação mais de 5 vezes e por fim, 32% passaram por esta situação mais de 2 vezes. Foi abordado também que 4% consideram ficar neste local como o local mais acessível, não considerando o risco de permanecer no local considerado inadequado e inseguro. Enfim, 100% dos usuários, relatam que estes acontecimentos estão relacionados a superlotação que leva a falta de qualidade, conforto e principalmente a segurança.

Tabela 5 – Percentual relacionado aos fatores que causam efeitos na saúde dos usuários

<b>Fatores prejudiciais à saúde dos usuários</b>	
Ruídos	72%
Vibração no corpo	74%
Dores no corpo, específico, pernas, coxas e braços	82%
Estresse/Desconforto	90%

Fonte: Autoria própria



Em relação ao ruído, cerca de 72% consideram um desconforto, porém dentro deste percentual, 16% o classificam suportável, 18% aborda como situação mediana, e por fim 38% consideram irritante.

Em relação à vibração do corpo, por volta de 74% dos usuários passaram por este incomodo, onde 10% passaram por esta situação mais de 2 vezes, 20% mais de 5 vezes, 18% mais de 10 vezes, e por fim 26% mais de 20 vezes.

Em torno de 86% classificam que os ônibus proporcionam situações que possam provocar sua saúde, tanto o estresse, quanto o desconforto corporal, dentre este percentual 56 % (generalizado como item ruim) consideram que os ônibus não oferecem qualidade a saúde dos usuários, 20 % consideram condições péssimas que são oferecidas aos passageiros, 6% consideram absurdo a falta de segurança em relação a roubos que ocorrem regularmente no ambiente de transporte e apenas 4% consideram a qualidade oferecida a saúde, segurança e conforto em uma classificação de bom estado.

## 5. CONCLUSÕES

Como abordado no capítulo 4, os resultados obtidos mostraram elevados percentuais em relação à saúde dos passageiros e conseqüentemente motorista/cobrador também são afetados pelos efeitos causados pela baixa qualidade oferecida pelo transporte público, ônibus, estudo de caso linha 53.

Como visto 42% consideram possibilidade de ocorrer acidentes de trânsito e/ou infraestrutura de veículos, devido a falta de qualidade, conforto que este meio de transporte oferece. Percentual de 66% considerado ruim a qualidade dos assentos, e como foi apresentada na literatura bibliográfica a sua importância na qualidade destes que podem influenciam de maneira negativa em nossa saúde, assim como ruídos (72%) e vibração no corpo inteiro (74%), entre outros fatos que foram abordados.

O episódio de superlotação e seus efeitos na saúde dos usuários são de extrema importância, levando em conta que são pequenos detalhes que geram grandes efeitos negativos tanto a saúde como a segurança do próprio que o utiliza este meio.

A metodologia mostrou-se adequada, apontou os principais pontos críticos da linha de estudo (53), abordou a importância a estes detalhes que na maioria das vezes não são associados pelos pontos levantados no decorrer do artigo, o que facilita para orientar melhor os usuários sobre os riscos que passam.



O aumento da linha de estudo é afirmado como melhoria adequada, pois como abordado, a demanda é elevada, assim, evitaria a superlotação, qual implica em vários fatores e efeitos em relação a saúde, segurança, conforto e qualidade dos que utilizam. Seguido por reparos na qualidade interna, tanto na maciez dos assentos, como nos ruídos que são prejudiciais a exposição deste, vibração do corpo inteiro que foi um dos alvos apontados para observação, pelo fato de passageiros repararem maior intensidade nas últimas fileiras do ônibus.

O estudo de caso relacionou os principais efeitos prejudiciais abordados pelos passageiros, não sabe ao certo se a relação com a saúde e segurança é devida somente a estes fatos apontados, mas houve análises de fatores que puderam contribuir este pensamento, não totalmente exclusivo, mas como o principal foco.

## REFERÊNCIAS

ASSESSORIA EM SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAL. **O que é ruído?** 2009. Disponível em: <<https://www.asho.com.br/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BRASIL. **Decreto nº 8.803**, de 26 de agosto de 2013. Altera alíquota do Decreto nº 2.521 que dispõe sobre a exploração, mediante permissão e autorização, de serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros. Diário Oficial, Brasília, DF, Seção 1, p.1.

**Código de Defesa do Consumidor/ Lei 8.078**. 1990. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

COMISSÃO DE VIAÇÃO E TRANSPORTES. **Comissão torna infração gravíssima excesso de lotação em transporte de passageiros**. 2017. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

DEBORTOLI, A; OKIMOTO, M. L. L. R. **Avaliação dos assentos de ônibus utilizado no transporte de pessoas com necessidades especiais**. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERRAZ, A. C. C. P; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. Rima Artes e Textos ed. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004.

FREITAS, A. L. P; REIS FILHO, C. A. C; RODRIGUES, F. R. Avaliação da qualidade do transporte rodoviário intermunicipal de passageiros: uma abordagem exploratória. **Transportes**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 49–61, 2011.

IBGE **Instituto brasileiro de geografia e estatística**: município de São Carlos. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 25 jan. 2018.



IIDA, I; BUARQUE, L. **Ergonomia**: projeto e produção. 1ed. Blucher, 2016

MARINS, C. S. **Uma Abordagem Multicritério Para a Avaliação E Classificação Da Qualidade Do Transporte Público Por Ônibus Segundo a Percepção Dos Usuários**. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro de Ciência e Tecnologia - Laboratório de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

MIRANDA, M. B. A. **A precariedade do transporte público coletivo de passageiros**. 2017. Disponível em: . <<https://marcelobarca.jusbrasil.com.br/>> Acesso em 15 fev 2018.

NASCIMENTO, I. B. **Evolução das condições ergonômicas no posto de trabalho do motorista de ônibus urbano**. 2003. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, São Bento do Sul.

POLIMED – Medicina do Trabalho: **Os danos à saúde do trabalhador decorrentes da vibração ocupacional**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.realizaconsultoria.com.br/>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

SILVA, J. A. B; SCHLAG, F. **Aspectos tangíveis e intangíveis na definição de qualidade do transporte público** - Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação, Ensino e Extensão do CCSEH – III SEPE. Anais. [s. l.], n. 62, p. 1–5, 2017.

SILVA, L. F; CORREIA, F. N. Evaluating noise exposure levels inside the buses for urban transport in the city of Itajuba-MG, Brazil. **Revista CEFAC**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 57–64, 2012.





## ANÁLISE DE FATORES CONTRIBUÍNTES PARA A PERDA DA VELOCIDADE OPERACIONAL EM SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO: UM ESTUDO DE CASO

*Eduardo C. Amancio<sup>1</sup>; Mayra Branco<sup>2</sup>; Natalia L. Cavichioli<sup>3</sup>; Maria I. Iijima<sup>4</sup>; Tatiana M. C. Gadda<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, eduardoamancio@alunos.utfpr.edu.br*

<sup>2</sup>*Engenheira Civil, mayrabranco@live.com*

<sup>3</sup>*Mestranda em Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, natalia.cavichioli@hotmail.com*

<sup>4</sup>*Engenheira civil, email*

<sup>5</sup>*Doutora em Earth and Human Environmental Science, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, tatianagadda@utfpr.edu.br*

### RESUMO

O transporte foi incluído como um direito social fundamental pela Emenda Constitucional nº 90, entretanto, deve-se assegurar não somente o acesso ao serviço, como também a qualidade do mesmo. O planejamento, operação e gestão do sistema, deve resultar em um transporte eficiente, seguro e, concomitantemente, ágil, reduzindo o tempo gasto no deslocamento. Assim, os objetivos deste estudo foram a determinação da velocidade operacional do transporte público do Município de Toledo – Paraná e a análise estatística da influência de diferentes fatores na velocidade. Para tanto, utilizou-se os dados fornecidos pela empresa operadora do sistema, Sorriso de Toledo. As análises foram realizadas no software QGis (trajeto, pontos de parada, lombadas e semáforos) e em planilhas eletrônicas (horários de entrada e saída do ônibus no terminal). Além do cálculo da velocidade, realizou-se o teste estatístico de Pearson, com a finalidade de correlacionar a influência de cada indicador. A velocidade média do sistema foi de 22,33 km/h. Quanto aos indicadores, verificou-se maior correlação das velocidades com o número de lombadas e pontos de parada, com coeficientes de Pearson de -0,448 e -0,419, respectivamente. Com as análises, concluiu-se que os indicadores analisados exerceram influência fraca sobre as velocidades. Além disso, o sistema apresenta velocidade média satisfatória, conforme estabelecido pela literatura, entretanto, verificou-se itinerários que requerem melhorias para otimização da mesma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade urbana, transporte público, qualidade.

### ABSTRACT

*Transport was included as a fundamental social right by Constitutional Amendment nº 90, however, it must be ensured not only access to the service, but also its quality. The planning, operation and management of the system, should result in efficient, safe and concomitant, agile transport, reducing the time spent traveling. Thus, the objectives of this study were to determine the operational speed of public transport in the city of Toledo – Paraná and to analyze statistically different factors' influence on speed. For this purpose, the data provided by the company operating the system, Sorriso de Toledo, was used. The analyzes were carried out using the QGis software (route, bus stops, bumps and traffic lights) and electronic spreadsheets (bus arrival and departure from the terminal). In addition to calculating speed, Pearson's statistical test was performed,*



*with the purpose of correlating the influence of each indicator. The average speed of the system was 22.33 km/h. As for the indicators, there was a greater correlation with speeds, the number of bumps and bus stops, with Pearson's coefficient of -0.448 and -0.419, respectively. With the analyzes, it was concluded that the observed indicators influenced weakly on speeds. Moreover, the system has a satisfactory average speed, as established by the literature, however, there were itineraries that require improvements for its optimization.*

**KEYWORDS:** *Urban mobility, public transport, quality.*

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da aprovação da Emenda Constitucional nº 90 o direito ao transporte tornou-se um direito social fundamental, tais como saúde, educação, segurança, entre outros (CIDADE; LEÃO JR., 2016). Segundo a definição de Clark e Souza (2017) esses direitos não podem apenas ser oferecidos à população, mas devem ser regidos pelos princípios da eficiência e da finalidade. Neste contexto, o transporte público deve possuir padrões aceitáveis de qualidade.

A qualidade do serviço está intrinsecamente relacionada ao desempenho do sistema. Gouveia Jr., Araújo e Andrade (2018) salientam a importância de fomentar o desempenho sob o ponto de vista dos usuários existentes e potenciais, tanto para satisfazer quem já utiliza o sistema, como para incentivar a migração do transporte individual motorizado.

De acordo com Rodrigues (2006), o transporte de pessoas é um serviço que, feito com qualidade, apresenta reduzidas dificuldades. Além disso, oferece rapidez, conforto e segurança, minimizando os gastos de energia e o tempo dos usuários. Indicadores podem ser utilizados para avaliar a qualidade de um serviço público. Segundo Ferraz e Torres (2004), há doze fatores influenciadores da qualidade do transporte público por ônibus, sendo estes a acessibilidade, frequência de atendimento, tempo de viagem, lotação, confiabilidade, segurança, características dos veículos, características dos locais de parada, sistema de informações, conectividade, comportamento dos operadores e estado das vias.

O prejuízo causado pelo mal desempenho dos ônibus urbanos, principalmente na forma de redução da sua velocidade, se reflete nos custos de operação, na confiabilidade, na atratividade do sistema e nas tarifas cobradas dos usuários. Por isso, a velocidade operacional de um sistema de transporte público urbano por ônibus é uma medida direta de desempenho desse serviço (VASCONCELLOS, 2005; GOUVEIA JR.; ARAÚJO; ANDRADE, 2018). Essa grandeza é definida como a velocidade média dos ônibus, a qual sofre influência com

a presença de semáforos e cruzamentos, por exemplo (GODARTH *et al.*, 2013; CORTÉS *et al.*, 2011).

Gouveia Jr., Araújo e Andrade (2018) afirmam que um aumento na velocidade operacional pode fazer com que um sistema opere com mais ciclos por hora, reduzindo o tempo de viagem e de espera do usuário e a densidade de passageiros nos veículos. Para isso, é importante conhecer os fatores que mais influenciam na perda de velocidade operacional do transporte público, para assim tornar-se possível e efetivas as medidas de incremento de velocidade. Logo, esse estudo investiga a velocidade operacional do sistema de transporte público de uma cidade de médio porte, estratificado por diferentes linhas, sentidos, fatores e elementos contribuintes para a perda de velocidade.

## 2. METODOLOGIA

O sistema de transporte público da cidade de Toledo conta com 15 linhas, que atendem mensalmente a 260 mil passageiros, e opera sete dias na semana das 05h45min às 23h50min – com horários diferenciados nos sábados, domingos e feriados (SORRISO DE TOLEDO, 2020). Todos os veículos são equipados com GPS, o que permite o monitoramento constante de sua localização, horários de entrada e saída do terminal e garagem. A Figura 1 apresenta os dois tipos de veículo presentes na frota do sistema em estudo.



Figura 1 – Modelos dos veículos da frota de transporte público da cidade de Toledo – PR. (a) Micro-ônibus. (b) Ônibus padron.

Fonte: Diário do Transporte (2020)

### 3.1. Coleta de dados

Os dados utilizados na pesquisa foram fornecidos pela empresa operadora do sistema. Dentre esses, os trajetos das linhas, localização de pontos de parada, lombadas e semáforos se encontravam georreferenciados. Já os horários de entrada e saída do terminal e de chegada e saída do ponto final de cada veículo foi fornecido no formato de planilha eletrônica. Todos

arquivos georreferenciados foram plotados no *software* QGis, para análises subsequentes. A Figura 2 apresenta o perímetro urbano da cidade de Toledo, com os trajetos das linhas do transporte público, localização de pontos de parada, lombadas e semáforos.

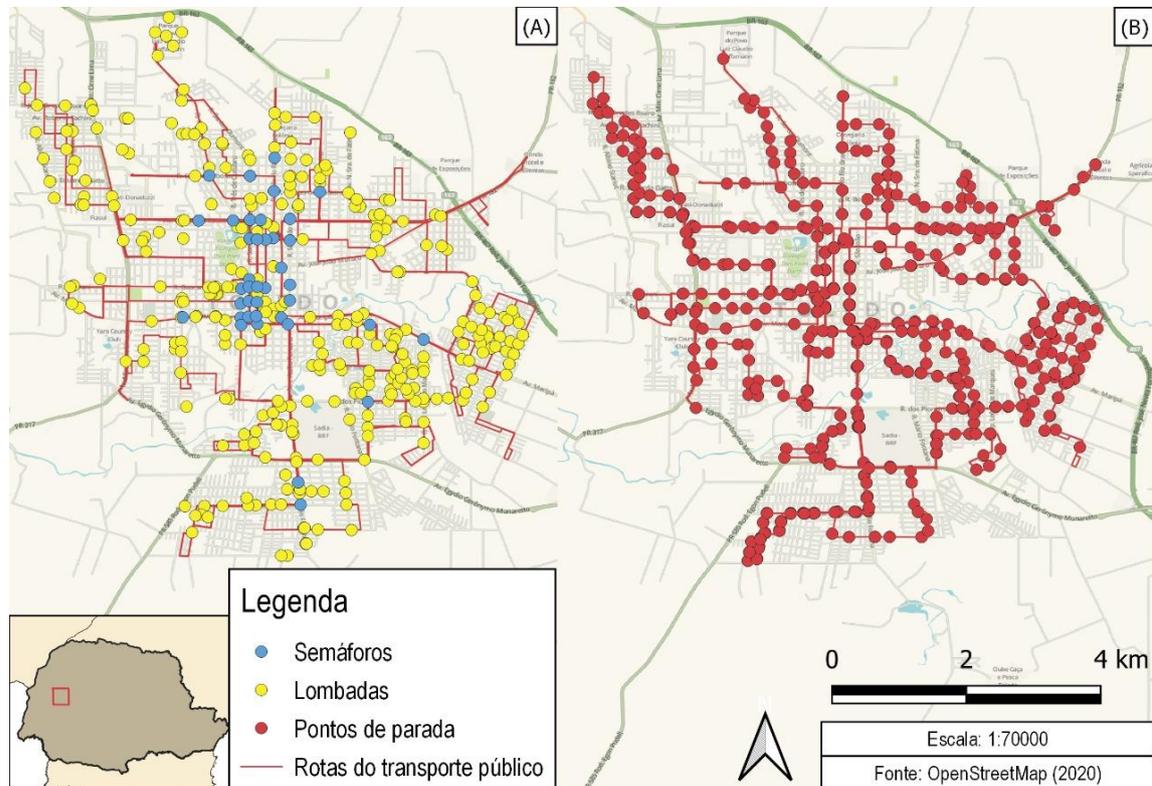


Figura 2 – Trajetos das linhas do transporte público da cidade de Toledo – PR. (a) Localização de semáforos e lombadas nos trajetos. (b) Localização dos pontos de parada nos trajetos.

Fonte: Autoria própria (2020)

### 3.2. Cálculo da velocidade operacional

Para o cálculo da velocidade operacional de cada linha considerou-se apenas as viagens que estavam totalmente compreendidas entre os intervalos de horários de 06h30min – 08h00min, 11h30min – 13h00min e 17h30min – 18h00min. Para eliminar situações diárias adversas de tráfego e volume de passageiros, considerou-se apenas as viagens ocorridas às terças, quartas e quintas-feiras. Já referente às variações anuais de tráfego e de passageiros, optou-se por utilizar apenas os dados dos meses de outubro e novembro de 2018, de modo a eliminar interferências ocasionadas pelo período de férias escolares e de temporadas festivas.

Calculou-se a velocidade operacional de cada linha dividida em dois segmentos: (I) terminal – bairro, e (II) bairro – terminal. Assim, o cálculo da velocidade operacional foi



conduzido para cada linha/sentido. Aplicou-se a Equação (1) para o cálculo da velocidade operacional de cada linha/sentido.

$$\bar{V} = \frac{d}{\frac{\sum t_i}{n}} \quad (1)$$

Onde: V – velocidade média da linha/sentido; d – distância total da linha/sentido;  $t_i$  – tempo total de percurso da linha/sentido; n – número de tempos de percurso considerados.

A localização do ponto final de cada linha também foi fornecida pela empresa operadora do sistema. Esse dado foi plotado no *software* QGis, juntamente com os trajetos dos itinerários das linhas. Após a plotagem de ambos dados, utilizou-se o comando “medir”, e aferiu-se a distância percorrida em cada linha/sentido. Após o cálculo do tempo médio de percurso de cada viagem compreendida nos critérios definidos anteriormente e aferição das distâncias percorridas, calculou-se a velocidade média de cada linha/sentido.

### 3.2. Indicadores

Após o cálculo das velocidades operacionais de cada linha/sentido, levantou-se um conjunto de variáveis sobre os trajetos de cada um desses itinerários. Através da quantificação/aferição dessas variáveis estabeleceu-se um conjunto de fatores, os quais foram utilizados para testar as hipóteses de exercerem ou não influência na velocidade operacional de cada linha/sentido. O esquema da Figura 3 apresenta essas variáveis, assim como os fatores utilizados.

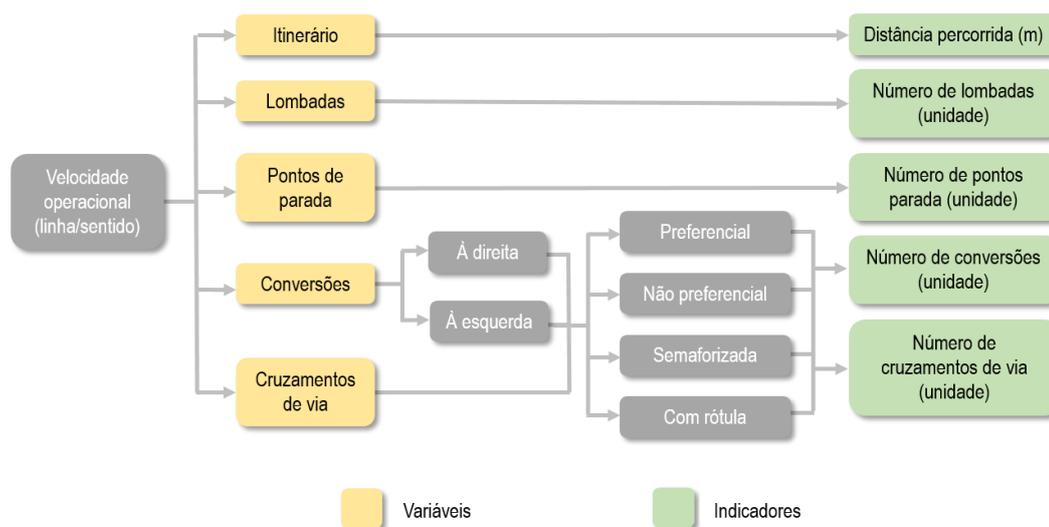


Figura 3 – Fluxograma com as variáveis consideradas e os indicadores aferidos. Fonte: Autoria própria (2020)

O número de pontos de parada e de lombadas foi levantado com base no arquivo georreferenciado fornecido pela empresa operadora no *software* QGis. O comprimento de cada rota e a quantificação de cada tipo de conversão e cruzamento de via foi realizado com o auxílio da ferramenta *StreetView* do *software* *Google Earth*. Após isso aplicou-se o teste estatístico de correlação de Pearson, afim de testar a hipótese se havia ou não influência de cada variável considerada.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Velocidade operacional

A Tabela 1 apresenta os valores de velocidade operacional para cada uma das 15 linhas nos dois sentidos (terminal-bairro e bairro-terminal) em horários de pico.

Tabela 1 – Velocidade operacional para cada linha/sentido em horários de pico

Linha	Velocidade operacional (km/h)	
	Terminal-bairro	Bairro-terminal
L <sub>1</sub>	16,0	19,3
L <sub>2</sub>	21,9	23,1
L <sub>3</sub>	27,0	30,0
L <sub>4</sub>	22,7	20,3
L <sub>5</sub>	22,1	21,4
L <sub>6</sub>	18,2	21,1



L <sub>7</sub>	21,9	22,6
L <sub>8</sub>	16,7	23,5
L <sub>9</sub>	28,5	28,2
L <sub>10</sub>	21,9	17,1
L <sub>11</sub>	33,5	26,0
L <sub>12</sub>	25,6	23,4
L <sub>13</sub>	22,8	21,5
L <sub>14</sub>	18,3	19,8
L <sub>15</sub>	20,6	14,9

Fonte: Autoria própria (2020)

O maior valor de velocidade foi encontrado para a linha L<sub>11</sub> sentido terminal-bairro (33,5 km/h) e, o menor valor, para a linha L<sub>15</sub> sentido bairro-terminal (14,9 km/h). A velocidade média do sistema foi de 22,33 km/h e, o desvio padrão, de 4,233 km/h.

#### 4.2. Correlação de indicadores

O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 até 1, sendo que, quanto mais próximo de 0 for o valor resultante da análise, menor será a relação entre as variáveis testadas, e quanto mais próximo de -1 e 1, mais forte será essa relação. Os valores negativos do coeficiente de Pearson representam que a relação entre as variáveis consideradas (velocidade operacional e o devido indicador considerado) é inversamente proporcional. Já os valores positivos representam uma correlação diretamente proporcional. A Tabela 2 apresenta o coeficiente de correlação para cada um dos indicadores testados.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson para cada indicador testado

Indicador		Coefficiente de correlação
Distância da rota		-0,226
Número de pontos		-0,419
Número de lombadas		-0,448
Número de conversões à esquerda	Preferenciais	0,052
	Não preferenciais	-0,214
	Semaforizada	-0,399
	Rótula	-0,105
	Preferenciais	0,077



Número de conversões à direita	Não preferenciais	0,32
	Semaforizada	-0,209
	Rótula	-0,23
Número de travessia de via	Preferenciais	-0,191
	Não preferenciais	0,047
	Semaforizada	-0,186
	Rótula	-0,008

Fonte: A autoria própria (2020)

Os indicadores que apresentaram a maior correlação com as velocidades operacionais foram o número de lombadas e o número de pontos, com um coeficiente de correlação de Pearson de -0,448 e -0,419, respectivamente. Já os menores coeficientes foram encontrados para os indicadores travessia de vias com rótula (-0,008) e não preferenciais (0,047). Segundo Mukaka (2012) os valores do coeficiente de Pearson podem ser agrupados em 5 categorias, que indicam o grau de correlação resultante entre as variáveis analisadas. A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados com relação às faixas de correlação propostas por Mukaka (2012).

Tabela 3 – Classificação de cada indicador testado em graus de correlação segundo Mukaka (2012)

<b>Coeficiente de Pearson</b>	<b>Grau de correlação</b>	<b>Indicadores</b>
0 a 0,3	Nenhum	Distância; número de conversões à esquerda (preferenciais, não preferenciais e com rótula); número de conversões à direita (preferenciais, semaforizadas e com rótula); e número de travessias de vias (preferenciais, não preferenciais, semaforizadas e com rótula)
0,3 a 0,5	Fraco	Número de pontos; número de lombadas; número de conversões à esquerda semaforizadas; e número de conversões à direita não preferenciais.
0,5 a 0,7	Moderado	Nenhum indicador nessa faixa
0,7 a 0,9	Forte	Nenhum indicador nessa faixa
acima de 0,9	Muito forte	Nenhum indicador nessa faixa

Fonte: A autoria própria (2020)

### 4.3. Discussões

Segundo Franco e Silva (2016), um sistema de transporte público urbano economicamente viável e atrativo para novos usuários deve apresentar velocidades médias superiores a 20



km/h. O valor médio de 22,33 km/h encontrado para o sistema estudado superou esse dado – sendo que 73,33% dos trechos analisados satisfizeram tal recomendação, enquanto 26,67% apresentaram velocidades inferiores.

Em cidades de grande porte, observa-se essa problemática com maior frequência. Na cidade de São Paulo, em 2016, o valor médio em horário de pico foi determinado como 17 km/h (SARAIVA; CASARI; ORTEGA, 2018). Em Goiânia, mesmo com a implementação de sistemas como o Bus Rapid Transit (BRT), o eixo Anhanguera também apresenta valores de 17 km/h (RMTC; ODEBRECHT, 2012). Pesquisas da Confederação Nacional do Transporte (CNT) apontam para uma velocidade de apenas 14,7 km/h nos principais corredores sem tratamento preferencial para o transporte público, em onze grandes cidades do Brasil (TORRES, 2010). Diante do exposto, observa-se, portanto, que a velocidade média determinada para o sistema de transporte público urbano de Toledo – PR é relativamente satisfatória. Entretanto, ainda é necessário um conjunto de ações a fim de elevar a velocidade dos trechos que não atingiram 20 km/h.

Os achados desse estudo mostraram que os fatores que mais exerceram influência na velocidade operacional do sistema estudado foram o número de lombadas e o número de pontos de parada. Em sistemas mais complexos que possuem faixas exclusivas/preferencias para ônibus, ou ainda em canaletas exclusivas de BRT, é comum a supressão de lombadas de modo a justamente aumentar a velocidade operacional dos coletivos. A cidade de Toledo possui uma faixa preferencial para o transporte coletivo instalada na Rua Almirante Barroso, com uma extensão de aproximadamente 1,2 km (TOLEDO, 2015). Porém, devido à morfologia radial das linhas e à sobreposição destas, a implantação de outras faixas preferenciais torna-se inviável. Logo, a escolha de um traçado que evite lombadas pode tornar-se efetiva para o aumento da velocidade operacional. Ou, ainda, a criação de um programa efetivo de educação de trânsito e o controle frequente das velocidades operacionais através de novas tecnologias de gestão de trânsito podem ser medidas eficazes.

Analogamente, em alguns sistemas de transporte público é comum a criação de linhas expressas/diretas. Nessas, o serviço prestado provém atendimento a demandas pontuais, e tende a possuir velocidade superior a linhas convencionais paradoras, devido ao reduzido número de paradas (RECK, 2019).



Pela análise estatística realizada e pela categorização dos indicadores exposta na Tabela 3, é possível observar que os fatores estudados pouco influenciaram nas velocidades calculadas para as linhas do sistema. Isso ocorre devido à significativa complexidade dos sistemas de transporte público urbano, que abrangem aspectos como o tempo de embarque e desembarque no veículo, aceleração e desaceleração, frota total, número de passageiros, entre outros (RECK, 2019). Dessa forma, entende-se que fatores externos à pesquisa estão exercendo tal influência.

#### **4.4. Limitações e pesquisas futuras**

O cálculo da velocidade operacional restringiu-se aos tempos de ciclo de cada linha nos horários de maior volume de tráfego. É possível que essa escolha metodológica tenha causado uma discrepância nas velocidades operacionais das linhas, uma vez que lentidões no tráfego nesses horários tendem a afetar linhas que trafegam predominantemente em vias arteriais ou coletoras.

Com a velocidade operacional estratificada por linha/sentido calculada nessa pesquisa, faz-se proveitoso estudos que investiguem elementos para otimização das linhas/sentidos mais lentos do sistema, de modo a tornar o transporte público da cidade mais atraente e eficiente. Sugere-se também a investigação de fatores com potencial de influência na velocidade operacional dos coletivos não abordados nessa pesquisa, como o perfil topográfico do terreno.

Uma vez que o número de passageiros transportados por cada linha, ou ainda, o número de passageiros que embarcam/desembarcam dos ônibus nos pontos de parada podem interferir diretamente no tempo gasto de ciclo de cada itinerário, essa demanda de usuários é outro fator com potencial de interferência na velocidade operacional dos coletivos e que não foi abordada nessa pesquisa. Portanto, sugere-se um estudo complementar de variação espacial da demanda, realizada em cada ponto de parada (RECK, 2019).

## **6. CONCLUSÕES**

A qualidade e eficiência do sistema de transporte público são essenciais. A velocidade de operação está diretamente ligada a esses princípios e depende de fatores como conversões,



semáforos e lombadas, pontos de embarque e desembarque, entre outros, os quais influenciam diretamente no tempo de percurso dos ônibus.

Apesar da velocidade operacional média do sistema de transporte público de Toledo – PR ter se apresentado acima da velocidade ideal considerada pela literatura, algumas linhas, em determinados sentidos, se mostraram com velocidades significativamente reduzidas.

A análise dos indicadores estatísticos, apesar de não plenamente satisfatória, foi útil para levantar as hipóteses de possíveis causas de fatores e suas consequências no transporte público de Toledo. Os indicadores mostraram influência fraca às velocidades determinadas. Alguns fatores tiveram mais relevância do que outros, o que sugere que aspectos externos à pesquisa podem estar influenciando a velocidade de algumas linhas, o que causou a limitação e análise global do serviço.

Além disso, observa-se que ainda há espaço para melhorias no sistema, tais como as que abrangem a integração entre linhas e corredores, os modelos dos ônibus (número e tamanho das portas de embarque e desembarque), tipo de cobrança, realocação de pontos de parada, entre outras.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida a um dos autores, e à Empresa Sorriso de Toledo pelo apoio na disponibilização dos dados.

## REFERÊNCIAS

CIDADE, R. B.; LEÃO JR., T. M. A. O direito ao transporte público como direito fundamental social. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, v. 2, p. 196-216, 2016.

CLARK, S. F. P.; SOUZA, P. R. M. R. O transporte público de qualidade como um direito previsto no código de defesa do consumidor. In: VII Jornada Internacional Políticas Públicas, 2017, São Luis. **Anais do evento**.

CONSÓRCIO DA REDE METROPOLITANA DE TRANSPORTES COLETIVOS DA GRANDE GOIÂNIA (RMTC); ODEBRECHT TRANSPORT. **Projeto VLT Anhanguera**. Goiânia: [s.n.], 2012. 357 p.



CORTÉS, C. E.; J. GIBSON; A. GSCHWENDER; M. MUNIZAGA E M. ZÚÑIGA. Commercial bus speed diagnosis based on GPS-monitored data. **Transportation Research Part C**, v. 19, p. 695–707, 2011.

DIÁRIO DO TRANSPORTE. **Uso de máscaras no transporte em Toledo (PR) será obrigatório**. 28 abr. 2020. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2020/04/28/uso-de-mascaras-no-transporte-em-toledo-pr-sera-obrigatorio/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E.. **Transporte público urbano**. 2ª ed. São Carlos: RiMa, 2004. 410 p.

FRANCO, B. de A.; SILVA, N. J. B. da. **Método para a avaliação de soluções em transporte com uso de microsimulação**. 2016. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GODARTH, A. J. L.; YOSHIO, D.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, G. G.; VILANOVA, L.; UETA, P. S.; PICCHIELLO, V.; TOURINHO NETO, O. S. Relatório do projeto-piloto de redução do tempo de ciclo para melhorar a velocidade operacional do ônibus. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo: **Notas técnicas**, NT 230/13. 2013.

GOUVEIA JR., C. G.; ARAÚJO, K. W. G.; ANDRADE, M. O. Análise de desempenho em trechos com e sem prioridade para o transporte coletivo ao longo de um corredor BRT. In: XXXII ANPET, 2018, Gramado. **Anais do evento**, v. 1, p. 773 – 784.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, Chichiri, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

MUNICÍPIO DE TOLEDO. Secretaria de Segurança e Trânsito. **Plano de mobilidade urbana**. Toledo: [s.n.], 2015. 235 p.

RECK, G. **Apostila de Transporte Público**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transporte, 2019. 108 p.

RODRIGUES, M. O. **Avaliação da qualidade do transporte coletivo da cidade de São Carlos**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SARAIVA, P. G.; CASARI, J. P. de A.; ORTEGA, V. E. T. **Simulações de faixas de ônibus em vias arteriais da cidade de São Paulo**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SORRISO DE TOLEDO. **Horários e mapas**. 2020. Disponível em: <<https://www.sorrisodetoledo.com.br/horarios/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

TORRES, A. **Estudo comparativo de modais de transporte público**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Transportes da Cidade do Rio de Janeiro, [s.n.], 2010. 74 p.

VASCONCELLOS, E. A. de. Desvendando a política brasileira de mobilidade urbana. **Revista dos Transportes Públicos**, ano 27/28, 3º/4º trimestre, p. 11-36, 2005.



## INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O TRANSPORTE DE TRENS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO TRENSURB

*Aline Oliveira Silveira De Moraes<sup>1</sup>, Anelise Schmitz<sup>2</sup>, Danielle de Souza Clerman Bruxel<sup>3</sup>,  
Juliana De Azevedo Bernardes<sup>4</sup>, Viviane Gschwenter Lopes dos Santos<sup>5</sup>*

*<sup>1345</sup>Centro Universitário IPA Metodista, <sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná*

*arq.alinemoraes@gmail.com<sup>1</sup>, anelise.schmitz@ufpr.br<sup>2</sup>, daniclerman@yahoo.com.br<sup>3</sup>,  
juliana.bernardes@ipa.metodista.br<sup>4</sup>, viviane.santos1@ipa.metodista.br<sup>5</sup>*

### RESUMO

Os indicadores de desempenho são imprescindíveis para que as organizações tenham conhecimento de como estão os processos e o comportamento dos seus sistemas. Atualmente a maioria dos países está severamente comprometida com a questão da mobilidade urbana das grandes cidades onde o transporte sobre trilhos é a melhor solução para o transporte em massa. Esta questão se torna mais relevante no Brasil, onde os investimentos são em grande parte para as rodovias, em detrimento das ferrovias. Neste sentido, este estudo trata da aplicação de indicadores de desempenho para o transporte de passageiros metroferroviário, com enfoque nos serviços que impactam diretamente os usuários. As análises foram realizadas com base em nove indicadores de qualidade e produtividade nos transportes, com aplicação na Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre – TRENSURB. Para cada indicador foi realizada uma validação, a análise crítica e avaliados se estão ou não atendendo a qualidade almejada.

**PALAVRAS-CHAVE:** . Indicadores de Qualidade, Indicadores de Desempenho, Transporte, Passageiros, Metroferroviário

### ABSTRACT (APENAS PARA ARTIGOS CIENTÍFICOS)

*Performance indicators are essential for organizations to know how their systems and processes are being effective. Currently, most of the countries are highly engaged with the urban mobility agenda, especially in those cities where railways are considered the best solution for mass transportation. This matter becomes more relevant in Brazil, where investments are wider for roads rather than railways. This research aims to apply urban railway performance indicators, focusing on the services that affect the system users. The analyses were defined using nine quality and productivity transportation indicators, which were applied for the Porto Alegre Company of Urban Trains – TRENSURB. This work reviewed and analysed each indicator, assessing whether they are delivering the demanded quality.*

**KEYWORDS:** *Quality Indicators, Performance, Transportation, Passengers, Urban Railways*

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte possuem características básicas, que fazem com que funcionem corretamente. Eles podem ser integrados e afirmaram-se como uma solução para o atendimento da diversidade de viagens da população das cidades, fruto da descentralização das atividades econômicas, da mudança do perfil de emprego e da ampliação do número de estabelecimentos. Entre os sistemas de transporte, que são os mais utilizados para o

transporte coletivo, podem ser destacados os rodoviários e ferroviários. No Brasil, utiliza-se muito pouco o sistema ferroviário, se comparado com países desenvolvidos (FOGLIATTI; FILIPPO; GOUDARD, 2004; HOEL, GARBER, SADEK, 201; BRASIL, 2015, a).

A CNT (2016) destaca que o modal de transporte ferroviário, por seu caráter estruturante do território, confiabilidade e grande capacidade, pode contribuir para a melhoria da mobilidade, da qualidade de vida das populações e dos aglomerados urbanos onde se inserem. A matéria da mobilidade urbana tem ganhado espaço na demanda pública, à medida que se reconhece a sua grande importância econômica, social e ambiental (FOGLIATTI; FILIPPO; GOUDARD, 2004). Com o propósito de valorizar e contribuir para expansão de uma visão mais detalhada do transporte metroferroviário, neste estudo, são estudados alguns indicadores para medir a eficiência e eficácia dos serviços de transporte, focando na qualidade e na produtividade, baseados em Valente et al. (2008).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

A Comissão Metroferroviária da Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP classifica os operadores de transporte ferroviário brasileiros de acordo com cinco indicadores de desempenho: intervalos entre trens, passageiros transportados por ano, distância média entre estações, número de viagens realizadas por ano e passageiros transportados por quilômetro (BRASIL, 2015, b). A CNT (2016), afirma que o transporte de passageiros sobre trilhos em meio urbano abrange diversidade de modalidades, que se distinguem, principalmente, pela capacidade de transporte e níveis de direito de tráfego.

Yu (2008), Graham (2008), Kutlar, Kabasakal, Sarikaya (2012), Cantos, Pastor, Serrano (2012) e Pereira, Rosa, Lunkes (2015) avaliaram a eficiência de diferentes ferrovias de diversos países. Os indicadores variam desde a análise operacional, custos e à qualidade na oferta do serviço.

Na avaliação de desempenho são utilizados indicadores, obtidos pela medição direta do sistema (indicadores operacionais) ou obtidos com a participação do usuário (indicadores de qualidade) (ANDRADE, 2009). Para que as organizações possam gerenciar suas demandas, são necessárias informações sobre a operação, avaliando como estão os resultados, em relação ao que está sendo oferecido e se seus setores estão agindo simultaneamente (PEZERICO, 2002). Os indicadores permitem integrar subjetividade e



objetividade a partir de evidências empíricas, além de viabilizar comparações e avaliações que atendam às necessidades dos tomadores de decisões (BRASIL, 2015, b).

Conforme Valente et al. (2008), indicador é um instrumento adotado para demonstrar ou revelar, quantitativamente ou qualitativamente, a característica de uma parte de um conjunto observado. A nomenclatura de indicadores se mostra mais adequada para a análise das características do transporte metroferroviário de passageiros em relação a qualidade e produtividade. Já a norma europeia EN 13816 (CEN, 2002) tem como ponto central uma cadeia da qualidade baseada em critérios, ao invés de indicadores.

A Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana instituiu um grupo de trabalho para seleção de indicadores de efetividade da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU - Programa 2048). Foi definida uma lista preliminar de indicadores que devem ser monitorados a fim de avaliar a implantação da PNMU (BRASIL, 2016).

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso na TRENURB, com base nos indicadores para medir o desempenho operacional, com foco naqueles que impactam diretamente o usuário do transporte metroferroviário. O período de janeiro a dezembro de 2017 foi disponibilizado para estudo e os dados coletados foram referentes a toda extensão da linha da Trensurb (2017), com início em Porto Alegre (RS) até a cidade de Novo Hamburgo (RS) totalizando um trecho de 43,8 km. Foram calculados e analisados nove indicadores fundamentados por Valente et al. (2008), sendo eles:

- **conforto:** sensação de bem-estar do usuário durante o seu deslocamento (dentro do veículo ou utilizando equipamento de apoio). Calculado por meio da Taxa de Ocupação do Período – TOC<sub>p</sub> (%) (Equação 1).

$$TOC_p = 100 \times \frac{PTRp}{NLOp} = 100 \times \frac{PTRp}{NVRp \times (AST+6 \times A)}$$

(1)

Em que: PTRp = número de passageiros transportados no período (passageiros);

NLOp = número de lugares oferecidos no período (passageiros);

NVRp = número de viagens realizadas no período (viagens);

AST = número de assentos do veículo-padrão (passageiros/viagem); e

A = área útil para o transporte de passageiros em pé (m<sup>2</sup>/viagem).

- **segurança:** condição de harmonia que o usuário pode usufruir no relacionamento com o ambiente criado para o seu deslocamento, tais como ausência de acidentes, de agressões físicas ou morais e de roubos e assaltos. Calculado a partir da Taxa de Gravidade de Acidentes com Passageiros no período – TGA<sub>p</sub> (%) (Equação 2).

$$TGA_p = 100 \times \frac{NAC_{n,p}}{NA_p} \quad (2)$$

Em que:  $NAC_{n,p}$  = número de acidentes (com passageiros) de gravidade  $n$ , no período; e

$NA_p$  = número de acidentes (com passageiros) no período.

- **confiabilidade:** certeza que o usuário tem de que o seu deslocamento ocorrerá conforme espera: sem atrasos, sem interrupções, com continuidade e sem maus-tratos. Calculado pelo Intervalo Médio no período – IM<sub>p</sub> [min/viagem], (Equação 3) e pelo Índice de Supressão de Viagens no período – ISV<sub>p</sub> (Equação 4).

$$IM_p = \frac{D_p}{NVR_p} \quad (3)$$

Em que:  $D_p$  = duração do período (min);

$NVR_p$  = número de viagens realizadas no período (viagens).

$$ISV_p = \frac{NVS_p}{NVR_p} \quad (4)$$

Em que:  $NVS_p$  = número de viagens suprimidas no período (viagens); e

$NVR_p$  = número de viagens realizadas no período (viagens).

- **rapidez:** possibilidade que o usuário tem de efetuar seu deslocamento no menor tempo possível. Calculado pela Velocidade Média Comercial – VMC [km/h] (Equação 5) e Velocidade Média Operacional – VMO [km/h] (Equação 6).

$$VMC = 60 \times \frac{EXL}{TV_i} \quad (5)$$

Em que:  $EXL$  = extensão da linha (km/viagem);

$TV_i$  = tempo médio de viagem, incluindo os tempos nos terminais e pontos de parada (min/viagem).

$$VMO = 60 \times \frac{EXL}{TVE} \quad (6)$$

Em que:  $EXL$  = extensão da linha (km/viagem); e

$TVE$  = tempo médio de viagem efetiva, excluindo os tempos nos terminais e pontos de parada (min/viagem).

- **intensidade de utilização do serviço:** grau com que a capacidade ofertada de transporte é aproveitada. Calculada a partir da Utilização da Frota no Período – UF<sub>r</sub>p [km/veículo] (Equação 7) e do Aproveitamento Médio da Frota no período – ApF<sub>p</sub> [pass. /veículo] (Equação 8).

$$UF_r p = \frac{EXL \times NVR_p}{FR} \quad (7)$$



Em que:  $EXL$  = extensão da linha (km/viagem);

$NVR_p$  = número de viagens realizadas no período (viagens); e

$FR$  = frota total (veículos).

$$ApF_p = \frac{PTR_p}{FR} \quad (8)$$

Em que:  $PTR_p$  = número de passageiros transportados no período (passageiros); e

$FR$  = frota total (veículos).

- **eficiência energética:** produção do transporte utilizando a menor quantidade possível de energia. Calculada pelo Índice de Eficiência Energética do período – IEEp [pass.km/kWh] (Equação 9).

$$IEE_p = \frac{PTR_p \times KMR_p}{CTE_p} \quad (9)$$

Em que:  $PTR_p$  = número de passageiros transportados no período (passageiros);

$KMR_p$  = quilometragem total realizada no período (km); e

$CTE_p$  = consumo total de energia pela frota no período (kWh).

- **racionalidade do tempo investido:** aproveitamento do tempo investido para produzir transporte. Calculado pelo Aproveitamento do tempo de operação do período – ATOp [km/h] (Equação 10).

$$ATO_p = \frac{EXL \times NVR_p}{HO_p} \quad (10)$$

Em que:  $EXL$  = extensão da linha (km/viagem);

$NVR_p$  = número de viagens realizadas no período (viagens); e

$HO_p$  = tempo total de operação da frota no período (horas).

- **realização do programado:** grau de cumprimento da oferta programada. Calculado pelo Índice de Cumprimento da Quilometragem no período – ICQp (Equação 11), Índice de Cumprimento das Viagens no período – ICVp (Equação 12) e o Índice de Cumprimento dos Horários no período – ICHp (Equação 13).

$$ICQ_p = \frac{KMR_p}{KMP_p} \quad (11)$$

Em que:  $KMR_p$  = quilometragem total realizada no período (km); e

$KMP_p$  = quilometragem total programada para o período (km).

$$ICV_p = \frac{NVR_p}{NVP_p} \quad (12)$$

Em que:  $NVR_p$  = número de viagens realizadas no período; e

$NVP_p$  = número de viagens programadas para o período.

$$ICH_p = \frac{NVA_p}{NVP_p} \quad (13)$$

Em que:  $NVA_p$  = número de viagens com atraso de até 3 min ou adiantamento de até 1 min, no período; e

$NVP_p$  = número de viagens programadas para o período (viagens).

- **desempenho da manutenção:** reflexo do trabalho da manutenção na disponibilidade da frota. Medido pelo Índice de Confiabilidade da Frota no período – ICFp [km/falha] (Equação 14).

$$ICF_p = \frac{KMR_p}{NF_p} \quad (14)$$

Em que:  $KMR_p$  = quilometragem total realizada no período (km); e

$NF_p$  = número de falhas no período (falhas).

Para análise dos resultados dos indicadores de desempenho foram utilizados os parâmetros de referência expostos por Valente et al. (2008) e a variação das médias mensais, pois na empresa em análise não existiam dados históricos que pudessem ser comparados com os indicadores supracitados.

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS INDICADORES

Os nove indicadores de desempenho apresentam-se de forma global resumidos na Tabela 1. O indicador conforto mediu a sensação de bem-estar do usuário durante o seu deslocamento, por meio da Taxa de Ocupação do Período (TOcp) (Equação 1), expressa em porcentagem, e também do Nível de Ruído no interior do veículo, medido em decibéis dB(A). O cálculo da TOcp foi realizado utilizando o número de passageiros transportados em cada mês, o número de viagens realizadas, o número de assentos oferecidos (no caso dos trens do tipo “Série 100” são 228 por cada composição de trem, formada por quatro carros), e a área útil para o transporte de passageiros em pé.

A TOcp foi de 50%, demonstrando que os trens estão ocupados com metade da sua capacidade. Essa média é mensal/anual e não revela a realidade diária dos horários de pico, que ocorrem nos dias de semana, das 6:30 às 8 h na parte da manhã, e das 17 às 19 h na parte da tarde, onde geralmente a ocupação é de 80% a 100% da capacidade. Os meses que tiveram maior taxa de ocupação foram agosto e novembro. Nos meses de janeiro, fevereiro, julho e dezembro, que são meses de férias escolares, a demanda caiu significativamente.



O Nível de Ruído no Interior do Veículo, em decibéis (dBA) correspondente a um Nível de Serviço (NS). Foi medido o nível de ruído interno dos trens “Série 100”. Para este indicador foram utilizados dados de Strauch (2016), no qual foram aferidos os níveis de ruído que os usuários do trem são submetidos durante uma viagem. Os resultados ficaram em torno de 85 dBA, que corresponde ao Nível de Serviço C (considerado regular). O tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído vai de 85 dBA por um período de 8 h a até 115 dBA por um período de 7 min.

Tabela 1 - Síntese dos indicadores de desempenho TRENSURB

Indicador	Índices de medição	Resultados
1. Conforto	Taxa de Ocupação do Período – TOcp	50%
	Ruído	Nível de serviço “C”
2. Segurança	Taxa de Gravidade de Acidentes com Passageiros no período – TGAp	54% com remoção 46% sem remoção
	Intervalo Médio no período – IMp	9,15 min/viagem
3. Confiabilidade	Índice de Supressão de Viagens no período – ISVp	1,20%
	Velocidade Média Comercial – VMC	50 km/h
4. Rapidez	Velocidade Média Operacional – VMO	63 km/h
	Utilização da Frota no Período – UFRp	11.248 km/veículo
5. Intensidade de Utilização do Serviço	Aproveitamento Médio da Frota no período – ApFp	166.337 pass./veículo
	Índice de Eficiência Energética do período – IEEp	381.836 pass.km/kwh
6. Eficiência Energética	Aproveitamento do tempo de operação do período – ATOp	575 km/h
	Índice de Cumprimento da Quilometragem no período – ICQp	98,81%
7. Racionalidade do Tempo Investido	Índice de Cumprimento das Viagens no período – ICVp	98,81%
	Índice de Cumprimento dos Horários no período – ICHp	99,91%
	Índice de Confiabilidade da Frota no período – ICFp	3.033,87 km/falha
8. Realização do Programado		
9. Manutenção		

Fonte: Os autores, com base nos dados fornecidos pela TRENSURB (2017)

O indicador segurança mediu o índice de segurança do usuário por meio da Taxa de Gravidade de Acidentes com Passageiros no período (TGAp), expressa em porcentagem (Equação 2). O cálculo foi realizado utilizando o número de acidentes com passageiros

transportados em cada mês, com e sem remoção, e o número total de acidentes no período. Dos acidentes ocorridos por mês, 46% necessitaram de remoção (SAMU), e 54% foram tratados dentro das dependências das estações, já que os funcionários das estações possuem treinamento para atender ocorrências de menor gravidade e kit de primeiros socorros. A maioria das causas de acidentes que ocorreram no sistema foram quedas nas escadas rolantes ou nas plataformas, com alguma torção nos membros e mal súbito.

O indicador confiabilidade mediu a certeza que o usuário teve de que o seu deslocamento ocorreu de forma esperada, ou seja, sem atrasos, sem interrupções, com continuidade e sem maus-tratos. Foi medido por meio do Intervalo Médio no período (IMp) (Equação 3), expresso em minutos/viagem, e o Índice de Supressão de Viagens no período (ISVp) (Equação 4), expresso em porcentagem. O IMp foi de 9,15 min/viagem. O cálculo foi realizado utilizando a duração do período em minutos, que é calculado levando em consideração 18 h/dia de operação, 30 dias no mês, 60 min, ida e volta no percurso (2 viagens), e o número total de viagens realizadas.

O intervalo médio entre viagens ficou em torno de 9 min. Deve-se levar em consideração que em horários de pico (das 6h30 às 8 h na parte da manhã, e das 17 às 19 h na parte da tarde) esse intervalo é menor, em torno de 4 min, devido a demanda maior, e em “horário de vale” (demais horários) e nos meses de férias escolares é maior, chegando a até 15 min, devido ao maior espaçamento entre viagens. A média anual do ISVp foi 1,20% foi calculada a partir do emprego do número total de viagens realizadas e de viagens perdidas. Ocorreram três picos acima da média normal, nos meses de abril (4,62%), junho (4,42%) e outubro (2,38%), devido à greve dos metroviários, via alagada e falha na rede de energia, respectivamente.

O indicador de rapidez revela ao usuário a velocidade padrão do sistema, para que este possa efetuar o seu deslocamento no menor tempo possível. Os parâmetros calculados são a Velocidade Média Comercial (VMC) (Equação 5) e a Velocidade Média Operacional (VMO), expressos em km/h (Equação 6). O cálculo da VMC resultou em 50 km/h e foi realizado utilizando a extensão total da linha e o tempo médio de viagem, incluindo os tempos de paradas nas estações, em média de 30 segundos. Já o cálculo da VMO resultou 63 km/h e foi realizado utilizando a extensão total da linha (43,80 m) e o tempo médio de



viagem efetiva, excluindo os tempos de paradas nas estações. Os indicadores de rapidez não sofreram grande variação. A velocidade dos trens “Série 100” pode variar de 40 a 90 km/h. Levou-se em consideração o tempo e velocidade média que o trem necessita para percorrer o maior percurso, da Estação Mercado de Porto Alegre até a estação Novo Hamburgo, que é de 53 min. Também levou-se em consideração esse mesmo tempo, descontando 30 segundos de parada em cada uma das 22 estações, o que resulta nos 42 min.

O indicador de intensidade de utilização do serviço mediu o grau com que a capacidade ofertada de transporte foi aproveitada, por meio da Utilização da Frota no período (UFrp), expressa em km/veículo (Equação 7), e o Aproveitamento Médio da Frota no período (ApFp), expresso em passageiro/veículo (Equação 8). A média anual da UFrp foi calculada utilizando a extensão total da linha de 43,80 km, o número total de viagens realizadas no período e a frota total de trens. A média anual resultou 11.248 km por veículo. Quanto às variações ocorridas na UFrp, podem-se destacar os meses de fevereiro e setembro como os de menor aproveitamento da frota, e os meses de maio e dezembro com maior aproveitamento. A média anual do ApFp foi calculada a partir do número total de passageiros transportados no período e a frota total de trens, resultando em 166.337 passageiros por veículo.

O indicador eficiência energética mediu a quantidade de energia utilizada para a produção do transporte metroferroviário, expresso em passageiro.km por quilowatt-hora (Equação 9). O IEEp foi 381.836 pass.km/kWh, realizado utilizando o número total de 4.588.122 passageiros no período, a quilometragem de 323.066 km e o consumo de energia de 3.881.941 kWh utilizada pela frota de trens. O IEEpp apresentou valores menores nos meses de férias escolares e em abril em decorrência da greve dos metroviários. Houve aumento em agosto, devido à ocorrência de uma feira na cidade de Esteio, o que faz com que mais usuários utilizem o sistema metroferroviário para o seu deslocamento. Ao se correlacionar os 3.881.941 kWh consumidos com os 4.588.122 passageiros transportados, tem-se o consumo médio por usuário de 0,85 kWh.

O indicador racionalidade do tempo investido mediu o tempo designado para a produção do transporte, por meio do Aproveitamento do Tempo de Operação do período (ATOp), expresso em km/h (Equação 10). O ATOp de 2017 foi realizado utilizando a

extensão total da linha de 43,80 km, a média do número de viagens realizadas no período, de 7083, e o tempo total de operação da frota de trens em horas, que foi calculado por meio da multiplicação de 18 horas de operação diária, pelos 30 dias do mês, resultando em 540 horas. Em média a frota de trens rodou 575 km por hora, com pequenas variações nos meses de férias e em abril em decorrência da greve dos metroviários.

O indicador realização do programado compreendeu: o Índice de Cumprimento da Quilometragem no período (ICQp) (Equação 11), o Índice de Cumprimento das Viagens no período (ICVp) (Equação 12) e o Índice de Cumprimento dos Horários no período (ICHp) (Equação 13), todos expressos em porcentagem. A média anual do ICQp foi de 98,81%. Esse cálculo foi realizado utilizando a quilometragem média total realizada de 310.250 km e a quilometragem média total programada para o período de 313.983 km. Destaca-se que na programação da quilometragem planejada pela Trensurb, conforme o ICQp, a maioria das viagens foi efetivamente realizada, com destaque para os menores índices nos meses de abril, junho e outubro, conforme os motivos já apresentados (greve dos metroviários, chuva, etc.). O cálculo do ICVp foi realizado utilizando a média de 7.883 viagens realizadas e da média de viagens programadas para o período, este índice é diretamente proporcional ao ICQp e seus resultados foram iguais (98,81%).

O ICHp foi de 99,91%; o cálculo foi realizado utilizando a média de 6,75 viagens com atraso e a média de 7.169 viagens programadas para o período. Corroborando para os resultados do ICHp, a maioria das viagens se manteve pontual e o índice de atrasos nas viagens de 2017 ficou em torno de 0,10%. Analisando todos os parâmetros deste indicador de realização do programado, percebe-se que os resultados foram de 99% a 100%, o que demonstra que este indicador é de um modo geral satisfatório.

O indicador desempenho da manutenção mediu o Índice de Confiabilidade da Frota no período (ICFp), expresso em km/falha (Equação 14). O cálculo deste indicador resultou a média de 3033,87 km/falha, realizado utilizando a quilometragem total de 323.360 km percorrida pela frota de trens no período e o número médio de 107 falhas no período. Este indicador em um primeiro momento pode dar a impressão de que quanto maior a quilometragem realizada, maior é o número de falhas, mas essa realidade pode estar distorcida, pois o número de falhas depende de diversos outros fatores, que nem sempre são



fáceis de detectar, devido a manutenção de: sistema de tração, sistema de freio, sistema de portas, etc. Alguns destes sistemas podem apresentar mais falhas, conforme o aumento da quilometragem, enquanto outros apresentam mais falhas se ficarem subutilizados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores analisados permitiram o conhecimento do desempenho da operação da Trensurb e podem auxiliar a estabelecer metas ou comparar os resultados com as metas pré-estabelecidas, com a possibilidade de identificar e mitigar falhas ou incoerências. Neste trabalho foram identificados os indicadores baseados na qualidade e produtividade do transporte metroferroviário, abordando o serviço que é ofertado ao usuário. Os indicadores da Trensurb puderam ser observados apenas levando em conta as médias mensais da maioria dos índices, pois não havia série histórica comparativa. Fica a sugestão pela busca incessante de padronização dos indicadores e também que seja realizada uma pesquisa de origem e destino, para atualizar dados importantes de percepção dos usuários.

As melhorias não foram abordadas neste trabalho, mas são de extrema importância e impactam diretamente nos indicadores, tais como a frota dos novos trens sendo disponibilizada para a operação, a modernização dos trens antigos, a climatização e, por fim, a ampliação da malha. Atualmente, a maioria dos países trata com um olhar especial a questão da mobilidade urbana, onde o transporte sobre trilhos é uma das soluções para os deslocamentos e para reduzir o congestionamento do trânsito, proporcionando melhor qualidade de vida à população. Esta questão se torna relevante no Brasil, que precisa repensar o transporte coletivo e expandir o sistema ferroviário.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. E S. de. **Avaliação do Desempenho de Sistemas Metroferroviários sob a Ótica da Qualidade dos Serviços Prestados aos Usuários: aplicação no metrô do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana - PLANMOB**. Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana - SeMob. Brasília, DF. 2015, a. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Indicadores**. 2015, b. Disponível em: <<http://portaldaestrategia.transportes.gov.br/indicadores.html>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

BRASIL **PROGRAMA: 2048 - Mobilidade Urbana e Trânsito**. Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana - SeMob. Brasília, DF. 2016. Disponível em: <[http://www.minhacasaminhavida.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/indicadores\\_mobilidade\\_urbana\\_siop\\_monitoramento\\_espeelho.pdf](http://www.minhacasaminhavida.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/ArquivosPDF/indicadores_mobilidade_urbana_siop_monitoramento_espeelho.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

CANTOS, P.; PASTOR, J.M.; SERRANO, L. Evaluating European railway deregulation using different approaches. **Transport Policy**, v. 24, p. 67-72. 2012.

CEN EN 13816 - Transportation - Logistics and services - Public passenger transport - Service quality definition, targeting and measurement. **European Norms, European Committee for Standardization**. 2002.

CNT **Transporte metroferroviário de passageiros**. Confederação Nacional de Transporte, Brasília. 2016.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de Impactos Ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Interciência, Rio de Janeiro. 2004.

GRAHAM, D. J. Productivity and efficiency in urban railways: parametric and non-parametric estimates. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 1, p. 84-99. 2008.

HOEL, L. A.; GARBER, N. J.; SADEK, A. W. **Engenharia de infraestrutura de transportes: uma integração multimodal**. Cengage Learning, São Paulo. 2011.

KUTLAR, A.; KABASAKAL, A.; SARIKAYA, M. Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis. **Quality & Quantity**, v. 47, n. 6, p. 3575-3602. 2013.

PEREIRA, M. A.; ROSA, F.S.; LUNKES, R. J. Análise da eficiência ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 a 2013. **Transportes**. v. 23, n. 2 p.56-63. 2015.

PEZERICO, L. A. de M. **Sistemas de Avaliação de Desempenho no Transporte Urbano: uma abordagem para o setor metroferroviário**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, Porto Alegre, RS. 2002.

STRAUCH, R. G. **Análise de ruído interno para avaliação de conforto dos passageiros do Trensurb e avaliação da dose de ruído a que o operador do trem está exposto**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2016.

TRENSURB. **Relatórios Operacionais e de Manutenção**. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre, RS. 2017.



VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; CRUZ, J. A.; CARVALHO, N. A.; MAYERLE, S.; SANTOS, S. dos. **Qualidade e Produtividade nos Transportes**. Cengage Learning, São Paulo. 2008.

YU, M. M. Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 42, n. 10, p. 1283-1294. 2008.





## PERFIL E COMPORTAMENTO DE ESTUDANTES DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UFPR QUANTO AO USO DO CELULAR AO DIRIGIR

*Olivia Souza<sup>1</sup>, Márcia A. P. Bernardinis<sup>2</sup>*

*1,2, Universidade Federal do Paraná, Rua Francisco H. dos Santos, s/n.*

*souza.olivia@outlook.com<sup>1</sup>, profmarcia.map@gmail.com<sup>2</sup>*

### RESUMO

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), o Brasil ocupa a 4ª colocação no ranking de países com maior quantidade de mortes ocasionadas por acidentes de trânsito, o país segue longe da meta estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), que prevê redução de 50% no número de vítimas em 10 anos, contados a partir de 2011. Segundo o Observatório Nacional de Segurança Viária, em 2013 indica que jovens entre 18 e 25 anos compuseram mais de 28% das vítimas fatais. Tudo indica que o estilo de vida ao qual os jovens estão geralmente associados pode contribuir por estarem entre os mais atingidos, como dirigir alcoolizado e o excesso de velocidade. No entanto, dirigir e utilizar o celular para mandar mensagens instantâneas ou entrar em redes sociais começa a aparecer como um grande desencadeador de acidentes. Mesmo sendo uma infração do Código Brasileiro de Trânsito, é constatada pela Abramet (Associação Brasileira de Medicina do Tráfego) em 2017, como a 3ª maior causa de fatalidade de trânsito no Brasil. Frente a isso, esta pesquisa apresenta um estudo do perfil e comportamento humano, no caso estudantes do curso de Engenharia Civil da UFPR. Sabe-se que estes, muitas vezes têm a informação dos perigos e prevenções através de disciplinas como: Engenharia de Tráfego, Segurança Viária, Sistemas de Transporte e Infraestrutura Viária. Entretanto, com os resultados apontados, concluiu-se que é preciso abordar mais o assunto “celular ao volante” nestas mesmas disciplinas, uma vez que 47% dos alunos pesquisados, continuariam usando celular se tivessem levado uma multa. Isso mostra uma postura do jovem condutor que está se arriscando mais no trânsito, que vem ao encontro do elevado número de acidentes ocorridos nessa faixa etária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acidentes de trânsito, telefone celular, perfil do jovem, comportamento humano, segurança viária.

### ABSTRACT

*According to the World Health Organization (WHO), in 2016, Brazil ranks 4th in the ranking of countries with the highest number of deaths caused by traffic accidents, the country remains far from the goal established by the United Nations (UN), which foresees a 50% reduction in the number of victims in 10 years, counted from 2011. According to the National Road Safety Observatory, in 2013 it indicates that young people between 18 and 25 years made up more than 28% of the fatal victims. Everything indicates that the lifestyle that young people are usually associated with can contribute to being among the hardest hit, such as drunk driving and speeding. However, driving and using the cell phone to send instant messages or enter social networks begins to appear as a major trigger of accidents. Even though it is a violation of the Brazilian Traffic Code, it is found by Abramet (2017), the Brazilian Association of Traffic Medicine in 2017, as the 3rd largest cause of traffic fatality in Brazil. In view of this, this research presents a study of human profile and behavior, in this case students of the Civil Engineering course at UFPR. It is known that these often have information on dangers and prevention through disciplines such as: Traffic Engineering, Road Safety, Transport Systems and Road Infrastructure. However, with the results pointed out, concluding that it is necessary to address more the subject "cell phone behind the wheel" in these same subjects, since 47% of the students surveyed, would continue using cell phone if they had been fined. This shows a posture of the young driver who is taking more risks in traffic, which meets the high number of accidents that occur in this age group.*

**KEYWORDS:** Traffic accidents, Mobile phone, User's profile, Human behavior, road safety

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo um levantamento elaborado pelo Conselho de Medicina (CFM, 2019), no Brasil a cada 60 minutos, em média, pelo menos cinco pessoas morrem vítimas de acidente de trânsito. Ao avaliar o volume total de vítimas graves do tráfego nos últimos dez anos (1.636.878), é possível verificar que 60% desses casos envolveram vítimas com idade entre 15 e 39 anos. E desta porcentagem, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017), 37% eram pessoas do sexo masculino entre 20 e 39 anos.

Dirigir alcoolizado e com excesso de velocidade faz parte, infelizmente, do estilo de vida geralmente associado aos jovens e devido a isso estarem entre os mais atingidos. No entanto, dirigir e utilizar o celular para mandar mensagens instantâneas ou entrar em redes sociais começa a aparecer como um grande desencadeador de acidentes. Uma pesquisa realizada pela Abramet (Associação Brasileira de Medicina de Tráfego, 2017), aponta o uso de celular ao volante como a terceira maior causa de mortes no trânsito no Brasil.

Aqui neste documento, a análise se dá no jovem motorista estudante do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, uma vez que, os mesmos têm como disciplinas que citam e tratam dessas questões como: Engenharia de Tráfego, Segurança Viária, Sistemas de Transporte e Infraestrutura Viária. O jovem motorista, pode, entretanto, desenvolver papel fundamental na percepção e avaliação do risco no comportamento no trânsito, pois uma conduta adequada, poderá evitar acidentes e construir um trânsito melhor. Outra ferramenta que pode estar associada a esta ação seriam tecnologias da mobilidade inteligente (um dos pilares de uma cidade inteligente), que associadas podem contribuir para a redução de acidentes.

Assim, entender o perfil desses jovens estudantes objetiva este projeto de pesquisa. Além disso, sabe-se através de uma pesquisa feita pelo Ministério da Saúde em (2019), que um em cada cinco motoristas da cidade de Curitiba admite usar celular ao dirigir, reforçando a necessidade e importância de abordar este tema entre os jovens, em particular nesse documento, da capital paranaense.



## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. MOBILIDADE INTELIGENTE**

O conceito de smart cities, ou cidades inteligentes, se define pelo uso da tecnologia para melhorar a infraestrutura urbana e tornar os centros urbanos mais eficientes e melhores de se viver. As tecnologias são integradas e interagem para garantir ao cidadão um contexto urbano seguro, social e rico em serviços. Giffinger et al. (2007) definiu as seis grandes dimensões das cidades inteligentes: economia, mobilidade, meio ambiente, pessoas, governo e qualidade de vida.

O Instituto de Transportes e Tecnologia da Virgínia (VTTI), ligado ao NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, 2018), firma que as distrações envolvendo o uso de celular estão entre as mais perigosas para o condutor. De acordo com sua pesquisa, enviar mensagens de texto aumenta o risco de acidente em 23 vezes e fazer uma ligação diminui a atividade cerebral ligada à direção em 37%.

Como forma de amenizar os acidentes causados pelo uso das redes sociais - e diversos outros recursos que os smartphones oferecem - enquanto se dirige, algumas montadoras estão dispostas a trazer um pouco mais dessa tecnologia integradas aos seus veículos. Um dos principais sistemas de integração entre smartphones e centrais multimídias é o Android Auto da Google, a tecnologia é capaz de espelhar a tela de seu celular na central multimídia do carro. Outro recurso que se integra às centrais multimídias é o Apple Car Play da Apple. Ambos os recursos permitem a resposta de mensagens por comando de voz, uso do Google Maps ou Waze como GPS e o Spotify como serviço de música, tudo isso hands free, ou seja, com as mãos e principalmente os olhos livres para focar no tráfego a ser encarado pelo motorista, já que o áudio é projetado nos alto-falantes do carro. Estes, podendo ser realizadas de modo prático e ainda auxiliam a manter a segurança, tanto para os ocupantes do veículo quanto para as pessoas que estão ao redor.

## **2.2. SEGURANÇA VIÁRIA**

No Brasil, a segurança viária tem sido uma das preocupações fundamentais da sociedade e do governo. O Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV,2018) considera que a sociedade necessita de amadurecimento em relação ao problema da falta de segurança no trânsito.

A Organização das Nações Unidas (ONU, 2011), por meio de sua Assembleia Geral, proclamou em maio de 2011 a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020, na qual governos de todo o mundo se comprometem a tomar novas medidas para prevenir os acidentes no trânsito, em 2017, a OMS lançou um pacote técnico de segurança no trânsito, Save LIVES, que sintetiza medidas baseadas em evidências capazes de reduzir significativamente as mortes e lesões no trânsito. O documento tem foco na gestão de velocidade, liderança, desenho e melhoria de infraestrutura, normas de segurança dos veículos, aplicação das leis de trânsito e sobrevivência pós-acidente.

O plano promove soluções a fim de mitigar os principais fatores de riscos de acidente de trânsito e com boa relação custo-benefício. E dentre estes fatores o comportamento humano na direção de um automóvel é o maior responsável pelos acidentes de trânsito.

## **2.3. ACIDENTES DE TRÂNSITO: FATORES HUMANOS**

Segundo um levantamento elaborado pelo Conselho de Medicina (CFM, 2019), no Brasil a cada 60 minutos, em média, pelo menos cinco pessoas morrem vítimas de acidente de trânsito. E de acordo com o Laboratório de Psicofísica e Percepção da Universidade de São Paulo, 98% dos acidentes são provocados por fatores humanos, 72% deles por falhas de atenção. A universidade identifica a distração como a quarta causa mais frequente de acidentes de trânsito no país.

Um estudo feito pela Cesvi Brasil/Mapfre (Centro de Experimentação e Segurança Viária, 2018) apontou que desviar o olhar para responder uma mensagem no aplicativo Whatsapp à velocidade de 80 km/h equivale a dirigir a extensão de um campo de futebol inteiro com os olhos fechados.



### 2.3.1 Uso do celular ao volante

Segundo dados do Ministério da Saúde (2018), 19,5% da população das capitais brasileiras afirma que faz o uso do celular enquanto dirige. O percentual mostra que de cada cinco indivíduos, um comete esse ato que é um risco para acidentes de trânsito. A divulgação do dado inédito é do Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel), que também aponta que pessoas com nível superior são as que mais se comportam dessa forma, assim como as que mais recebem multas por excesso de velocidade.

Os condutores que usam celulares enquanto dirigem têm cerca de 4 vezes mais chances de estarem envolvidos em um acidente. O uso de um telefone ao dirigir diminui os tempos de reação (principalmente o tempo de reação da frenagem, mas também a reação aos sinais de trânsito) e dificulta que o condutor mantenha o carro na pista correta e guarde as distâncias de segurança, ele dá menos atenção ao retrovisor, à sinalização e ao próprio fluxo do trânsito.

Isso pode justificar o elevado número de acidentes ligados ao uso do celular, mesmo que muitos deles não registrados de fato, mas identificados como possíveis causas.

#### 2.3.1.1 A Psicologia por trás dos acidentes causados pelo o uso do celular

Segundo Cary Cooper (2017), professor de Psicologia Organizacional e Saúde da Universidade de Lancaster, o uso abusivo de smartphones pode levar à uma depressão, estresse e insônia, uma vez que, os aparelhos oferecem uma saída passiva onde o usuário não precisa interagir com o mundo ou enfrentar problemas. As tecnologias de computador podem ser viciantes, porque elas são psicoativas - que alteram o humor e, muitas vezes desencadeiam sentimentos agradáveis.

O professor da Faculdade de Medicina da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Spanemberg (2019) o uso de tela subverte a ordem natural fisiológica, trazem estímulos que ativam o cérebro, deixando-o sobrecarregado. O excesso de informação visual e sonora dificulta a redução de velocidade do funcionamento cerebral para entrar no modo de relaxamento. Isso atrapalha o neurodesenvolvimento e pode causar alterações no humor como

irritação, impulsividade e, até mesmo, comportamento mais agressivo. Além disso, como as pessoas costumam realizar outras tarefas enquanto mexem no celular, o cérebro tornou-se multitarefa e está constantemente sob estresse.

Assim sendo, mediante os fatos relacionados acima pode-se constatar que a associação destes, somados ao estresse já pré-existente no ambiente do trânsito, e ao uso do celular ao volante, podem ocasionar conflitos ou até mesmo acidentes de trânsito.

### **3. METODOLOGIA**

A área de estudo tem como cenário o Campus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, com alunos do curso de Engenharia Civil. Sendo o curso mais antigo junto aos cursos de Medicina e Direito, que apesar de ser muito exato e técnico que não contempla muitas disciplinas de âmbito social, tenta formar cidadãos prudentes e conscientes através da grade curricular ofertada.

A escolha deste cenário se deu, visando a necessidade de conhecimento da influência do comportamento humano e análise de perfil do jovem usuário do celular no trânsito e o consequente aumento de ocorrências de acidentes devido este fator. Sabe-se hoje que estão matriculados no curso de Engenharia Civil, 899 estudantes, da Universidade Federal do Paraná, e destes quase todos (98%) são maiores que 18 anos, sendo assim, possíveis condutores habilitados.

Para atingir o objetivo desse estudo, sobre o comportamento humano e analisar o perfil desse jovem usuário do celular ao volante, foi elaborado um questionário online em Google Forms (FIGURA 1) e enviado para as redes sociais como: Facebook, Whatsapp, Yahoo Grupos e este mesmo questionário em arquivo pdf em formato qr code para obter maior abrangência de respostas junto aos estudantes do curso de engenharia civil da UFPR.



 <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES PESQUISA: O PERFIL E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO JOVEM ESTUDANTE DE ENGENHARIA CIVIL AO VOLANTE USUÁRIO DO CELULAR</p>		( ) Não utilizo	18) Estaria disposto (a) a participar de uma pesquisa de comportamento de condutores? Se sim, deixe seu contato:
Dados do Entrevistado	( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ou mais ( ) Nenhum	10) Já sofreu algum tipo de acidente no trânsito? ( ) Sim ( ) Não	Muito obrigada por sua contribuição!
Sexo ( ) Feminino Masculino ( )	6) Quais tipos de tecnologia o veículo conduzido possui? (Pode marcar mais de uma opção): ( ) ABS ( ) Airbag ( ) Bluetooth ( ) Alerta de cinto de segurança ( ) Multimídia integrado ( ) Comando de voz ( ) Controle de multimídia via volante ( ) Controle automático de velocidade ( ) Nenhum	11) Se sim, depois disso continuaria a usar o telefone celular enquanto dirigia? ( ) Sim ( ) Não	
Tempo de condução/habilitação:	7) Com que frequência você utiliza ou já utilizou o celular enquanto conduzia um veículo? ( ) Sempre ( ) Quase sempre ( ) Apenas em longas distâncias ( ) Raramente ( ) Nunca	12) Se não, continuaria usando o telefone celular se sofresse um acidente? ( ) Sim ( ) Não	
Período que está cursando:	8) Para qual uso o telefone celular foi utilizado (pode marcar mais de uma opção) ( ) Mandar e receber mensagens ( ) Atender ligação normal ( ) Atender ligação via bluetooth ( ) Ouvir música ( ) Utilizar celular como gps ( ) Nunca utilize	13) Já foi multado (a) devido ao uso do telefone celular? ( ) Sim ( ) Não	
1) Idade ? ( ) 18-20 ( ) 21-22 ( ) 23-25 ( ) 26 ou +	9) Em quais condições o telefone celular foi utilizado? ( ) Sempre, que necessário, independente da condição ( ) Com o semáforo fechado ( ) Quando estou parado no trânsito (congestionamento)	14) Se sim quantas vezes?  15) Depois disso, continuou a usar o telefone celular? ( ) Sim ( ) Não	
2) Já cursou alguma destas disciplinas? ( ) Infraestrutura viária ( ) Segurança viária ( ) Engenharia de tráfego ( ) Sistemas de transportes ( ) Não cursei ( ) Coursei outras		16) Se não, continuaria a usar o telefone celular se tivesse tido uma multa? disciplinas? ( ) Sim ( ) Não	
3) Alguma disciplina abordou o assunto "celular ao volante"? ( ) Sim ( ) Não		17) Qual situação o uso do celular já lhe proporcionou? (Pode marcar mais de uma)? ( ) Quase colidir com o veículo a frente? ( ) Quase atropelar um pedestre ou ciclista ( ) Desviar involuntariamente da faixa ( ) Demorar para arrancar após o sinal abrir ( ) Falta de atenção no trânsito	
4) Se sim quantas? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) Senão, acha necessário abordar ( ) Senão, acha desnecessário abordar			
5) Quantos veículos possui: (pode considerar veículo da família e/ou próprio			

Figura 1 – Questionário Proposto  
Fonte: Souza, Olivia.(2019)

#### 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos através da pesquisa em campo e o questionário online, baseado em dados fornecidos por 60 condutores avaliados (entre homens e mulheres), com faixa etária entre 18 e 30 anos apresentaram percentual interessantes.

Conforme a pesquisa, destes 60 alunos pesquisados, 50 (91,7%) cursaram alguma das disciplinas ofertadas pelo o curso de Engenharia Civil, pelo Departamento de Transportes, como: sistemas de transportes, segurança viária, infraestrutura viária, engenharia de tráfego e dentre esta porcentagem 43(86%) dos

alunos responderam NÃO se as disciplinas abordaram o assunto “celular ao volante”.

O resultado também mostrou que mais da metade dos estudantes, 33 (55%) acham necessário abordar o assunto “celular ao volante”, nas disciplinas ofertadas.

Quando abordado sobre a quantidade de automóveis e os tipos de tecnologias que o veículo possui, mostra, que a quantidade de automóveis para essa pesquisa é de 107 para um total de 60 entrevistados automóveis para cada pessoa. Nota-se também que mais da metade dos entrevistados, 24 (40%), possui apenas um automóvel.

Quando questionados sobre as tecnologias, airbag, ABS e alerta de cinto de segurança foram as que tiveram maiores respostas no questionário, com 43 (19,20%), 39 (17,41%) e 32 (14,29%) respectivamente. Nota-se que a maioria dos automóveis tem itens que ajudam para a segurança dos condutores. Em contrapartida, 11 (4,91%) dos automóveis desta pesquisa não tem nenhum item de tecnologia. Descritos na tabela 3.

Tabela 1 – Correlação de dados entre tecnologias mais existentes x percentual de condutores

<b>Tecnologias</b>	<b>Percentual</b>
Airbag	19,20%
ABS	17,41%
Alerta cinto de segurança	14,29 %
Nenhuma tecnologia	4,91%

Fonte: Souza, Olivia. (2020)

A frequência do uso do telefone celular pelos condutores entrevistados, conforme a tabela 2, deixa claro que mesmo sabendo do risco de serem multados ou ainda pior, de sofrerem algum tipo de acidente, estes ainda assim o utilizam: com alguma frequência (41,67%), e raramente (40 %). Apenas 7 (11,67%) dos condutores disseram nunca terem usado o telefone celular enquanto dirigem, onde revelam que mesmo ciente das consequências, conforme a tabela 5, ainda assim se arriscam para atender uma ligação normal (15,09%), mandar e receber mensagem (20,13%), utilizar o celular como GPS (27,67%) e ouvir música (18,87%),



Tabela 2 – Correlação de dados entre uso do celular enquanto dirigia x percentual de condutores

<b>Frequência</b>	<b>Percentual</b>
Alguma frequência	41,67%
Raramente	40%
Nunca	11,67%

Fonte: Souza, O. (2020)

Tabela 3 – Correlação de dados dos condutores que usam o celular e os motivos

<b>Uso do celular</b>	<b>Percentual</b>
Atender ligação normal	15,09%
Mandar e receber msg	20,13%
Utilizar como GPS	27,67%
Ouvir música	18,87%

Fonte: Souza, O. (2020)

E a pesquisa mostra que, 9 (15%) já foram multados e que quando o condutor é multado pela primeira vez ou pela segunda, estes insistem ainda em utilizar o telefone celular enquanto dirige, já para para as situações onde demoram para arrancar após o sinal abrir e falta de atenção no trânsito a porcentagem dos condutores é de 30 (31,25%) e 28 (29,17%), respectivamente.

Pode-se assim notar o quanto o telefone celular prejudica no trânsito de uma cidade, podendo, inclusive ser responsável por uma parcela do congestionamento.

## 5. CONCLUSÕES

Com esse estudo percebeu-se alguns fatos que merecem destaque. Por exemplo, em ambos os sexos, numa faixa etária de 18 a 30, utilizam ainda o telefone celular enquanto fazem seus deslocamentos diários, acreditando que nada irá acontecer, mesmo já tendo sido multado, ou mesmo que não tivessem sido multados continuaria fazendo o uso do celular.

Portando é necessário conscientizá-los sobre o risco de conduzir falando no celular. Como mostra a pesquisa, os próprios alunos acham necessário abordar o assunto dentro das salas de aula esta ausência de percepção do risco leva muitos a permanecerem usando o celular enquanto conduzem.

Campanhas devem ser feitas para comunidade interna da Universidade Federal do Paraná e posteriormente para a comunidade externa, para mitigar, de forma sutil, os possíveis riscos do uso do celular ao volante. Além de que, o Estado tem como dever garantir um trânsito seguro e educar o cidadão desde a sua infância, para que o número de vítimas do trânsito diminua (MORAIS,2001).

Para uma cidade ser inteligente, além de serem inseridas mais tecnologias e elas serem mais acessíveis, tem que haver uma mudança de comportamento por parte da sociedade. É necessária e importante também a preocupação com os acidentes de trânsito usando o celular, por isso, deve-se dar continuidade ao estudo, com análises mais aprofundadas, comparando cidades e metodologias para avaliação.

## REFERÊNCIAS

AMADEU, M. S.; MENGATO, A. F.; STROPARO, E. M.; ASSIS, T. S. **Manual de normalização de documentos científicos de acordo com as normas da ABNT**. Curitiba: Ed. UFPR, 2015. Disponível em < <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/45654>>. Acesso em: dezembro/2020.

ABRAMET – Associação Brasileira de Medicina do Tráfego. Disponível em: <http://www.abramet.com.br/>, acessado em 21/07/2019. Acessado em agosto/2019.

ANPET,2002. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/index>. Acessado em: julho/2019

CESVI – Centro de Experimentação e Segurança Viária Disponível em:<https://www.mapfre.com.br/seguro-br/quem-somos/noticias/noticias/cesvi-brasil-explica-tipos-de-seguranca-veicular.jsp>Acessado em agosto/2019.



CFM – Conselho Federal de Medicina. Disponível em <http://portal.cfm.org.br/>, acessado em julho/2019.

COOPER, C., 2019 Universida de Lancast

DETRAN, 2019. Disponível em: <http://www.detran.pr.gov.br/Noticia/Dirigir-e-falar-ao-celular-aumentam-em-400-o-risco-de-acidentes> Acessado em agosto/2019

FERRAZ, C.; et al, 2012. Segurança viária. São Carolos, SP, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base cartográfica brasileira**. 2019.

INSTITUTO DE TRANSPORTES E TECNOLOGIA DA VIRGÍNIA (VTTI). Acessado em agosto/2019

LABORATÓRIO DE PSICOFÍSICA E PERCEPÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, USP, 2017. Acessado em agosto,2019.

MARKOWETZ, A., (2019), da Universidade de Bonn MINISTÉRIOS DA SAÚDE, 2018 – Disponível em: <http://saude.gov.br/>. Acessado em agosto/2019

MIRANDA, V. e BRAGA, M., 2004, Segurança de trânsito no Brasil: propostas para as empresas. XIII Congresso panamericano de engenharia de trânsito e transporte, Nova York, EUA, 26-29/09/2004

MORAIS, 2001

NHTSA - (National Highway Traffic Safety Administration). Acessado em Agosto/2019

RUIZ, VASCONCELOS DE LINS, L. 2016. O perfil e estudo do comportamento humano nos acidentes de trânsito: o uso do celular

SAVE LIVES- OMS, 2017. Disponível em:<http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/34980/9789275320013-por.pdf?sequence=1&isAllowed=y=779>. Acessado em: julho/2019

SPANEMBERG, L., 2019 – Pontifica Universidade Católica do Rio Grande do Sul

VIGITEL BRASIL 2017. Disponível em: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel\\_brasil\\_2017\\_vigilancia\\_fatores\\_risco\\_1e\\_d\\_rev.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel_brasil_2017_vigilancia_fatores_risco_1e_d_rev.pdf). Acessado em: agosto /2019





## FATORES DETERMINANTES PARA O EXCESSO DE VELOCIDADE EM VIAS ARTERIAIS URBANAS

*Maria Clara Suginoshita<sup>1</sup>; Gabriela Rolim Ribeiro Valeixo<sup>2</sup>; Pedro Augusto Borges dos Santos<sup>3</sup>; Jorge Tiago Bastos<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Universidade Federal do Paraná, maria.sugui@ufpr.br, gabrielavaleixo@ufpr.br, pedroaugusto@ufpr.br, jtbastos@ufpr.br*

### RESUMO

Entre os principais fatores de risco para a ocorrência e severidade dos acidentes de trânsito está o excesso de velocidade, cujo entendimento de suas motivações é fundamental para o planejamento de ações preventivas e de intervenções no sistema viário. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência de características físicas e operacionais de vias arteriais urbanas na prática do excesso de velocidade, visto que esses elementos influenciam diretamente nessa prática de risco. A metodologia utilizada foi baseada em um estudo de condução naturalística, em que condutores de Curitiba (PR) foram selecionados e seus veículos foram instrumentados e monitorados quanto à posição e à velocidade praticada a cada segundo. De modo a entender como um conjunto de variáveis preditoras relacionadas à via (permissão de estacionamento, existência de radar, existência de semáforo e número de faixas trafegáveis) influenciam no excesso de velocidade, foi utilizado o método da regressão logística binária. Os resultados mais consistentes indicam a proibição de estacionamento e a presença de dispositivo de fiscalização eletrônica (radar) como fatores favoráveis ao não excesso do limite de velocidade. A oportunidade de exceder o limite de velocidade é menor quando a densidade do tráfego é maior, o que ocorre nos horários em que há proibição de estacionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** segurança viária, condução naturalística, excesso de velocidade.

### ABSTRACT

*Among the main risk factors for the occurrence and severity of traffic accidents is speeding, whose understanding of its motivations is essential for planning preventive actions and interventions in the road system. The objective of the present research was to evaluate the influence of physical and operational characteristics of urban arterial roads in the practice of speeding, since these elements directly influence this risky behavior. The methodology used was based on a collection of naturalistic driving data, in which drivers from Curitiba (PR) were selected and their vehicles were instrumented and monitored as to the position and speed practiced every second. In order to understand how a set of road factors (parking permission, existence of radar, existence of traffic lights and number of trafficable lanes) influence speeding, the binary logistic regression method was used. The most consistent results indicate the parking ban and the presence of an electronic surveillance device (radar) as factors favorable to not exceeding the speed limit. Speeding opportunity is smaller when traffic density is higher, which occurs during parking ban hours.*

**KEYWORDS:** road safety, naturalistic driving, speeding.

## 1. INTRODUÇÃO

Os dados da Organização Mundial da Saúde mostram que o número de mortes no trânsito atingiu o valor de 1,35 milhões, representando a oitava maior causa de morte entre

as pessoas de todas as faixas etárias e a maior causa de morte entre crianças e jovens adultos (5 a 29 anos) (WHO, 2018). No Brasil, dados oficiais de 2018 apontam 32.655 óbitos ocorridos em acidentes de trânsito. Esse número representa uma redução ao comparar com os óbitos do início da década, que atingiu 42.844 mortes em 2010 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

Além das irreparáveis vidas perdidas, os acidentes de trânsito trazem também graves impactos sociais e econômicos ao país. Em 2014, o custo total estimado de acidentes de trânsito no Brasil foi de mais de R\$ 56 bilhões, incluindo custos médicos e hospitalares, danos materiais e perda de produtividade devido ao acidente (IPEA, 2015).

Um dos principais fatores de risco para a ocorrência e severidade dos acidentes de trânsito é a prática do excesso de velocidade, ou seja, a condução acima do limite regulamentar da velocidade (WHO, 2018). O entendimento das motivações para o excesso de velocidade é fundamental para o planejamento de ações preventivas e de intervenções no sistema viário, incluindo medidas como campanhas de conscientização, aumento da fiscalização e alterações na infraestrutura. Apesar da escolha da velocidade de condução ser uma decisão essencialmente comportamental, a infraestrutura viária também é capaz de influenciar na incidência do fator de risco “excesso de velocidade”.

Nesse contexto, o objetivo desse artigo é avaliar a influência de características físicas e operacionais em vias arteriais urbanas de Curitiba/PR na prática do excesso de velocidade. A coleta de dados de velocidade se deu pelo Estudo Naturalístico e se fez a análise desses dados através de um modelo de regressão logística binária. Especificamente, avaliou-se a influência da presença de estacionamento, de radares, de semáforos e a influência do número de faixas trafegáveis.

O enfoque sobre o ambiente urbano se justifica pela importância do fator de risco do “excesso de velocidade” em áreas urbanizadas dada a interação entre usuários motorizados e não-motorizados. Já o recorte sobre as arteriais urbanas se fez necessário por serem, segundo a lógica da hierarquização viária, vias de trânsito rápido em que há a intenção de deslocar-se a velocidades mais elevadas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção é abordada a situação do cenário mundial e brasileiro no tocante ao excesso de velocidade, assim como sua contribuição na ocorrência e severidade dos



acidentes de trânsito. São discutidos também os fatores que contribuem para a escolha da velocidade por parte do condutor. Por fim, são apresentados os fundamentos do estudo naturalístico de condução e como ele vem sendo usado para a coleta de dados comportamentais e ambientais.

## 2.1. O excesso de velocidade

Pode-se definir o excesso de velocidade como um termo que engloba a velocidade excessiva ou velocidade inadequada. Por velocidade inadequada entende-se aquela que, apesar de não exceder o limite regulamentar, não é compatível com as condições locais, comprometendo a segurança (OMS, 2012). Já a velocidade excessiva pode ser traduzida como dirigir acima do limite legal estabelecido, a qual é objeto deste trabalho. A velocidade com que os veículos motorizados se movem no trânsito é a base do problema dos acidentes de trânsito (TIWARI E MOHAN, 2016).

O Conselho Europeu de Segurança Viária recomenda um limite máximo de 50km/h em vias urbanas com limite de 30km/h em vias locais. Em rodovias, são recomendadas velocidades de 120km/h ou menos. (TIWARI E MOHAN, 2016). Em áreas com grande movimentação de pedestres e ciclistas, como áreas residenciais e próximas a escolas e hospitais, muitos países adotam limites de velocidade ainda mais baixos.

No Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) recomenda um limite de velocidade para cada tipo de via urbana, de acordo com suas características de projeto e utilização. Atualmente, o limite de velocidade máximo em áreas urbanas é de 80 km/h em vias de trânsito rápido. O CTB recomenda limites de 60 km/h para vias arteriais, 40 km/h para vias coletoras e 30 km/h para vias locais (BRASIL, 1997). Contudo, cabe ao poder público municipal definir os limites de velocidade que serão adotados.

Um dos principais fatores responsáveis pelo número de mortes nas vias públicas em todo o mundo é a escolha inadequada da velocidade (OMS, 2012). Ferraz *et al.* (2012) cita que a velocidade alta é o principal fator associado aos acidentes com vítimas graves e/ou fatais.

Quando analisados os fatores que contribuem para o excesso de velocidade, percebe-se que as circunstâncias individuais de cada viagem influenciam na escolha do condutor. Quando o condutor está sob pressão, com pressa, ou até mesmo por prazer, ele tende a exceder a velocidade (OMS, 2012). Outros condutores ainda afirmam desconhecimento do

limite de velocidade, o que implica a necessidade de sinalizações adequadas. Por outro lado, pesquisadores afirmam que as pessoas tendem a conduzir mais rápido em vias consideradas “mais seguras” (TIWARI E MOHAN, 2016).

Para a busca de alternativas sobre como influenciar a velocidade, é importante estar ciente dos diversos fatores que afetam a escolha da velocidade pelos condutores. De acordo com a OMS (2012), vários fatores influenciam a escolha da velocidade do condutor, incluindo os fatores ligados à via, que correspondem a aspectos relacionados ao tipo de via e suas características. Em relação ao fator comportamental do condutor, a NHTSA (2012) define quatro tipos de comportamento em relação à velocidade praticada: (Zona A) quando ele está intencionalmente tentando estar abaixo da velocidade praticada, (Zona B) quando ele não está preocupado ou limitado pela velocidade regulamentada, porém tenta evitar multa por excesso de velocidade, (Zona C) quando ele está desocupado e conscientemente disposto a aceitar algum risco (de segurança e multa) ao exceder a velocidade e (Zona D) quando ele está dirigindo em uma velocidade que a maioria dos outros condutores claramente identificaram como imprudente.

Ao analisar e quantificar o excesso de velocidade de um condutor, é importante verificar os momentos em que a condição de tráfego está em fluxo livre, ou seja, momentos em que há a possibilidade de o condutor exceder o limite de velocidade.

## **2.2. O Estudo Naturalístico**

O estudo naturalístico é uma abordagem relativamente recente entre os métodos de pesquisa de comportamento dos condutores. Pode ser definido como um estudo designado para entendimento do comportamento do condutor em suas viagens diárias, através da coleta de dados associados ao próprio condutor, ao veículo, ao ambiente viário e às interferências exteriores, sem controle experimental. Isso significa que os condutores seguem suas rotinas habituais de condução, sem serem induzidos a realizar viagens ou percorrer determinado trajeto (VTTI, 2019).

O método envolve a instrumentação não intrusiva dos veículos de participantes voluntários com câmeras, equipamento de GPS e instrumentação para gravação do comportamento e performance do condutor em tempo real. Em comparação com simuladores convencionais, o estudo de condução naturalística traz resultados mais verídicos e próximos ao cenário real (WANG E XU, 2019). De acordo com Wijayaratna *et al.* (2019),

a vantagem do estudo naturalístico em relação ao estudo com o uso de simulador é a coleta de comportamentos que ocorrem em um cenário real de condução, algo que não aconteceria em um ambiente de simulação.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho está dividida em quatro seções. A primeira apresenta como foi o experimento da coleta dos dados, a segunda apresenta o processo de definição da área de estudo, a terceira mostra como se identificou o excesso de velocidade e a quarta discorre sobre o processo de construção do modelo de regressão logística binária.

#### 3.1. O primeiro estudo naturalístico do Brasil

O estudo naturalístico utilizado nesta análise foi desenvolvido seguindo o princípio do “protótipo do mínimo valor”. A instrumentação dos veículos dos participantes contou com a instalação de três câmeras, sendo duas delas apontadas para o exterior e uma delas apontada para o interior do veículo. Também foi utilizado um notebook, um inversor de voltagem e um dispositivo de *GPS (Global Positioning System)*.

As câmeras direcionadas para fora do veículo tiveram por objetivo capturar imagens do exterior – lado direito (a) e lado esquerdo (b) –, enquanto a câmera interna (c), posicionada ao lado direito do banco do passageiro, permitiu a gravação de imagens do condutor, e de suas ações enquanto dirigia (Figura 1). Ressalta-se que não foi realizada a gravação de áudio, a fim de preservar certo nível de privacidade aos participantes, além de não inibir possíveis comportamentos habituais. O notebook foi programado para ativar a captura de imagens e de coordenadas geográficas assim que o veículo fosse ligado. Essa coleta de informações foi sincronizada e gravada em intervalos de 1 segundo.



Figura 1 - Imagens coletadas pelas câmeras (a, b e c)  
Fonte: Os autores (2020)

A seleção dos condutores participantes foi feita através de uma divulgação nas redes sociais. As pessoas que demonstraram interesse foram selecionadas para participar de uma sessão de grupo focal, na qual foram discutidos aspectos comportamentais no trânsito a fim de identificar padrões extremos entre os participantes, que poderiam influenciar nos resultados do estudo. O processo resultou na seleção de oito participantes, sendo quatro deles condutores habituais praticantes de *carpooling* (oferta de caronas pagas através de aplicativo de celular), dois deles motoristas de aplicativo como atividade profissional e os dois restantes sendo condutores habituais.

A Tabela 1 apresenta as características de cada condutor e seus automóveis. As idades variaram de 19 a 39 anos, sendo igualmente divididos entre homens e mulheres, com experiência de direção variando de 1 a 21 anos. Os veículos utilizados no experimento eram dos próprios condutores. O período de coleta de dados com cada condutor se estendeu por duas semanas, com a realização entre os meses de agosto e novembro de 2019 em Curitiba e região metropolitana. Um total de 269 viagens foram realizadas, com duração de 177,29 horas e cerca de 3.500 km percorridos. Porém, alguns cuidados foram tomados com os dados coletados, desconsiderando as situações em que o condutor não estivesse de fato dirigindo e momentos de manobra. Foram desconsideradas também a primeira viagem de cada participante, em razão da pouca familiarização do condutor com os equipamentos instalados, e viagens em que houve falha no registro das imagens ou das coordenadas geográficas. Assim, após considerar apenas os tempos válidos para análise, os números originais reduziram para 262 viagens com 130,34 horas e distância de 3.400 km percorridos.



Tabela 1 - Características gerais dos condutores selecionados e de seus veículos

Tipo	Condutor	Sexo	Idade	Veículo
Condutores habituais praticantes de <i>carpooling</i>	A	Feminino	31 anos	Chevrolet Prisma 1.4L LT (2012)
	B	Masculino	38 anos	Renault Scenic PRI 1616V (2010)
	C	Masculino	20 anos	VW Fox 1.6 PRIME GII (2010)
	D	Masculino	23 anos	GM Zafira CD (2002)
Condutores de aplicativos como atividade profissional	W	Feminino	32 anos	Nissan Grand Livina 18SL (2013)
	X	Masculino	47 anos	Ford Ka SE 1.0 SD B (2017)
Condutores habituais	J	Feminino	39 anos	VW Fox 1.0 GII (2013)
	K	Masculino	26 anos	Citroen DS3 Turbo165M6 (2012)

Fonte: Os autores (2020)

### 3.2. Definição da área de estudo

Para a definição da área de estudo, foram estabelecidos alguns requisitos. Como ponto de partida, as vias a serem analisadas deveriam ter volume considerável de viagens e de preferência por diversos condutores, fazendo com que os resultados da amostra oferecessem números representativos para a posterior modelagem estatística. Na sequência, buscou-se restringir a escolha a uma área com poucas divergências quanto às características principais da via e nível hierárquico, em uma tentativa de isolar a análise da influência da escolha da velocidade do maior número possível de fatores.

Como recorte do estudo, foram então escolhidas as vias arteriais do eixo sul do sistema de Eixos Estruturantes de Curitiba, delimitadas na Figura 2. As vias arteriais selecionadas são aquelas externas ao Eixo Estrutural Sul, presentes no lado oeste (1) e leste (2). Esses eixos caracterizam eixos de crescimento da cidade uma vez que funcionam como áreas de expansão do centro tradicional e como corredores de uso misto, de serviços e de transporte, tendo como suporte um sistema trinário de circulação (CURITIBA, 2019). A via central é aquela que contém a via exclusiva para o transporte coletivo e as pistas lentas para o atendimento às atividades lindeiras. Já as vias externas (arteriais) têm sentido único de tráfego e são destinadas ao fluxo contínuo de veículos.

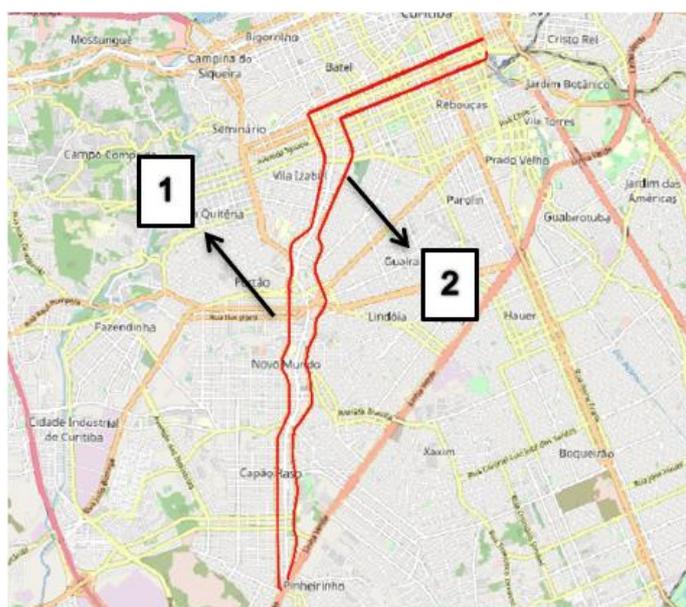


Figura 2 - Área de estudo: vias do lado oeste (1) e leste (2)

Fonte: Os autores (2020)

Em seguida, fez-se necessária a caracterização dos trechos, e cada quadra foi analisada individualmente conforme: número de faixas trafegáveis, presença de dispositivo de controle eletrônico de velocidade (radar), presença de semáforo e permissão de estacionamento. Quanto ao último, considerou-se estacionamento proibido das 7h às 20h em dias úteis e 7h às 14h aos sábados onde havia essa possibilidade.

### 3.3. Identificação do excesso de velocidade

O excesso de limite da via foi definido como o tempo em que a velocidade instantânea fosse maior que o limite de velocidade regulamentar da via. Porém, o excesso só pode ser



identificado em situações em que há a oportunidade de o veículo alcançar maiores velocidades, como em casos de luxo livre. Por sua vez, a oportunidade de exceder o limite de velocidade foi definida como a velocidade limite da via subtraída de 10 km/h, assim, as velocidades praticadas que se encaixaram acima desse critério foram consideradas como velocidades de fluxo livre.

### 3.4. Criação do modelo de regressão logística binária

A segunda fase da análise foi destinada à caracterização das vias. Por meio do *Google Street View*®, foi criado um banco de dados com os nomes das ruas, sendo cada uma delas separada em suas quadras.

Com relação à variável número de faixas trafegáveis, foram atribuídas respostas numéricas (2, 3 e 4). Já quanto à presença de estacionamento, permitido ou proibido, diferenciando lado esquerdo e lado direito. Por fim, para as variáveis presença de radar e presença de semáforo, foram adotadas como respostas “sim” e “não”. A única uniformização realizada neste estudo se deu com a Avenida Visconde de Guarapuava e Avenida Silva Jardim, com relação exclusivamente às faixas trafegáveis, visto que a imprecisão apresentada pelo *GPS* impossibilitou a separação das viagens à direita e à esquerda do canteiro central destas ruas.

Anteriormente à importação dos dados para o software *Minitab*®, foi avaliado como as variáveis explicativas associavam-se com o excesso de velocidade para que o modelo pudesse ser executado tendo como referência a resposta “sim” para a variável dependente e para as variáveis independentes. Portanto, a resposta “sim” para a variável dependente corresponde à situação de “não excesso de velocidade” (Figura 3). Assim, a hipótese de referência é que a presença de semáforos, radares e estacionamento na via contribuem para que a velocidade regulamentar não seja excedida. Foram simulados dois cenários diferentes com relação à base de dados consolidada: Cenário A – em que foi considerada a base de dados completa e Cenário B – em que foi feito um recorte na base de dados de modo que quadras que apresentaram permissão de estacionamento desigual entre os lados da via foram excluídas da análise a fim de manter certa uniformidade entre os segmentos.

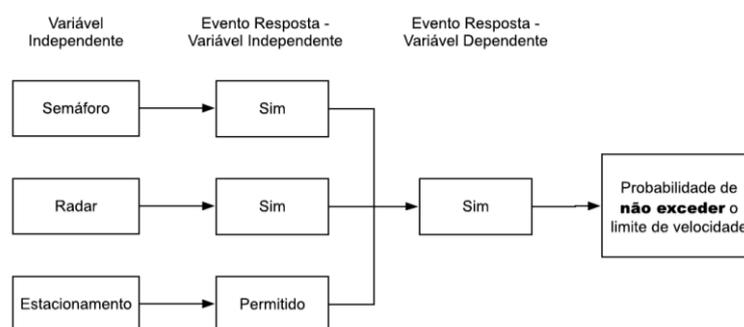


Figura 3 - Correlação das respostas das variáveis independentes com o evento resposta  
Fonte: Os autores (2020)

#### 4. RESULTADOS

A distância total percorrida dentro da área de estudo resultou em 247 km, que se traduz em um tempo total de viagem de cerca de 10h44min. Ao desconsiderar o ajuste em relação à oportunidade de exceder a velocidade regulamentar, chegou-se a 2,93% do tempo total sob excesso de velocidade. Porém, ao se considerar a oportunidade de exceder o limite de velocidade, este valor passou a ser 12,50% do tempo total.

A partir da aplicação dos conceitos de níveis de excesso de velocidade apresentados pelo *NHTSA* (2012) para as viagens do presente estudo brasileiro, pode-se considerar que o recorte de viagens sobre as ruas do eixo estrutural norte-sul apresenta-se, em sua maioria, como Zona A, em que há o excesso de velocidade em um pequeno número de viagens. Neste contexto, a infração da velocidade regulamentar pode apresentar cunho não intencional ou acidental por parte do condutor.

A fim de entender os fatores determinantes para o excesso de velocidade, foram calculados coeficientes para o modelo a partir do método de regressão logística binária, em que diversas possibilidades de combinações foram geradas. Resultados com nível de confiança de pelo menos 95% mostraram que a resposta “sim” para as variáveis explicativas *Semáforo* e *Radare* ou então a resposta “proibido” para a variável *Estacionamento* aumentam a probabilidade da resposta “sim” na variável resposta (situação que corresponde ao não excesso do limite de velocidade regulamentar). Além disso, percebeu-se que vias com 4 *Faixas Trafegáveis* contribuem para o “não excesso do limite de velocidade”. No Cenário B, para as combinações *Estacionamento* e *Radare* e *Estacionamento* e *Semáforo*, os resultados mostraram que o estacionamento proibido em ambos os lados da via favorece o



“não excesso do limite de velocidade”. Uma possível explicação para a relação entre a presença de estacionamento e o excesso de velocidade é que a densidade da corrente de tráfego aumenta substancialmente quando não há uma faixa ocupada para o estacionamento (horário comercial), de modo que os veículos acabam circulando mais devagar, apesar do maior número de faixas trafegáveis. Analogamente, horários em que o estacionamento é permitido correspondem a horários não comerciais e, portanto, de menor demanda e fluxo mais livre.

A variável *Radár* alcançou apenas um nível de confiança de no mínimo 92%, isoladamente ou combinada com a permissão de estacionamento do lado esquerdo, se mostrando favorável ao não excesso de velocidade no cenário A. Ainda no mesmo cenário, a presença de estacionamento no lado direito contribui para o não excesso de velocidade em 20% e 30% acima do limite de velocidade regulamentar.

## 5. CONCLUSÕES

Os modelos mais consistentes mostram que a ausência de estacionamento e a presença de radares favoreceram o não excesso de velocidade. A ausência de estacionamento como fator que influencia o não excesso de velocidade pode ser explicada pelo fato do aumento da densidade de veículos na via, que ocorre quando há mais faixas trafegáveis. Das 68 tentativas de combinações, foram apenas 16 aquelas com nível de confiança maior ou igual a 95%, o que equivale a 23,5% do total. Dessa forma, pode-se concluir que a modelagem utilizada foi capaz apenas de retratar parcialmente as relações entre as variáveis com potencial impacto sobre a velocidade e a escolha em si da velocidade praticada por parte da amostra de condutores utilizada. Nesse sentido, considera-se que o aumento da amostra de viagens e condutores, ampliando o estudo naturalístico de condução realizado é fundamental para a busca de resultados mais robustos quanto às motivações para o excesso de velocidade no cenário urbano brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

Ao Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCTIC / CNPq N°. 28/2018 – Universal / Faixa A).

---

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.** [s. l.], 1997.

CURITIBA. Lei nº 15.511, de 10 de outubro de 2019. **Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba e dá outras providências**, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-curitiba-pr>

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Segurança viária**. São Carlos: [s. n.], 2012. *E-book*.

IPEA. **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea** **Relatório de Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: [http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/160516\\_relatorio\\_estimativas.pdf](http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/160516_relatorio_estimativas.pdf).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Óbitos Por Causas Externas**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>

NHTSA. **Motivations for speeding. Volume I: Summary Report**. [S. l.: s. n.].

OMS. **Gestão da velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**. Brasília: [s. n.], 2012.

TIWARI, Geetam; MOHAN, Dinesh. **Transport Planning and Traffic Saffety**. [S. l.]: CRC Press, 2016. *E-book*.

VTTI. **Naturalistic Driving Studies**. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.vtti.vt.edu/impact/index.html>.

WANG, Xuesong; XU, Xiaoyan. Assessing the relationship between self-reported driving behaviors and driver risk using a naturalistic driving study. **Accident Analysis & Prevention**, [S. l.], v. 128, p. 8–16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.009>

WHO. **Global status report on road safety** **Global status report on road safety**. [S. l.]: World Health Organization, 2018. Disponível em: [https://doi.org/https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2018/en/](https://doi.org/https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/).

WIJAYARATNA, Kasun P. *et al.* Mobile phone conversation distraction: Understanding differences in impact between simulator and naturalistic driving studies. **Accident Analysis & Prevention**, [S. l.], v. 129, p. 108–118, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.017>



# CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS OCORRIDOS EM LOCAIS CRÍTICOS DE ACORDO COM O RISCO ASSOCIADO À RODOVIA

*Tiago Augusto Pianezzer<sup>1</sup>; Camila Belleza Maciel Barreto<sup>2</sup>; Valter Zanela Tani<sup>3</sup>; Amir Mattar Valente<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup> Laboratório de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, [tiago.pianezzer@gmail.com](mailto:tiago.pianezzer@gmail.com), [camilabmaciel@gmail.com](mailto:camilabmaciel@gmail.com), [vztani@gmail.com](mailto:vztani@gmail.com), [amir.ecv@gmail.com](mailto:amir.ecv@gmail.com)*

## RESUMO

Os acidentes de trânsito são considerados globalmente como a 8ª maior causa de morte, visto que ocorrem aproximadamente 1,35 milhão de óbitos anualmente. Este estudo utilizou as técnicas geoestatísticas Moran's I e Getis Ord Gi\* para identificação de pontos críticos de acidentes vinculado ao risco da rodovia, calculado pela metodologia iRAP. Foram identificados 3 agrupamentos de acidentes em segmentos de alto risco e 2 agrupamentos de acidentes em segmentos de baixo risco, totalizando 46 ocorrências. Tais acidentes apresentaram: maior quantidade sem vítimas em locais com baixo risco e de vítimas fatais em locais com maior risco; predominância de causas comportamentais, independente do risco da rodovia; maior quantidade envolvendo somente um veículo nos agrupamentos de alto risco. Foi possível identificar a importância de cada elemento dos sistemas seguros – usuário, via e veículo, associados a velocidades seguras – e evidenciar a necessidade de se considerar o conceito de rodovias que perdoam nas questões de segurança viária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança Viária, Metodologia IRAP, Acidentes Rodoviários, Análises Espaciais.

## ABSTRACT

*Traffic accidents are considered the 8th leading cause of the death worldwide, since about 1.35 million deaths occurs annually. This study used Geostatistics techniques, such as Moran's I and Getis Ord Gi\*, in order to identify traffic accidents' black spots linked to highway risk, which was estimated by iRAP methodology. It was identified 3 clusters of accidents in high risk segments and 2 clusters of accidents in a low risk segments, which covered 46 traffic accidents. Such accidents presented: less casualties in low risk clusters and more fatalities in high risk clusters; prevalence of behavior reason, regardless of highway risk; and prevalence of single vehicle crashes in high risk clusters. It was possible to identify the importance of each safe system' parts – users, highways and vehicles, associated with safe speed choices – and, mainly, to highlight the necessity of considering the concept of forgiving highways in road safety management.*

**KEYWORDS:** Traffic Safety, IRAP Methodology, Traffic Accidents, Spatial Analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de 1,35 milhão de óbitos que ocorrem todos os anos globalmente são relativos aos acidentes de trânsito, fazendo com que esse problema seja considerado como a 8ª maior causa de morte no mundo (OMS, 2018). Entende-se que os acidentes não são responsabilidade exclusiva do usuário, e sim consequência da interação dos elementos que compõem a abordagem de sistemas seguros: usuário, veículos e vias. Tal abordagem,

conforme o *World Resources Institute* (WRI, 2018), se baseia no princípio de que os erros humanos são inevitáveis e que “o sistema viário deveria ser projetado de tal forma que o erro humano não leve a um resultado grave nem fatal”, ficando conhecido como “rodovias que perdoam”. Ainda mais, para avaliar a questão da segurança das vias, a metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*) (iRAP, 2014), é uma metodologia preditiva que avalia o risco que cada local da rodovia oferece ao usuário.

Nesse contexto, esse artigo objetiva identificar os agrupamentos de acidentes baseado no valor de risco da rodovia vinculado a cada local de ocorrência de acidente, de acordo com a metodologia iRAP. Os acidentes foram caracterizados conforme a severidade, a causa e o tipo dos mesmos, de acordo com seu agrupamento.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

No que tange a identificação de locais críticos de acidentes rodoviários, diversos métodos são encontrados na literatura, podendo diferir entre métodos de avaliação de risco da rodovia, estatísticos, multicritérios, numéricos ou espaciais.

Em específico aos métodos espaciais, Colak *et al.* (2018) utilizaram a técnica Getis Ord  $G_i^*$  em conjunto com a técnica *Network-KDE* para avaliar os acidentes rodoviários ocorridos em Rize, Turquia, ponderados pelo peso que cada ocorrência possuía em relação às outras ocorrências. Já Al-Ruzouq *et al.* (2019) avaliaram os acidentes ocorridos entre os anos de 2004 e 2013 na cidade de Harris, Estados Unidos da América. Para isso, os autores (2019) utilizaram 3 técnicas diferentes, Moran's I, Getis Ord  $G_i^*$  e KDE ponderando algumas características dos acidentes, tais como severidade, quantidade de veículos envolvidos, quantidade de faixas, período do dia e duração do acidente, entre outros.

Outro tipo de método para identificar locais críticos de uma rodovia avalia os fatores de risco associados à rodovia que possam favorecer a ocorrência ou agravar a severidade de acidentes rodoviários. Como exemplo de utilização desse tipo de método, Shi *et al.* (2018) avaliaram um trecho de 4,5 km localizado em uma rodovia rural de Shanghai, China. Os autores (2018) avaliaram 4 aspectos da rodovia com diferentes pesos na determinação do risco da rodovia. São elas: geometria da via (0,22); condição do pavimento (0,24); condição da lateral da via (0,22); e sinalização viária (0,31). Com base nesses critérios e em uma escala de 1 a 4 pontos, foi possível classificar o segmento como seguro, avaliado entre 3 e 4 pontos; ou inseguro, avaliado entre 1 e 3 pontos. Em específico à metodologia de avaliação de risco

iRAP (2014), na qual o risco de uma rodovia é classificado por estrelas, sendo 1 estrela o maior risco e 5 estrelas o menor, podem ser encontrados na literatura alguns autores que avaliam o risco de uma rodovia, de acordo com a infraestrutura, como Bellos *et al.* (2014) e Pianezzer (2019). Os primeiros autores (2014) apresentaram os resultados da avaliação pela metodologia iRAP de 340 km de duas rodovias gregas presentes na ilha de Creta, enquanto que Pianezzer (2019) aplicou a metodologia iRAP como um dos métodos para identificação de segmentos críticos em mais de 70 quilômetros de uma rodovia federal brasileira no Estado de Santa Catarina.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Área de estudo

A rodovia selecionada para avaliar a ocorrência dos acidentes pelo viés do risco da rodovia foi a rodovia federal BR-116, a qual conecta os estados do Ceará ao Rio Grande do Sul. O segmento avaliado se encontra no estado de Santa Catarina (Figura 4), o qual se estende por 72,9 quilômetros, entre o km 59,8 e o km 132,7. Tal segmento abrange os municípios de Papanduva, Monte Castelo e Santa Cecília.

Em relação aos dados de acidentes ocorridos no segmento estudado, estes foram obtidos através da plataforma Dados Abertos da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2020). Assim, no período entre os anos de 2017 e 2019, foram registradas 167 ocorrências, das quais 39 não tiveram vítimas, 117 tiveram vítimas feridas e 11 resultaram em vítimas fatais. A localização da área de estudo e de cada ocorrência são apresentadas na Figura 4.

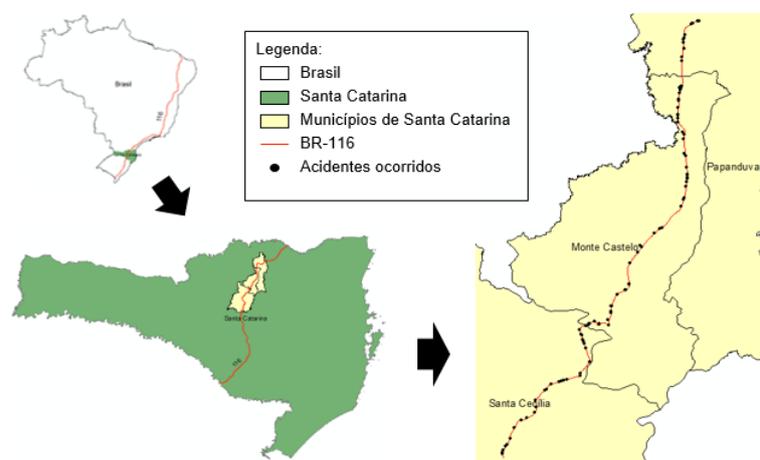


Figura 4 - Localização da área de estudo da BR-116 e localização dos acidentes  
Fonte: O autor (2020)

### 3.2. Análise de risco da rodovia

Nesse artigo foi realizada a avaliação de risco da rodovia de acordo com a metodologia iRAP (2014), a qual propõe uma classificação por estrelas, variando de 1 a 5 estrelas, baseada em *Star Rating Scores* (SRS). Tal classificação é atribuída a partir de faixas numéricas de risco, de acordo com o usuário analisado, ou seja, ocupante de veículo, motociclista, pedestre e ciclista. A metodologia se divide em 3 etapas principais, sendo elas: inspeção da rodovia e obtenção de dados de apoio; codificação dos atributos das vias; e obtenção dos resultados de classificação por estrelas e planos de investimento para vias mais seguras, gerados no ViDA - software online do iRAP. A primeira etapa da metodologia iRAP consistiu em realizar um levantamento de imagens da rodovia com um veículo equipado com uma câmera de boa resolução e que contasse com o registro de coordenadas geográficas para que as imagens dos segmentos da rodovia pudessem ser avaliadas a cada 20 metros. A etapa seguinte da metodologia consistiu em codificar mais de 50 atributos identificados nas imagens levantadas em campo, tais como severidade lateral, velocidade da via, condição do pavimento, entre outros. Tais atributos codificados foram avaliados no *software* ViDA para obtenção dos valores de SRS. Tais valores obtidos foram vinculados a seções de 100 metros da rodovia, as quais também são georreferenciadas.

### 3.3. Ambiente de geoprocessamento

As análises realizadas nesse artigo foram feitas no *software* de geoprocessamento ArcMap, versão 10.8, o qual possui as técnicas de geoestatística utilizadas, de forma nativa. Antes de iniciar as análises, se fez necessário configurar o sistema de coordenadas geográficas para SIRGAS 2000, visto a localização da rodovia estudada ser no Brasil. Com os valores de risco obtidos anteriormente com a metodologia iRAP e com os dados de acidentes georreferenciados pela PRF, foi possível, através do *software* de geoprocessamento, atribuir para cada acidente o valor de SRS do local de ocorrência.

### 3.4. Autocorrelação Espacial Global – Moran's I

A primeira análise geoestatística realizada nesse artigo foi a Técnica de Autocorrelação Espacial Global Moran's I, sumarizada em ESRI (2020a), a qual busca

identificar se a amostra estudada está distribuída de forma aleatória, agrupada ou dispersa no espaço de acordo com o atributo risco da rodovia. Para isso, tal teste visa rejeitar ou aceitar a hipótese nula ( $H_0$ ) de que os dados são distribuídos de forma aleatória. Já a hipótese alternativa ( $H_1$ ) afirma se tais dados estão agrupados ou dispersos. Tal inferência é feita em relação ao valor do p-valor, o qual, se for maior do que o p-valor<sub>crítico</sub>, aceita-se a hipótese nula. Quando este valor for menor, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa. Nesse caso, são avaliados os valores do Índice de Moran (I), calculado conforme a Equação (1), e os valores de z-score. Quanto mais o Índice de Moran se aproxima de 1, maior a probabilidade de os dados estarem agrupados. Já quanto maior esse índice se aproxima de -1 maior a probabilidade de os dados estarem dispersos.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

Sendo que: I = Índice de Moran; n = quantidade de ocorrências avaliadas; z = variância do atributo avaliado em relação à média (em SRS);  $w_{i,j}$ : o peso da relação espacial entre as ocorrências; e  $S_0$  = soma de todos os valores dos atributos avaliados (em SRS).

Para utilizar a referida técnica, algumas definições básicas são necessárias. A primeira versa sobre a matriz de ponderação espacial do atributo avaliado. Conforme apresentado por Lee e Khattak (2019), estudos sugerem um raio de influência de 1000 metros em áreas rurais. A segunda definição versa sobre o tipo de relação espacial que as ocorrências apresentam. Para efeitos da aplicação das técnicas neste estudo, foi considerada a relação de distância fixa, na qual as ocorrências dentro de um raio de influência têm o mesmo peso, independente de quão perto ou longe se encontram.

### 3.5. Hot Spot Analysis – Getis Ord $G_i^*$

A segunda análise geoestatística realizada nesse artigo foi a Técnica de Identificação de Agrupamentos de valores altos e baixos, conhecida como Getis Ord  $G_i^*$ . Tal técnica busca identificar o agrupamento de locais próximos, com valores altos ou baixos de risco da rodovia, de acordo com o p-valor e o valor de  $G_i^*$ , calculado conforme a Equação (2).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

Sendo que:  $G_i^*$  = Valor de Getis Ord  $G_i^*$ ;  $n$  = quantidade de ocorrências avaliadas;  $x_j$  = valor do atributo avaliado (em SRS);  $w_{i,j}$  = o peso da relação espacial entre as ocorrências;  $\bar{X}$  = média do atributo avaliado (em SRS); e  $S$  = desvio padrão do atributo avaliado (em SRS).

Quando o teste resultar em valores estatisticamente significantes, o valor de  $G_i^*$  pode ser avaliado. Além disso, o teste indica agrupamentos com significância estatística de 90%, 95% e 99%. Quanto maiores os valores desse índice, mais intenso é o agrupamento de ocorrências com valores altos do parâmetro avaliado e quanto menores os valores dos índices, mais intenso é o agrupamento de ocorrências com valores baixos (ESRI, 2020b).

Ao final da análise, os agrupamentos identificados através da técnica Getis Ord  $G_i^*$  foram caracterizados conforme a severidade, as causas e os tipos de acidentes registrados.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Autocorrelação Espacial Global – Moran's I

A primeira análise realizada no artigo consistiu em identificar se os acidentes ocorridos na rodovia estudada estão distribuídos de forma aleatória, dispersa ou agrupada, conforme o risco da rodovia vinculado a cada acidente. Para isso, foi realizada a Autocorrelação Espacial Global de Moran's I, utilizando o risco da rodovia de cada acidente e uma matriz de ponderação espacial de 1000 metros como parâmetros. O resultado dessa técnica é apresentado na Figura 5.

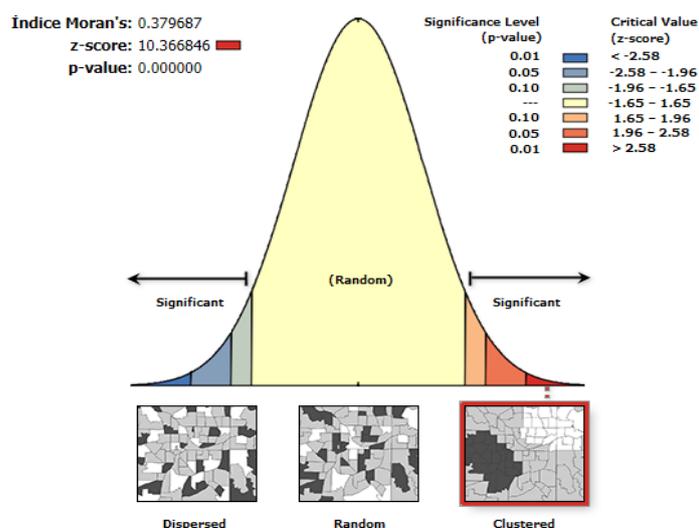


Figura 5 - Índice de Autocorrelação Espacial Global - Moran's I  
Fonte: O autor (2020)

Conforme indica a Figura 5, é possível observar que o p-valor (0,000) foi menor do que o p-valor<sub>crítico</sub> (0,05), indicando que existe uma tendência de os dados não estarem distribuídos de forma aleatória. Além disso, observando o valor de z-score (10,3668) e o valor do Índice de Moran's (0,379687), verifica-se que os acidentes avaliados estão distribuídos de forma agrupada no espaço, conforme o risco da rodovia relacionado. Sendo assim, a análise apresentada na sequência visa identificar os locais de agrupamento de ocorrências de acidentes, bem como caracterizá-los em relação à severidade, à causa e aos tipos de acidentes, de acordo com os riscos da rodovia.

#### 4.2. Hot Spot Analysis – Getis Ord Gi\*

A segunda análise realizada visou identificar os agrupamentos de valores de alto e de baixo risco, nos locais com ocorrência de acidentes. Para isso, foi realizada a técnica de Getis Ord Gi\*, definindo o valor de 1000 metros como matriz de ponderação espacial de cada ocorrência. Os agrupamentos podem ser observados na Figura 6, a qual indica que foram identificados 3 agrupamentos de alto risco (H) e 2 agrupamentos de baixo risco (C) estatisticamente significantes em relação à distribuição de acidentes.

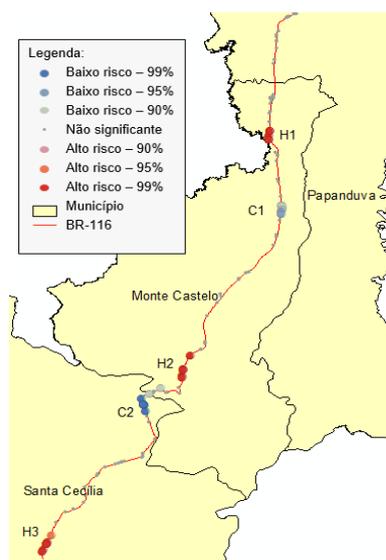


Figura 6 – Hot Spot Analysis – Getis Ord Gi\*

Fonte: O autor (2020)

### 4.3. Caracterização dos agrupamentos identificados

Dentre os agrupamentos identificados pela técnica aplicada no tópico anterior, foi possível caracterizar os acidentes ocorridos de acordo com a severidade, conforme ilustra a Figura 7.

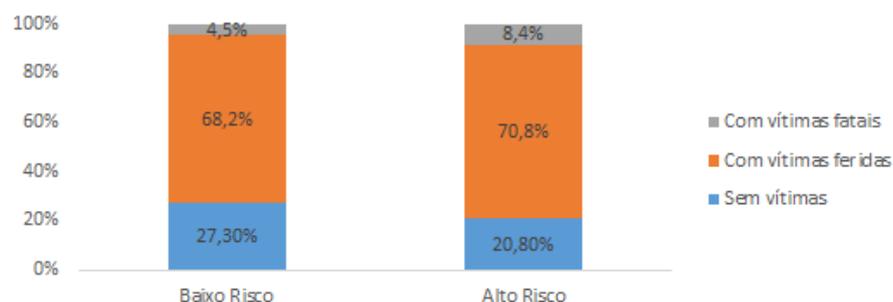


Figura 7 - Características dos acidentes de acordo com severidade

Fonte: O autor (2020)

Os agrupamentos de risco baixo (C) da rodovia compreendem 22 acidentes avaliados, dos quais 6 não tiveram vítimas (27,3%), 15 tiveram vítimas feridas (68,2%) e 1 teve vítima fatal (4,5%). Enquanto isso, os agrupamentos de risco alto (H) da rodovia abrangem 24 acidentes, dos quais 5 não tiveram vítimas (20,8%), 17 tiveram vítimas feridas (70,8%) e 2 tiveram vítimas fatais (8,4%). Com a caracterização da Figura 4, é possível observar a

relação de risco com a severidade dos acidentes ocorridos, tal qual abordada por Elvik *et al.* (2014) e pela Federal Highway Administration (FHWA, 2014). Os primeiros autores apresentam que a quantidade de vítimas e suas gravidades está relacionada, entre outros aspectos, “ao risco de dano, ou seja, a probabilidade de ser ferido uma vez que se tenha sido envolvido em um acidente de trânsito”. Já a FHWA (2014) aponta que em rodovias em que o risco é maior possuem taxa de mortalidade maior do que em locais com menos risco.

De acordo com a Figura 8, é possível observar que, dentre os 46 acidentes identificados nos agrupamentos, foram observadas 8 causas.

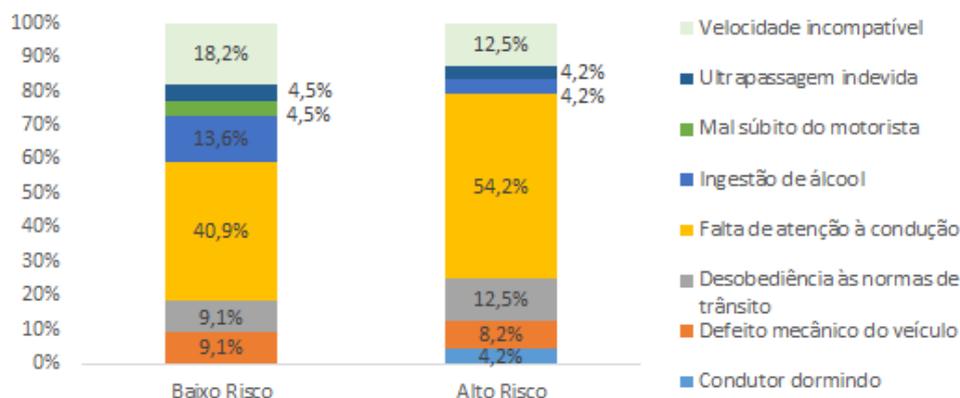


Figura 8 – Características dos acidentes de acordo com causa

Fonte: O autor (2020)

Observa-se pela mesma figura que, independente se o agrupamento dos acidentes é de baixo ou de alto risco, as causas dos acidentes têm o fator comportamental como principal elemento, conforme o registro dos acidentes da PRF. São elas: Desobediência às normas de trânsito pelo condutor; Velocidade incompatível; Ingestão de álcool; Falta de atenção à condução; Ultrapassagem indevida; ou Conductor dormindo. Nos agrupamentos de risco baixo, observa-se que 86,3% dos acidentes possui uma dessas causas, enquanto que, em agrupamentos de alto risco, esse valor é de 91,8%. Em relação aos demais acidentes, as causas identificadas foram: Defeito mecânico do veículo (9,1%) e Mal súbito do motorista (4,5%), em agrupamentos de baixo risco, e Defeito mecânico do veículo (8,2%), em agrupamentos de alto risco. Tal caracterização dos fatores comportamentais e das causas dos acidentes corrobora com a análise apresentada pelo Observatório Nacional de Segurança

Viária (ONSV, 2019), que identificou que cerca de 90% dos acidentes tem esse fator como principal causa em relação aos fatores via e veículo.

De acordo com a Figura 9, observa-se que os acidentes ocorridos nos agrupamentos identificados diferem em 11 tipos.

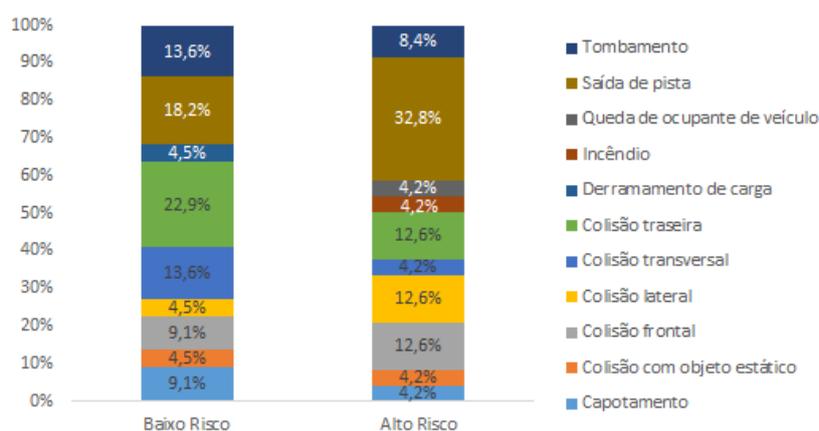


Figura 9 - Características dos acidentes de acordo com tipo

Fonte: O autor (2020)

Em relação aos agrupamentos de baixo risco, os acidentes que envolveram somente um veículo e os acidentes que envolveram mais de um veículo tiveram distribuição semelhante. Por sua vez, no agrupamento de alto risco, esses tipos de acidente envolvendo somente um veículo representam 58,0% de todos os acidentes. Pode-se destacar ainda que o tipo de acidente mais frequente nos agrupamentos de baixo risco foi o tipo colisão traseira, representando 22,9% do total de acidentes registrado no período analisado. Já nos agrupamentos de alto risco, a saída de leito carroçável foi o tipo mais frequente, representando 32,8% do total registrado, indicando, assim, uma tendência de os tipos de acidente diferirem de acordo com o risco da rodovia. Tal caracterização dos acidentes envolvendo somente um veículo ou envolvendo elementos presentes na lateral da via são fundamentais para embasar a importância da adoção de medidas com o enfoque em amenizar as consequências de tais acidentes, tal qual apresentado por Elvik *et al.* (2014).



## 5. CONCLUSÕES

Nesse artigo foram identificados os pontos críticos de acidentes, nos quais foram considerados o risco de cada local de ocorrência que a rodovia oferece ao usuário, baseado nos resultados obtidos com a aplicação da metodologia iRAP. Para identificar tais locais, foram utilizadas as técnicas geoestatística Moran's I e Getis Ord  $G_i^*$ . Os resultados indicaram 3 agrupamentos de acidentes em segmentos de alto risco e 2 agrupamentos em segmentos de baixo risco, os quais apresentaram predominância de vítimas fatais nos agrupamentos de alto risco e predominância de acidentes sem vítimas nos agrupamentos de baixo risco. Ainda mais, os acidentes analisados indicaram uma predominância de causas do tipo comportamental em relação a causas relacionadas à via ou ao veículo, independentemente se o agrupamento é de baixo ou de alto risco. Além disso, as análises indicaram que a maior parte dos acidentes ocorridos nos agrupamentos de alto risco envolveu somente um veículo.

Com isso, foi possível observar a interação complexa que existe entre usuários, vias e veículos no que tange a segurança viária, seja através da relação entre a severidade dos acidentes e o risco da rodovia ou entre os fatores comportamentais e a ocorrência de acidentes. Em suma, o artigo evidencia a necessidade da abordagem de sistemas seguros de trânsito nas ações de melhorias das condições de segurança viárias das rodovias, tanto para avaliar o comportamento dos usuários como também para avaliar e colocar em prática o conceito de rodovias que perdoam falhas humanas, tal qual feito pela metodologia iRAP. Para finalizar, mesmo que os acidentes englobados nos agrupamentos identificados caracterizem a importância da via nos sistemas seguros, entende-se como necessário avaliar outros segmentos de rodovia que permitam uma análise mais ampla dos acidentes que corroborem as conclusões apresentadas nesse artigo.

## REFERÊNCIAS

AL-RUZOUQ, R.; HAMAD, K.; DABOUS, S. A.; ZEIADA, W.; KHALIL, M. A. E VOIGT, T. Weighted Multi-Attribute Framework to Identify Freeway Incident Hot Spot in a Spatiotemporal Context. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 44, p. 8205 – 8223, 2019.

BELLOS, E.; EFSTATHIADIS, S.; GKREMOS, I. E LEOPOULOS, V. Road Infrastructures' risk Assessment: a valuable tool for investments' decisions. **International Scientific Conference People, Buildings and Environment**, p. 67 – 78, 2014.

COLAK, H. E.; MEMISOGLU, T.; ERBAS, Y. S. E BEDIROGLU, S. Hot spot Analysis based on network spatial weights to determine spatial statistics of traffic accidents in Rize, Turkey. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, 151, 2018.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T. E SORENSEN, M. **O Manual de Medidas de Segurança Viária**. Editora Fundacion Mapfre, Oslo, Noruega, 2014.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **How Spatial Autocorrelation: Moran's I (Spatial Statistics) works**. 2020a.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **How Hot Spot Analysis: Getis-Ord Gi\* (Spatial Statistics) works**. 2020b.

FHWA - Federal Highway Administration. **Manual for selecting Safety Improvements on High Risk Rural Roads**. 2014.

IRAP – International Road Assessment Programme. **iRAP Methodology Fact Sheets**. 2014.

LEE, M. E KHATTAK, A. J. Case study of Crash Severity Spatial Pattern Identification in Hot Spot Analysis. **Transportation Research Board 2019**, v. 2673 (9), p. 684 – 695, 2019.

MINISTÉRIO DA SEGURANÇA PÚBLICA. **Dados abertos sobre acidentes de trânsito**. 2020. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Global Status Report on road safety**. 2018.

ONSV – Observatório Nacional de Segurança Viária. **90% dos acidentes são causados por falha humana**. 2019. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

PIANEZZER, T. A. **Análise comparativa de metodologias para identificação de segmentos críticos em rodovias rurais**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2019.

SHI, L.; HUSEYNOVA, N.; YANG, B.; LI, C. E GAO, L. A cask evaluation model to assess safety in chinese rural roads. **Sustainability**, v. 10 (10), 3864, 2018.

WRI – World Resources Institute. **Sustentável e seguro Visão e Diretrizes para zerar as mortes no trânsito**. 2018.



## POLO GERADOR DE VIAGEM: CONTRIBUIÇÕES TÉCNICAS PARA CURITIBA

*Gabrielle Afonso Pereira<sup>1</sup>; Amanda Thamiris Santana de Lima<sup>2</sup>;*

*<sup>1</sup> Universidade Paulista, gabrielleafonso.engenharia@gmail.*

*<sup>2</sup> Universidade Paulista, amandathamiris144@gmail.com*

### RESUMO

Devido à crescente frota de veículos, aliada ao fato de estar se tornando uma grande metrópole, cada vez mais a cidade de Curitiba têm enfrentado desafios de mobilidade em seu território. Esse crescimento também se dá com a implantação de grandes empreendimentos, que acabam gerando reflexos negativos nas áreas adjacentes como impactos no trânsito e poluição, tais empreendimentos são chamados de Polos Geradores de Viagens – PGV's. Esses polos são construções regulamentadas em capitais como São Paulo e Rio de Janeiro por legislações específicas que tratam da classificação e mitigação desses impactos negativos decorrentes de suas implementações. Essa pesquisa tem por objetivo trazer contribuições técnicas importantes para a avaliação de tratamento PGV's na capital paranaense, através de uma comparação dos normativos específicos de polos geradores de viagem em São Paulo e no Rio de Janeiro com as normas que analisam os grandes empreendimentos em Curitiba.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polo Gerador de Viagem; Legislação, Curitiba.

### ABSTRACT

*Due to the growing fleet of vehicles, combined with the fact that it is becoming a large metropolis, more and more the city of Curitiba has faced mobility challenges in its territory. This growth also occurs with the implementation of large enterprises, which end up generating negative impacts in adjacent areas such as traffic and pollution, such enterprises are called Polos Geradores de Viagens - PGV's (Travel Generating Pole). These poles are regulated constructions in capitals such as São Paulo and Rio de Janeiro by specific legislations that deal with the classification and mitigation of these negative impacts resulting from their implementation. This research aims to bring important technical contributions to the evaluation of PGV's treatment in the capital of Paraná, through a comparison of the specific norms of poles that generate travel in São Paulo and Rio de Janeiro with the norms that analyze the large enterprises in Curitiba.*

**KEYWORDS:** travel generator pole; legislation, Curitiba.

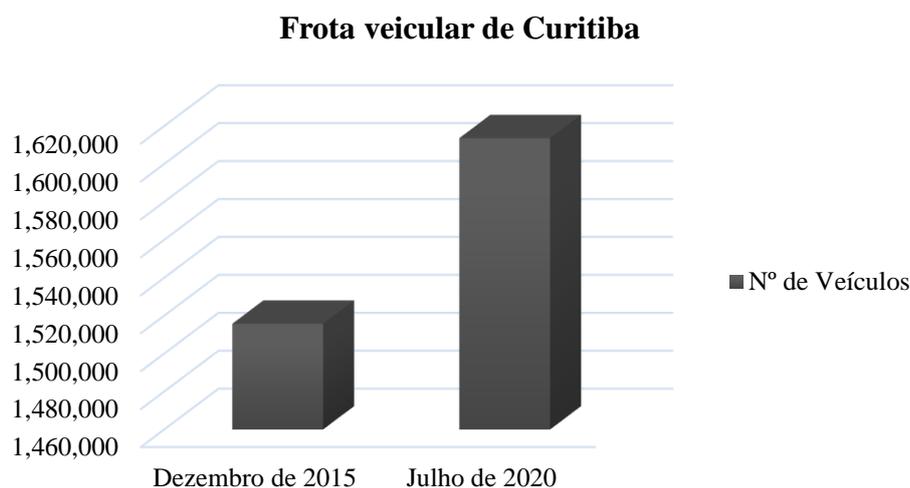
## 1. INTRODUÇÃO

Curitiba é a capital do estado do Paraná, conhecida pelas suas grandes áreas verdes e por ser uma cidade planejada. Fundada em 1693, hoje a cidade é uma grande metrópole já que de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), a população estimada de Curitiba já conta com quase 2 milhões de habitantes. Diante desse crescimento a cidade tem passado por grandes mudanças o que acaba gerando conflitos na

hora de aliar sustentabilidade e a preservação do meio ambiente com aumento da cidade (PMC, [sd]).

Ao se analisar o tráfego da cidade, é possível notar um crescimento expressivo nos últimos anos na frota veicular, o gráfico abaixo explicita essa informação.

Gráfico 1 – Frota Veicular de Curitiba



Fonte: Adaptado do Denatran - Minfra (2020)

De acordo com os dados do DENATRAN (2020) do mês de dezembro de 2015 até julho de 2020 o número de veículos na capital paranaense passou de 1.515.749 (um milhão, quinhentos e quinze mil, setecentos e quarenta e nove) para 1.613.609 (um milhão, seiscentos e treze mil, seiscentos e nove). Esse aumento por si só já causa impactos relevantes no trânsito da cidade. Outro ponto que agrava a situação do tráfego na cidade de Curitiba são as instalações dos Polos Geradores de Viagens – PGV's. Esses PGV's são empreendimentos que causam grandes impactos ao serem construídos por atraírem ou produzirem grande número de viagens, sua implantação acaba gerando reflexos negativos no entorno de suas instalações, podendo prejudicar a acessibilidade do local, ou agravar condições de segurança de pedestres e veículos. Como exemplos deles podemos citar shoppings, escolas, feiras, supermercados (CET, 1983) .

Capitais como o Rio de Janeiro e São Paulo, escolhidas para essa pesquisa por serem cidade que também contam com grandes frotas veiculares, possuem legislações específicas para esses PGV's, de forma a visar a redução dos impactos causados por eles. Diante da análise dessas normas específicas para polos geradores de viagens foi notada a necessidade



de um estudo mais profundo na cidade de Curitiba com o intuito de melhoria das normas já utilizadas.

A cidade de Curitiba conta com uma lei de zoneamento, o que se aproxima grandemente das leis de PGV's. Ao comparar com as capitais Rio de Janeiro e São Paulo, é possível encontrar contribuições técnicas importantes que podem ser aplicadas à capital paranaense, na questão das normas para PGV'S a fim de melhorar o tráfego e evitar os problemas derivados da implantação de empreendimentos PGV's.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Como definição de polos geradores de viagens, surgiu na década de 80 a abordagem de Grandó (1986), que diz que os PGVs são empreendimentos que, mediante a oferta de bens e/ou serviços, geram ou atraem um grande número de viagens, causando reflexos na circulação de tráfego do entorno, tanto em termos de acessibilidade e fluidez do tráfego, podendo repercutir em toda uma região, quanto em termos da segurança de veículos e pedestres.

Por conceito, as medidas mitigadoras são um conjunto de ações que visam evitar ou reduzir: os impactos negativos causados pela atividade do empreendimento; o aumento da intensidade dos impactos diagnosticados; e a ocorrência de impactos adicionais. As medidas mitigadoras também são ações propostas como forma de compensação pelos impactos que não puderam ser mitigados e não se aplicam diretamente ao empreendimento (Walter e Anello, 2012).

### **2.1. Legislação de Curitiba**

Em relação à normas a capital Curitiba conta com o Plano Diretor, a Lei de Zoneamento e a Lei de Uso e Ocupação do Solo - LUOS do município que possuem legislações para empreendimentos de impacto, que se assemelham por definição com os PGV's. Quando há a construção de um empreendimento de porte significativo e que cause impactos nas imediações, o Conselho Municipal de Urbanismo – CMU, composto pelas Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA, Secretaria Municipal de Urbanismo – SMU, e pelo Instituto de Pesquisas e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, realiza um estudo específico de cada caso para que o empreendimento possa ser regularizado.

A fim de dar o embasamento necessário para o artigo, serão apresentados artigos das seguintes leis: Lei nº 15.511/2019 e Lei nº 14.771/2015 e também do Decreto nº 362/2018 os quais são semelhantes às definições, classificação e medidas mitigadoras de PGV's.

### **2.1.1. Lei nº 15.511/2019**

Com a Lei nº 15.511, de 10 de outubro de 2019, que dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba, temos algumas definições importantes sobre a ordenação da cidade. Essa lei cita a divisão do município em eixos, zonas e setores especiais, assim como os parâmetros para ordenar o crescimento da cidade. O zoneamento, uso e ocupação do solo em Curitiba seguirão essa norma juntamente com o que é disposto no Plano Diretor de Curitiba.

Focando na questão viária, o plano diretor traz que deve haver integração entre o sistema viário, transporte e uso do solo. Já nos objetivos da Lei nº 15.511/2010 há o foco na questão da preservação do patrimônio natural e cultural da cidade, e na harmonização do espaço urbano com o meio ambiente e as atividades socioeconômicas. A legislação observada ainda cita que as disposições nela descritas devem ser obrigatórias na concessão de alvarás de construção, na execução de planos, programas, projetos, obras e serviços referentes a edificação de qualquer natureza, na urbanização de área e alguns outros casos que ela descreve. Também nessa lei há outros os artigos que se assemelham com normativos de PGV's, sendo esses artigos os de nº 182 e 227:

“Art. 182. A autorização ou licenciamento de usos de infraestrutura urbana dependerá de regulamentação específica. § 1º Enquanto não houver regulamentação específica, os usos de Infraestrutura Urbana serão objeto de deliberação do Conselho Municipal de Urbanismo - CMU, ouvidos os órgãos competentes. § 2º Os empreendimentos e instalações de infraestrutura sujeitos ao Estudo Prévio de Impacto de Vizinhança (EIV) ou ao Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA) deverão obedecer às disposições específicas estabelecidas para o licenciamento urbanístico e ambiental. (...)”.

“Art. 227. O Estudo de Impacto de Vizinhança - EIV é um instrumento de análise para subsidiar a concessão de licenças ou autorizações de empreendimentos e atividades que na



sua instalação, construção, operação, reforma, ampliação ou funcionamento possam causar impactos ao meio ambiente, ao sistema viário, ao entorno ou à comunidade de forma geral, no âmbito do Município de Curitiba” (CURITIBA, 2019).

### **2.1.2. Lei nº 14.771/2015**

A Lei nº 14.771, de 17 de dezembro de 2015, dispõe sobre a revisão do plano diretor de Curitiba para orientação e controle do desenvolvimento integrado do município. O seu artigo nº 178 aponta sobre os critérios de avaliação desses empreendimentos de impacto:

“Art. 178 - Independentemente da forma como apresentado, se completo - EIV Completo, simplificado - EIV Simplificado, ou por Relatório Ambiental Prévio - RAP, o estudo deverá contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade quanto à qualidade de vida da população residente na área e suas proximidades, incluindo para análise, no mínimo, os seguintes itens: I - descrição do empreendimento ou atividade; II - delimitação das áreas de influência direta e indireta; III - análise e identificação dos impactos a serem causados, nas fases de planejamento implantação, operação e desativação, quanto a: a) o adensamento populacional; b) equipamentos urbanos e comunitários; c) uso e ocupação do solo; d) valorização imobiliária; e) geração de tráfego e demanda por transporte público; f) ventilação e iluminação; g) paisagem urbana e patrimônio natural e cultural; h) cronograma previsto para a obra; i) custo estimado da obra; j) acessibilidade. IV - identificação dos impactos a serem causados pelo empreendimento ou atividade, nas fases de planejamento, implantação, operação e desativação, conforme o caso, além das medidas de controle ambiental, mitigadoras ou compensatórias adotadas nessas fases, com indicação das responsabilidades pelas suas implantações” (CURITIBA, 2015).

### **2.1.3. Decreto nº 362/2018**

O decreto de nº 362, de 11 de abril de 2018 dispõe sobre as medidas mitigadoras nos artigos 7º e 8º, que são de suma importância:

“Art. 7º As medidas mitigadoras estabelecidas pela autoridade licenciadora são parte integrante da licença e devem estar diretamente vinculadas aos impactos causados no meio urbano pela instalação e operação do empreendimento, sendo proporcionais à sua magnitude.

Art. 8º As medidas mitigadoras tratadas no artigo 7º acima poderão ser definidas pela:a) execução de obras ou serviços de recuperação de danos decorrentes da própria implantação ou operação do empreendimento; b) implementação de obras ou serviços de recuperação de áreas degradadas, bem como de proteção, conservação, preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente; c) execução ou custeio de programas e de projetos desenvolvidos pelo empreendedor voltados a melhoria, conservação e preservação do meio ambiente urbano, afetado pelo empreendimento; d) manutenção de espaços públicos que tenham como objetivo a melhoria, conservação e preservação do meio ambiente urbano, afetados pelo empreendimento; e) aquisição e doação ao Município de equipamentos, bens e serviços a serem utilizados nas atividades de melhoria, conservação, preservação e recuperação do meio ambiente urbano, afetado pelo empreendimento; f) outras devidamente motivadas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMMA, Instituto de Pesquisa e Planejamento de Curitiba - IPPUC, Secretaria Municipal de Trânsito - SETRAN, Secretaria Municipal do Urbanismo - SMU” (CURITIBA, 2018).

## 2.2. Legislação de São Paulo

No município de São Paulo quando é tratado sobre a legislação de aprovação e tratamento dos polos geradores de viagem, a lei Municipal nº 15.150, de 06 de maio de 2010, é a responsável pela aprovação de projetos e serviços necessários decorrentes da implantação do polo gerador de tráfego. Em seu artigo 2º ela traz a classificação dos empreendimentos classificados como PGV's, abaixo foram transcritos algumas:

“(…) a) edificações residenciais com 500 (quinhentas) vagas de estacionamento ou mais; b) edificações não residenciais com 120 (cento e vinte) vagas de estacionamento ou mais, localizadas nas Áreas Especiais de Tráfego - AET; c) edificações não residenciais com 280 (duzentas e oitenta) vagas de estacionamento ou mais, localizadas nas demais áreas do Município; d) serviços socioculturais e de lazer com mais de 2.500,00m<sup>2</sup> de área construída computável; e) locais destinados à prática de exercício físico ou esporte com mais de 2.500,00m<sup>2</sup> de área construída computável; f) serviços de saúde com área igual ou superior a 7.500,00m<sup>2</sup>; (...)” (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2010).

Sobre o processo de aprovação desses polos é dividido em duas fases, a primeira envolve a Certidão de Diretrizes - CD. Essa certidão é responsável pela recomendação das



medidas mitigadoras que a construção deve executar. A segunda fase tem como finalidade a obtenção do Termo de Recebimento e Aceitação Definitivo – TRAD, que é o atestado de cumprimento integral das medidas recomendadas na CD. Após verificação do CET, aprovação e emissão do TRAD o empreendimento está legalmente liberado para execução de suas atividades.

Responsável pelas medidas mitigadoras a serem recomendadas na CD, o Decreto nº 51.771, de 10 de setembro de 2010 determina em seu artigo 5º que as medidas mitigadoras de tráfego são definidas como intervenções voltadas a reduzir o impacto do trânsito de uma determinada região, decorrente da instalação de um empreendimento classificado como polo gerador de tráfego. O mesmo artigo ainda cita que essas ações podem ser: (i) a realização de obras viárias de qualquer espécie, dentre as quais a construção, a readequação geométrica e/ou a reforma das vias adjacentes ao empreendimento; (ii) a instalação e/ou a revitalização da sinalização vertical e/ou horizontal nas vias impactadas pelo empreendimento; (iii) a instalação e/ou a revitalização de equipamentos de operação, de fiscalização, de monitoramento e de controle de tráfego, dentre os quais semáforos eletrônicos, câmeras de circuito fechado de TV - CFTV e painéis de mensagem, além de outros equipamentos indicados pela Companhia de Engenharia de Tráfego (SÃO PAULO, 2010).

Em São Paulo – capital, os custos e a execução das medidas mitigadoras são responsabilidade pelo interessado responsável pela construção. A Lei Municipal nº 15.150/2010 prevê que o valor das melhorias viárias a serem implementadas não podem ultrapassar 5% do valor total do empreendimento.

### **2.3. Legislação do Rio de Janeiro**

No município do Rio de Janeiro, a Companhia de Engenharia de Tráfego – CET – Rio, que é responsável pela análise dos PGVs da cidade. Em relação às leis que dispõem sobre polos geradores de viagens a Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011 institui seu Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Sustentável. O artigo nº 216 dispõe sobre regulação de PGVs com a seguinte redação:

“Art. 216. As tipologias de uso e atividades, bem como a regulação de parâmetros referentes à intensidade de ocupação do solo, que promovam significativo volume de viagens

de pessoas, veículos e cargas serão objetos de análise quanto aos impactos sobre o Uso e Ocupação do Solo, Meio Ambiente, Vizinhança e Sistemas Viário e de Transportes. § 1º Os projetos que impliquem na implantação ou expansão de atividades geradoras de viagens serão acompanhados de estudos de avaliação dos impactos a serem submetidos aos órgãos municipais de transportes, urbanismo, órgão municipal de gestão ambiental, ao Conselho Municipal de Meio Ambiente e aos órgãos municipais do Patrimônio Cultural. § 2º Com base em estudo de avaliação dos impactos produzidos sobre o transporte e tráfego local, o órgão municipal de transportes poderá exigir que o empreendedor providencie e custeie intervenções viárias e adequações nas edificações e no seu entorno, de modo a garantir as condições adequadas de acessibilidade e mobilidade, enfatizadas condições seguras de circulação e acesso para pedestres, ciclistas, veículos e transporte público, de fluidez e segurança da via e com redução dos tempos médios de viagem e segurança em sua área de influência.” (RIO DE JANEIRO, 2011)

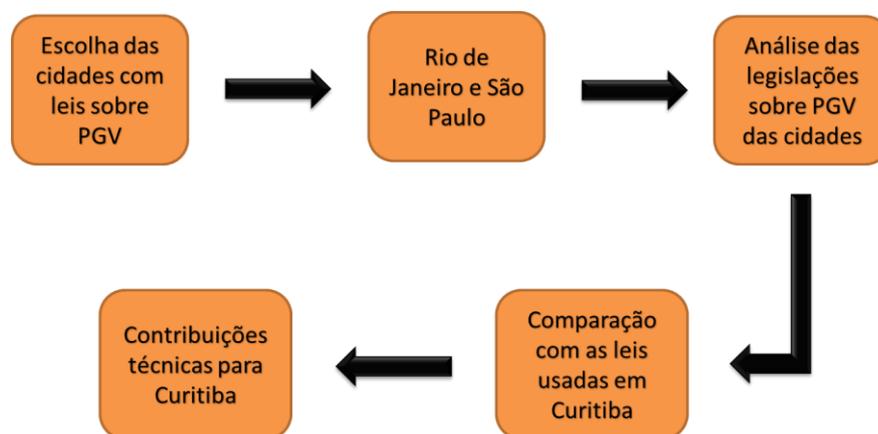
Já a análise realizada pelo CET – Rio consiste em 3 fases de avaliação do Relatório Padrão para Análise de Impacto Viário – RAV, documento de análise do empreendimento classificado como PGV. Na primeira fase os critérios de estudo levam em consideração o número de vagas necessárias, características do funcionamento do empreendimento, características funcionais e geométricas da via, geração de viagens e sugestão das medidas mitigadoras a serem implementadas. Já a segunda, analisa informações de acessibilidade do local e entorno (área de influência), medidas mitigadoras, exigências técnicas, pontuais e o cumprimento delas. Por fim, a última etapa revisa todo estudo e aprova ou não o empreendimento, caso seja aprovado o empreendedor recebe o RAV aprovado.

Sobre as medidas mitigadoras, o Decreto Rio nº 41.175, de 28 de dezembro de 2015 determina que elas podem ser executadas em qualquer área do município e enumera alguns exemplos como: viadutos, alças de acesso, construção de passarelas, pavimentação de vias, praças, canteiros, fornecimento e implantação de sinalização gráfica e semaforicas, fornecimento e implantação de sistemas de tráfego inteligente (câmeras, painéis de mensagens variáveis, etc.). Esse mesmo decreto ainda determina que os custos dessas medidas não devem passar de 1% do custo total da obra, e que o custeio e execução dessas ações mitigadoras recomendadas pelo RAV são de responsabilidade do empreendedor.

### 3. METODOLOGIA

Como metodologia foi feito um estudo exploratório com base bibliográfica sobre os polos geradores de viagem e suas definições. Logo após foram escolhidos os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro que contém legislações à respeito de PGV. As legislações dos municípios escolhidos foram analisadas com base em critérios de classificação e medidas mitigadoras; após foram comparadas com as leis utilizadas em Curitiba. Finalizando todo esse processo foi possível obter contribuições técnicas para a melhoria das normas utilizadas em Curitiba.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autoria própria

### 4. RESULTADOS

Ao comparar as leis do Rio de Janeiro e São Paulo com a norma usada em Curitiba é possível notar que há diversas diferenças nos critérios de classificação e nas medidas mitigadoras. Com isso, baseado nas 3 normas que estão sendo analisadas, apresentam-se as sugestões para legislação de polos geradores de viagens em Curitiba. Para melhor entendimento as sugestões foram separadas em 2 temas: classificação e medidas mitigadoras.

#### 4.1. Classificação

Atualmente a norma de Curitiba diz que os empreendimentos sujeitos a estudos de EIV e/ou EIA são feitas pelo Conselho Municipal de Urbanismo, que analisam cada caso separadamente. Como sugestão de melhoria para a legislação usada pode se citar os critérios

de classificação do município do Rio de Janeiro que leva em consideração a tipologia e a atividade dos empreendimentos. Além de levar em consideração a atividade do empreendimento, outra sugestão seria a adoção de uma lista com um rol exemplificativo das construções que se enquadram como polo gerador de viagem, assim como acontece em São Paulo.

#### **4.2. Medidas Mitigadoras**

Ao sugerir as medidas mitigadoras, fala-se da área onde elas podem ser aplicadas e nos tipos de medidas que podem ser executadas. Portanto, tratando-se da área, seria interessante que essa norma trouxesse o local de execução dessas medidas, e ainda que elas sejam executadas na área de influência do empreendimento tanto direta quanto indireta.

Atualmente as normas usadas para o tratamento de empreendimentos de impacto em Curitiba visam a questão da reparação ambiental como já exposto nessa pesquisa. Propõe-se também a utilização de medidas mitigadoras na área da reparação do trânsito afetado. Para exemplificar pode-se citar medidas como:

- Obras viárias como: viadutos; construção de passarelas, alças de acesso, pavimentação de vias, readequação geométrica das vias adjacentes ao empreendimento;
- Implantação de sinalização gráfica e semafórica, revitalização de equipamentos de operação, fiscalização, monitoramento e controle de tráfego, infraestrutura para transporte público, bicicletário;
- Obras que promovam acessibilidade para portadores de necessidades especiais e também para pedestres como: passarelas, rampas, instalação de pontos de ônibus acessíveis, elevadores e banheiros adaptados nos empreendimentos;
- Entre outras a depender do estudo de tráfego da região de implantação do PGV.

Outro fator importante que pode ser implementado é sobre a responsabilização dos custos e execução de tais medidas mitigadoras, bem como o percentual mínimo desse custo baseado no valor total do empreendimento. Seguindo como sugestão o comportamento das outras cidades analisadas, o empreendedor pode ser responsabilizado pelo custeio e execução das medidas mitigadoras.



## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os estudos apresentados é possível ressaltar características importantes de melhoria na atual legislação que regulamenta os polos geradores de viagens na cidade de Curitiba, que poderá trazer à cidade benefícios na mobilidade dos habitantes já que os impactos negativos poderão ser mitigados de uma forma ainda melhor diminuindo as retenções no trânsito, acidentes, falta de acessibilidade e outros reflexos negativos causados pela implantação dos PGV's.

Com a adoção dessas sugestões nas áreas de classificação e de medidas mitigadoras, além da preservação do meio ambiente que já é exercido pelas ações mitigadoras existentes para empreendimentos de impacto, também será possível a minimização dos impactos viários e de mobilidade na cidade.

Finalmente esta pesquisa pode contribuir com a cidade de Curitiba de modo a oferecer boas ideias para melhor estudo e aprofundamento por parte de autoridades da área e do poder público, de modo a recomendar diretrizes para a melhoria da legislação usada atualmente para análise, aprovação e tratamento de polos geradores de viagem.

## REFERÊNCIAS

CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. **Polos Geradores de Tráfego**. Boletim Técnico nº 32. Prefeitura de São Paulo, São Paulo SP, 1983. Disponível em < <http://www.cetsp.com.br/media/65486/bt32-%20polos%20geradores%20de%20trafego.pdf>> . Acesso em 7 out. 2020.

CURITIBA. **Lei nº 15.511, de 10 de outubro de 2019**. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2019. Disponível em < <http://www.ippuc.org.br/leizoneamento/LEI%2015511-2019/LEI%2015511%202019.pdf>> . Acesso em 05 set. 2020.

CURITIBA. **Decreto nº 14.771, de 17 de dezembro de 2015**. Dispõe sobre a revisão do plano diretor de Curitiba de acordo com o disposto no art. 40, § 3º, do estatuto da cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do município. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2015. Disponível em < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=366236>> . Acesso em 05 de set. de 2020.

CURITIBA. **Lei nº 362, de 1 de abril de 2018**. Estabelece diretrizes e procedimentos para definição de condicionantes aplicáveis aos licenciamentos ambientais, regulamenta neste aspecto os artigos 7º, 8º e 9º da Lei Municipal nº 7.833, de 19 de dezembro de 1991, e dá

outras providências. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2018. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=359397>> . Acesso em 04 set. 2020.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Frota Nacional – Julho, 2020.** Disponível em <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>> . Acesso em 03 set. 2020.

GRANDO, L. **A Interferência dos Pólos Geradores de Tráfego no Sistema Viário: Análise e Contribuição Metodológica para Shoppings Centers.** Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1986. Disponível em <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/pt-BR/producao-da-rede/artigos-cientificos/2003-1/143-cybis-giustina-2003/file>> . Acesso em 10 out. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Curitiba.** 2020. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>> . Acesso em 11 set .2020.

PMC – Prefeitura Municipal de Curitiba. **Perfil da cidade de Curitiba.** Curitiba: [sd]. Disponível em <<https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/perfil-da-cidade-de-curitiba/174>> . Acesso em: 27 set. 2020.

RIO DE JANEIRO. **Lei Complementar Nº 111 de 1º de fevereiro de 2011.** Dispõe sobre a política urbana e ambiental do município, institui o plano diretor de desenvolvimento urbano sustentável do município do rio de janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=178079>> . Acesso em: 12 set. 2020.

SÃO PAULO. **Lei nº 15.150, de 06 de maio de 2010.** Dispõe sobre os procedimentos para a aprovação de projetos arquitetônicos e para a execução de obras e serviços necessários para a minimização de impacto no sistema viário decorrente da implantação ou reforma de edificações e da instalação de atividades – polo gerador de tráfego. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2010. Disponível em <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-15150-de-06-de-maio-de-2010/detalhe>>. Acesso em: 12 set. 2020.

WALTER, T.; ANELLO, L. de F. S. de. **A educação ambiental enquanto medida mitigadora e compensatória: uma reflexão sobre os conceitos intrínsecos na relação com o Licenciamento Ambiental de Petróleo e Gás tendo a pesca artesanal como contexto.** Ambiente e Educação, v. 17, n. 1, p. 73 – 98, 2012. Disponível em <<https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/2657/1669>> . Acesso em: 12 set. 2020.



# ANÁLISE COMPARATIVA DE METODOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS CRÍTICOS EM RODOVIAS RURAIS

*Tiago Augusto Pianezzer<sup>1</sup>; Jorge Destri Júnior<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, tiago.pianezzer@gmail.com, jorge.destri@labtrans.ufsc.br*

## RESUMO

Esse trabalho avalia os resultados da correlação existente entre a classificação de segmentos críticos em rodovias usando duas metodologias com abordagens distintas: reativa proposta por DNIT e preditiva proposta por iRAP. Para tanto foi utilizada a Técnica de Correlação de Postos de Spearman, avaliando as classificações de segmentos críticos de cada metodologia de modo geral, considerando aspectos como o ambiente ou o relevo da rodovia. A comparação das duas metodologias demonstrou que as mesmas não são correlacionadas independente se de modo geral ou de acordo com o ambiente ou de acordo com o relevo. Além disso, as comparações entre as metodologias indicam que ao comparar uma metodologia preditiva com uma outra reativa não necessariamente os mesmos segmentos de rodovia são considerados como críticos. Mesmo assim, identificar se o risco oferecido por uma rodovia ao usuário se traduz na ocorrência de acidentes é de fundamental importância para a questão de Segurança Viária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de Transportes, Segurança Viária, Rodovias Rurais, Identificação de Segmentos Críticos.

## ABSTRACT

*This article assesses the results of the correlation between the results of two distinct methodologies to identify highway black spots: responsive one proposed by DNIT and predictive one iRAP. Spearman Rank Correlation was used to assess each methodology's classification in a general way and considering aspects such as the land use and to the relief type. The methodologies comparison showed that they are not correlated neither in a general way, nor to the land use nor to the type of relief. Furthermore, the results also suggest that correlating a responsive methodology to a predictive one may not necessarily identify the same segments as critical. Nevertheless, to identify if the risk offered by a highway to the user reflects into the occurrence of accidents is of fundamental importance for the issue of Road Safety.*

**KEYWORDS:** Transport Systems, Road Safety, Rural Highways, Blackspot identification.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2018), cerca de 1,35 milhão de pessoas são levadas à óbito em acidentes de trânsito. Dessas, cerca de 41 mil mortes ocorrem no Brasil, fazendo com que o país apresente uma taxa de mortalidade de 19,7 mortes/100 mil habitantes (OMS, 2018). Em específico aos acidentes rodoviários, no ano de 2018, foram registrados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) mais de 68 mil acidentes, totalizando mais de 76 mil feridos e mais de 5.000 óbitos em rodovias federais (PRF, 2019).

Tendo em vista tal panorama nacional, diversos métodos com diferentes abordagens são consagrados na literatura para identificação de segmentos críticos de acidentes em rodovias. No Brasil, um desses métodos é o proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2009), o qual possui uma abordagem reativa, pois analisa os acidentes ocorridos e que visa identificar os locais com maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Enquanto isso, uma outra metodologia que busca identificar os locais críticos é a metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*, 2014), o qual possui uma abordagem preditiva dos acidentes e que visa identificar os locais que oferecem maior risco aos usuários.

Com vista dessas duas metodologias, esse artigo propõe avaliar a correlação entre os resultados da aplicação de cada metodologia em identificar segmentos críticos de rodovias. Objetiva-se assim identificar se o risco oferecido por uma rodovia ao usuário se traduz na ocorrência de acidentes ou ainda se a avaliação de risco da rodovia se adequa principalmente ao conceito de rodovias que perdoam, ou seja, rodovias que são projetadas para minimizar as consequências de acidente. Ao aplicar as duas técnicas em segmentos de rodovias, seja em ambiente rural ou urbano ou mudando o tipo de relevo, este artigo também objetiva apresentar as vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma delas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Os métodos de identificação de segmentos críticos em rodovias são bastante abordados na literatura. Para um levantamento mais atual dessa literatura, foi realizada uma revisão sistemática englobando os anos de 2016 a 2019, da qual são apresentados alguns materiais identificados.

De modo geral, os métodos de identificação de segmentos críticos se dividem em preditivos e reativos. Os métodos preditivos realizam uma avaliação da rodovia em relação aos fatores de risco presentes que possam favorecer a ocorrência de acidente, tais como condição da via, condição do entorno do local e características operacionais, como feito por Shi et al. (2018). Os autores (2018) avaliaram um trecho de 4,56 km em uma rodovia rural de Xiaodang, na China, nos quais foram avaliados 4 aspectos da rodovia com pesos diferentes na avaliação geral. São eles: geometria da via (0,22), condição do pavimento (0,24), condição da lateral da via (0,22) e sinalização viária (0,31). Além disso, os métodos



preditivos podem englobar as técnicas de análise multicritério que permitem particularizar as características avaliadas tal qual feita por Keymanesh et al. (2017). Os autores (2017) avaliaram, em uma rodovia de pista dupla de uma região montanhosa do Irã, 9 fatores que poderiam influenciar na segurança da rodovia. O peso da cada critério foi avaliado utilizando a técnica de *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Já os métodos considerados reativos avaliam a localização dos acidentes após sua ocorrência e podem ser divididos em três abordagens diferentes. A primeira, numérica, consiste em realizar uma análise numérica dos acidentes, sua localização e algum outro parâmetro considerado importante, tais como a severidade. Dharmasena e Suresh (2019) usaram esse tipo de método para identificar os segmentos críticos da Rodovia Sul, com extensão de 126 quilômetros, conectando duas províncias do Sri Lanka. A segunda categoria, considerada estatística, consiste em utilizar técnicas estatísticas para identificar padrões de acidentes em uma determinada localização, conforme feito em DNIT (2009), ou até mesmo prever a quantidade de acidentes esperados. Ambros et al. (2016) aplicaram esse tipo de método ao avaliarem mais de 1.000 quilômetros de uma rede de rodovias rurais na República Tcheca, os quais eram majoritariamente pavimentados, de pista simples e não dividida. Já a terceira categoria, métodos espaciais, consiste em utilizar técnicas de geoprocessamento para suas análises. Aghajani et al. (2017) realizaram uma análise das principais rodovias da Província de Illam, uma região montanhosa do Irã. Os autores (2017) utilizaram as técnicas Moran's I, *Kernel Density Estimation* e *Getis Ord Gi\** para avaliar os dados georreferenciados de vítimas fatais e de feridos, bem como topografia da região e distribuição das chuvas.

A comparação de diferentes métodos para identificar segmentos foi identificada em alguns trabalhos científicos publicados. Borsos et al. (2016) comparam 5 métodos considerados reativos, os quais são utilizados na Itália e na Hungria. Eles avaliaram as técnicas Frequência de Acidentes, Taxa de Acidentes, Taxa crítica de Acidentes, Número de Acidentes Esperados (utilizando *Empirical Bayes*) e Potencial de Melhora de Segurança e concluíram que os resultados das duas últimas técnicas não são correlacionadas com os resultados das outras três. Por sua vez, Shariff et al. (2018) compararam as técnicas de Agrupamento pelo Vizinheiro mais próximo (NNH) e Agrupamento Espacial Temporal (STAC) ao avaliar a quantidade de acidentes com vítimas feridas e fatais ocorridos em uma

rodovia na Malásia. Os autores (2018) puderam identificar que, mesmo que a aplicação das duas técnicas tenha gerado quantidades semelhantes de agrupamentos, a técnica STAC produziu resultados de agrupamentos melhores, independentemente se avaliados somente os acidentes com vítimas fatais ou todos aqueles com alguma vítima envolvida.

Por fim, de toda a literatura analisada, observou-se uma prevalência de material que compara dois ou mais métodos de mesma categoria. Somente um artigo, Ambros et al. (2016), realizou uma comparação de métodos para identificação de segmentos críticos de naturezas diferentes, sendo eles de natureza estatística e de avaliação de risco. Sendo assim, é possível inferir que nenhum material avaliado realiza a comparação proposta nesse artigo: comparar o método estatístico reativo proposto por DNIT (2009) com o método preditivo de avaliação de risco de rodovia proposto em iRAP (2014).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Levantamento de dados**

Para comparação das duas metodologias estudadas, se faz necessária a definição da área de estudo em que as mesmas são aplicadas e em seguida o levantamento dos dados para cada uma. Tanto para a metodologia proposta pelo DNIT (2009), como para a metodologia iRAP (2014), os dados relativos aos acidentes são necessários. Porém, para a primeira metodologia os mesmos precisam estar vinculados ao quilômetro de ocorrência. Em específico à metodologia proposta pelo DNIT (2009), também se faz necessário segmenta-la de acordo com os segmentos homogêneos. São elas: SUM – pista simples, ambiente urbano e relevo montanhoso; SUO – pista simples, ambiente urbano e relevo ondulado; SUP – pista simples, ambiente urbano e relevo plano; SRM – pista simples, ambiente rural e relevo montanhoso; SRO – pista simples, ambiente rural e relevo ondulado; e SRP – pista simples, ambiente rural e relevo plano.

#### **3.2. Aplicação das metodologias avaliadas**

O primeiro método aplicado, proposto por DNIT (2009), é considerado de natureza estatística, visto que “todos os resultados a serem obtidos da aplicação da metodologia proposta estão fundamentados na probabilidade da ocorrência de um acidente em um determinado segmento, tendo como base de comparação uma amostra estudada” (DNIT,



2009). Tal metodologia avalia os acidentes ocorridos na área de estudo e prevê a classificação em 4 níveis de criticidade, diferenciado nas classificações de segmentos homogêneos apresentados, sendo eles: Não crítico, Levemente crítico, Crítico e Altamente Crítico.

Já a segunda metodologia a ser utilizada para identificação de segmentos críticos é a metodologia iRAP (2014). Tal metodologia, considerada de natureza preditiva, aborda os riscos que a rodovia oferece ao usuário. Para tal avaliação, a metodologia se baseia em 3 partes principais: inspeção da rodovia e obtenção de dados de apoio; codificação dos atributos das vias; e obtenção dos resultados de classificação por estrelas e planos de investimento para vias mais seguras, gerados no ViDA - *software* online do iRAP. Tal metodologia prevê a classificação de criticidade em uma escala de cinco estrelas, sendo 1 estrela, de cor preta, a pior classificação e 5 estrelas, de cor verde, a melhor classificação de acordo com os tipos de usuário motorista, motociclista, pedestre ou ciclista. Como a metodologia iRAP apresenta os seus resultados em classificações por estrelas a cada 100 metros, nessa etapa ainda é realizada a média das classificações para cada segmento homogêneo. Assim, a etapa seguinte do artigo é possível de ser realizada.

### 3.3. Correlação das metodologias avaliadas

A correlação das duas metodologias foi feita utilizando a Técnica de Correlação de Postos de Spearman, a qual pode ser aplicada visto que a identificação dos segmentos críticos é considerada como variável do tipo qualitativa e ordinal. Tal técnica consiste na comparação de dois grupos distintos que visa aceitar ou rejeitar a hipótese nula. Nesse caso, a hipótese nula ( $H_0$ ), onde  $\rho = 0$ , afirma que os dois métodos comparados não são correlacionados. Ao contrário, a hipótese alternativa ( $H_1$ ), onde  $\rho \neq 0$ , afirma que os dois métodos comparados são correlacionados. A aceitação ou não da hipótese nula está vinculada ao p-valor, da ordem de significância de 95%. Tal teste de hipóteses é aceito mesmo que as metodologias apresentem diferentes ordens possíveis, visto que sua análise consiste em transformar os resultados avaliados em postos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Área de estudo

A plataforma online SIOR (DNIT e LabTrans, 2019) foi utilizada para definir o segmento da BR-116, em Santa Catarina, no qual seriam realizadas as análises do artigo. Foi identificado que, considerando do quilômetro 59,8 ao quilômetro 132,7, dois trechos do Sistema Nacional de Viação (SNV) consecutivos seriam englobados de forma completa, sendo eles o 116BSC2891 e 116BSC2895, como mostrado na Figura 11.

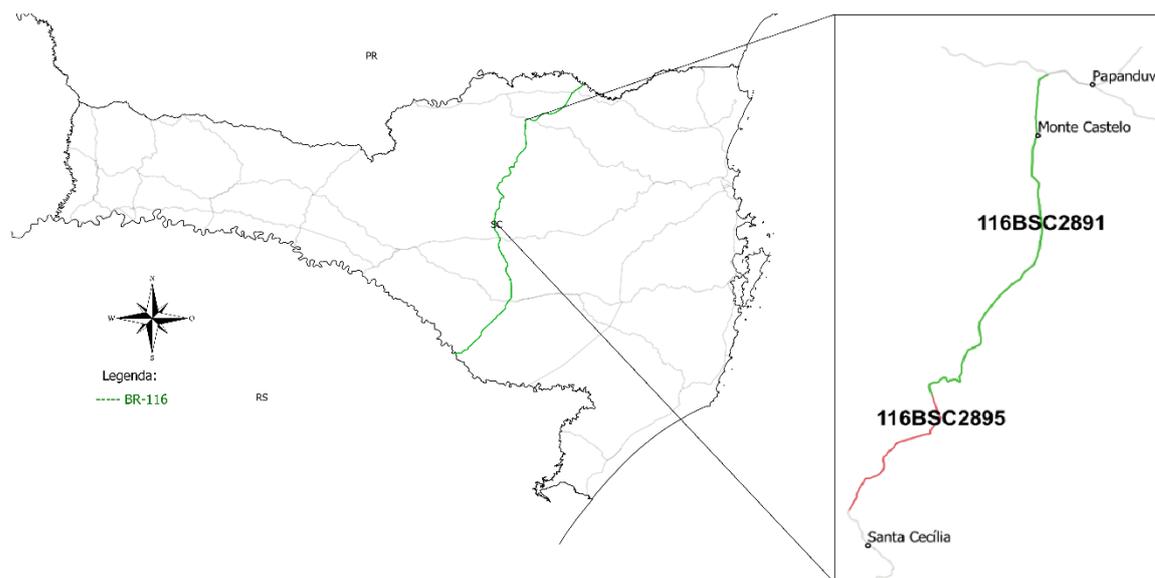


Figura 11 - Localização da rodovia BR-116 e da área de estudo no Estado de Santa Catarina  
Fonte: O autor (2020)

Dentro desses dois SNV avaliados, foram identificados 71 segmentos homogêneos, os quais têm-se somente pista do tipo simples (100%), predominância de uso do solo rural (90,4%) e predominância de perfil da rodovia do tipo ondulado (45,5%) e plano (30,9%).

Além disso, foram obtidos os dados de acidentes ocorridos entre os anos de 2016 e 2018, contemplando assim um período de 3 anos completo. No trecho analisado da BR-116, no Estado de Santa Catarina, foram registrados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2019) 209 acidentes, sendo que 75 não tiveram vítimas, 124 apresentaram vítimas feridas e 10 com vítimas fatais.

## 4.2. Aplicação das metodologias avaliadas

Os resultados das duas metodologias avaliadas são apresentadas na Figura 2. Os resultados da metodologia proposta por DNIT (2009) foram obtidos utilizando planilha eletrônica.

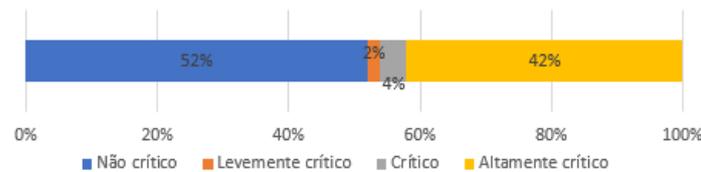


Figura 12 – Criticidade do trecho avaliado de acordo com metodologia DNIT  
Fonte: O autor (2020)

De acordo com a criticidade resultante da aplicação, é possível observar na Figura 2 que os dois SNV avaliados possuem predominância classificados como Não crítico, na ordem de 52%, e de segmentos Altamente críticos, na ordem de 42%. As duas outras classificações, Levemente crítico e Crítico, correspondem, respectivamente, a 2% e 4% dos segmentos homogêneos avaliados. Em relação à classificação obtida com a aplicação da metodologia proposta por DNIT (2009), é possível observar na Figura 3 como ela se difere, de acordo com os segmentos homogêneos.

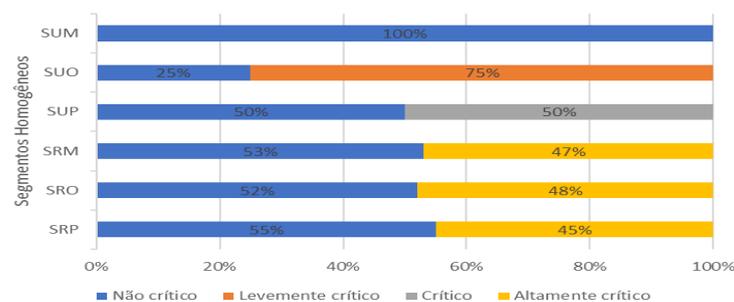


Figura 13 – Criticidade por segmento homogêneo de acordo com metodologia DNIT  
Fonte: O autor (2020)

Observa-se que, em relação ao ambiente que a rodovia está inserida, os segmentos rurais foram classificados de forma praticamente similar independente do tipo de relevo envolvido. Tal classificação variou entre Não crítico e Altamente crítico. Já em relação aos segmentos considerados urbanos, a classificação da metodologia do DNIT (2009) variou predominantemente entre Não crítico e Crítico. O mesmo pode ser atestado ao comparar os

segmentos avaliados em relação ao tipo de relevo. Os 3 tipos de relevo variaram a classificação predominantemente entre Não crítico e Altamente Crítico.

Já a segunda metodologia aplicada é a proposta por iRAP (2014), a qual foi realizada utilizando os *software* BrazilRAP (UFSC e LabTrans, 2016) e o *software* online ViDA (iRAP, 2019). Os resultados da aplicação da metodologia podem ser observados na Figura 4.



Figura 14 – Classificação por estrelas do trecho avaliado de acordo com metodologia iRAP  
Fonte: O autor (2020)

Com tal metodologia, a classificação por estrelas se divide de acordo com o apresentado na Figura 4. Observam-se segmentos classificados com 2 estrelas (14%), 3 estrelas (68%) e 4 estrelas (18%). As classificações de 1 estrela e de 5 estrelas não foram obtidas no segmento avaliado. Em relação à classificação obtida com a aplicação da metodologia proposta por iRAP (2014), é possível observar na Figura 5 como ela se difere.

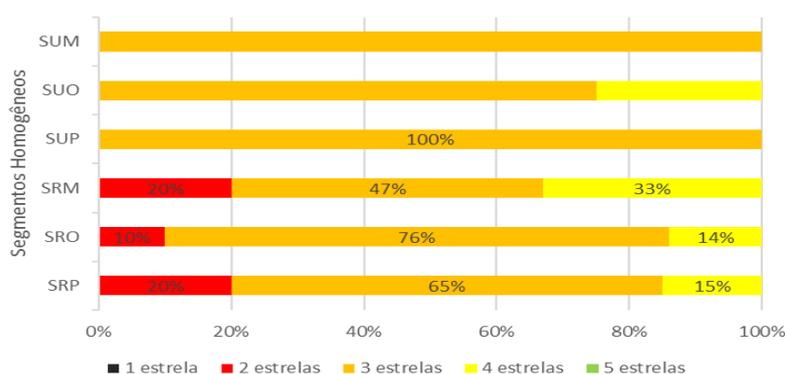


Figura 15 – Classificação por estrelas por segmento homogêneo de acordo com metodologia iRAP  
Fonte: O autor (2020)

Observa-se que, em relação ao ambiente que a rodovia está inserida, os segmentos rurais foram classificados predominantemente com 3 estrelas (59%), enquanto que, em ambiente urbano, todos os segmentos avaliados foram classificados como 3 ou 4 estrelas. Já



em relação ao tipo de relevo, a classificação de estrelas variou de forma semelhante independente se plano, ondulado ou montanhoso.

### 4.3. Correlação das metodologias avaliadas

A segunda etapa de aplicação das metodologias consistiu em correlacionar as classificações de segmentos críticos obtidas com as duas técnicas aplicadas. Para isso, foi utilizada a Técnica de Correlação de Postos de Spearman através do *software* r®. Tais resultados são observados na Tabela 1.

Tabela 2 - Correlação de Postos de Spearman entre os resultados da metodologia DNIT e iRAP

	<b>Geral</b>	<b>Rural</b>	<b>Urbano</b>	<b>Plano</b>	<b>Ondulado</b>	<b>Montanhoso</b>
p-valor	0,6099	0,6578	-	0,7634	0,3043	0,1554
$\rho$	0,0615	0,0564	-	0,0680	-0,1843	0,3724

Fonte: O autor (2020)

Com os resultados apresentados na Tabela 1, é possível observar que, entre as duas metodologias avaliadas, a correlação dos resultados das metodologias comparadas não é significativa, quando analisado de forma geral, visto que o p-valor é maior do que o p-valor<sub>crítico</sub> de 0,05. Isso indica, então, que a hipótese nula ( $H_0$ ) do teste é aceita e que os resultados da aplicação das duas metodologias, para esse trecho escolhido da BR-116, não são correlacionados. O mesmo se observa quando é analisado o p-valor relacionado com o uso do solo e o tipo de relevo. Como os valores de p-valor são maiores do que o p-valor<sub>crítico</sub> de 0,05, isso indica que em nenhum dos casos, no trecho escolhido da BR-116, a metodologia iRAP é correlacionada com a metodologia DNIT. Em termos práticos, isso sugere que não necessariamente os segmentos de rodovia classificados com maior risco influenciam na quantidade de acidentes, representando o que a ONSV (2019) atesta de que cerca de 90% dos acidentes são causados por fator humano, mas sim que as rodovias precisam ser projetadas de forma a perdoar falhas humanas.

Além disso, quando se comparam duas ou mais metodologias de identificação de segmentos críticos, se faz necessário avaliar outros fatores que sejam importantes para decisão de qual a metodologia mais adequada. No artigo em questão, visto que as duas metodologias apresentam resultados não correlacionados, são discutidos as questões de custo e tempo de aplicação de cada uma.

Quando se analisa a metodologia proposta pelo DNIT (2009), o fator tempo e custo podem sofrer bastante variação. O tempo pode variar quando do acesso aos dados sobre acidentes de trânsito na rodovia estudada não forem disponibilizados de forma pública, gerando assim uma necessidade de buscar essas informações em outras fontes ou até mesmo realizar novos estudos para coletas de dados de acidentes de trânsito. Entretanto, na metodologia proposta por DNIT (2009), o custo pode ser considerado baixo, visto que todos os cálculos e análises são realizadas em escritório.

Já quando se trata da metodologia iRAP (2014), tanto tempo quanto custo são dois fatores importantes na decisão de metodologia. O tempo nesse caso inclui o tempo necessário para deslocar uma equipe a campo realizar a inspeção da rodovia e o tempo necessário para codificar os atributos em escritório. Por exemplo, para realizar os levantamentos e análises desse artigo, foram dispendidas 9 horas de viagem ida e volta ao local inspecionado, mais uma hora e meia inspecionando a rodovia e ainda 14 horas para codificar todos os atributos dos 73,3 km avaliados. Além disso, o custo nessa metodologia tem um peso importante, visto a necessidade de deslocar uma equipe a campo e a necessidade de um veículo equipado com uma câmera para realizar as inspeções.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No Brasil, um dos métodos para identificação de segmentos críticos bastante difundido é o proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2009), o qual possui uma abordagem reativa dos acidentes e que visa identificar os locais com maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Enquanto isso, uma outra metodologia que busca identificar os locais críticos é a metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*, 2014), o qual possui uma abordagem preditiva dos acidentes e que visa identificar os locais que oferecem maior risco aos usuários



Para realizar tal comparação, foi realizada uma aplicação em um segmento de uma rodovia federal brasileira com extensão de 72,9 quilômetros, o qual abrangia a maior parte dos tipos de segmentos homogêneos propostos por DNIT (2009): pista simples, ambiente urbano e rural, tipo de relevo plano, ondulado ou montanhoso. Com a avaliação da Correlação de Postos de Spearman, foi possível identificar que as duas metodologias avaliadas não apresentaram, de modo geral, significância estatística. Mesmo nas análises por segmentos homogêneos, as duas metodologias não apresentaram correlação significativa.

Para finalizar, indicam-se algumas recomendações para trabalhos futuros. A primeira se dá em relação às metodologias escolhidas para as análises. Indica-se, se possível, que sejam estudadas metodologias que tenham outra abordagem diferentes das aqui apresentadas. Já a segunda recomendação se dá em relação ao segmento de rodovia avaliado. Indica-se que tal segmento englobe todas as situações possíveis de acordo com segmentos homogêneos: pista simples ou dupla, ambiente urbano ou rural, e relevo plano, ondulado ou montanhoso. Por fim, a última consideração versa sobre a escolha dos acidentes rodoviários que serão analisados. Como os resultados obtidos indicam que não houve uma correlação entre uma metodologia reativa e uma preditiva e também devido ao fato de os acidentes terem uma grande influência de fatores humanos, indica-se a realização de uma comparação entre metodologias de abordagens reativa e preditiva considerando somente os acidentes com causas relacionadas à fatores de via.

## REFERÊNCIAS

- AGHAJANI, M; DEZFOULIAN, R. S.; ARJROODY, A. R.; REZAEI, M. (2017) Applying GIS to identify the spatial and temporal patterns of road accidents using spatial statistics (case study: Illam Province, Iran). *Transportation Research Procedia*, v. 25, p. 2126 – 2138.
- AMBROS, J.; HAVRÁNEK, P.; VALENTOVÁ, V.; KRIVÁNKOVÁ, Z.; STRIEGLER, R. (2016) Identification of hazardous locations in regional road network – comparison of reactive and proactive approaches. *Transportation Research Procedia*, v. 14, p. 4209 – 4217.
- BORSOS, A.; CAFISO, S.; AGOSTINO, C. D.; MILETICS, D. (2016) Comparison of Italian and Hungarian black spot rankings. *Transportation Research Procedia*, v. 14, p. 2148 – 2157.
- DHARMASENA, S. R.; SURESH, E. A. T. (2018) A methodology to analyze road landscape in accident black-spot: the case of Southern expressway, Sri Lanka. *International Journal of Architectural Research*, v. 12, p. 347 – 357.

---

DNIT (2009) Identificação e proposição de melhorias em segmentos críticos da malha rodoviária federal do DNIT: metodologia para identificação de segmentos críticos. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Santa Catarina.

DNIT e LABTRANS (2019) SIOR – Sistema Integrado de Operações Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e Laboratório de Transportes e Logística. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/sior>>. Acesso em: 25 set. 2019.

IRAP (2014) iRAP Methodology Fact Sheets. International Road Assessment Programme.

IRAP (2019) *Software* ViDA. International Road Assessment Programme. Disponível em: <<https://www.vida.irap.org>>. Acesso em: 25 set. 2019.

KEYMANESH, M.; ZIARI, H.; ROUDINI, S.; AHANGAR, A. N. (2017) Identification and prioritization of “black spots” without using accident information. *Modeling and Simulation in Engineering*, v. 3, p. 1 – 9.

MINISTÉRIO DA SEGURANÇA PÚBLICA (2019) Dados abertos sobre acidentes de trânsito. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

OMS (2018) Global Status Report on road safety. Organização das Nações Unidas

ONSV (2019) 90% dos acidentes são causados por falha humana. Observatório Nacional de Segurança Viária. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SHARIFF, S. S. R.; MAAD, H. A.; HALIM, N. N. A.; DERASIT, Z. (2018) Determing hotspots of road accidents using spatial analysis. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 9, p. 146 – 151.

SHI, L.; HUSEYNOVA, N.; YANG, B.; LI, C.; GAO, L. (2018) A cask evaluation model to assess safety in chinese rural roads. *Sustainability*, v. 10 (10), 3864.

UFSC e LABTRANS. (2016) Manual do usuário do BrazilRAP. Universidade Federal de Santa Catarina e Laboratório de Transporte e Logística. Florianópolis, SC.

---

# **EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE TRANSPORTES**

---

**Comunicações Técnicas**

---





## IMPACTO DE CURVAS HORIZONTAIS NA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE INSTANTÂNEA EM CENÁRIO URBANO

Rafael A. Szeliga<sup>1</sup>; Bruno H. S. Chaves<sup>2</sup>; Jorge T. Bastos<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Paraná, [rafaelsz@ufpr.br](mailto:rafaelsz@ufpr.br); [brunochaves@ufpr.br](mailto:brunochaves@ufpr.br); [jtbastos@ufpr.br](mailto:jtbastos@ufpr.br)

### RESUMO

O excesso de velocidade aumenta a distância de percepção, reação e frenagem, diminuindo, por consequência, o tempo disponível para uma tomada de decisão em situações críticas. Do ponto de vista do agravamento de um acidente, um pedestre tem um risco de morte superior a 80% quando atingido por um veículo transitando a 50 km/h, ao passo que, quando atingido por um veículo a 30 km/h, essa probabilidade cai a menos de 20%. Estudos Naturalísticos de Direção são baseados no monitoramento de condutores por meio de veículos equipados com câmeras e aparelhos receptores GPS com o objetivo de estudar o comportamento no trânsito. Como parte de um Estudo Naturalístico de Direção conduzido na cidade de Curitiba, o presente trabalho tem por objetivo investigar a relação entre a velocidade de conversão de veículos de passeio e a geometria de interseções urbanas com vistas a melhorar o entendimento do conflito entre pedestres e veículos. Foi estabelecido um recorte no estudo para curvas com deflexão de 90°. Como resultados é apresentada a análise de 486 curvas. Os testes estatísticos indicam diferenças significativas entre as velocidades antes e durante a curva e entre as velocidades durante e depois da curva, sendo as velocidades durante a curva mais reduzidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estudos Naturalísticos de Direção, segurança viária, interseções urbanas, velocidade.

### 1. INTRODUÇÃO

O excesso de velocidade aumenta a distância de percepção, reação e frenagem, diminuindo, por consequência, o tempo disponível para uma tomada de decisão em situações críticas (OPAS, 2012). Além disso, velocidades mais elevadas também demandam maior espaço para manobras de conversão, pois o principal fator que influencia no raio de uma curva é a velocidade de projeto da via (TRIPP, 2012). Do ponto de vista do agravamento de um acidente, um pedestre tem uma chance muito grande (superior a 80%) de sofrer uma lesão fatal quando atingido por um veículo a 50 km/h, ao passo que, quando atingido por um veículo a 30 km/h, essa probabilidade de lesão fatal é menor que 20% (OPAS, 2012; WRI Brasil, 2015).

Do ponto de vista do excesso de velocidade, Ellison e Greaves (2015) apontam para resultados de que um condutor economiza apenas cerca de 2 minutos por semana ao exceder o limite de velocidade em meio urbano. Diante desse cenário, em diversos países são praticadas técnicas de *traffic calming* ou no seu termo em português, moderação de tráfego, que podem ser entendidas, segundo Esteves (2003), como um conjunto técnicas para reduzir



os efeitos negativos do trânsito e criar um ambiente seguro para pedestres. Nesse contexto de investigação do comportamento do condutor, conforme apontam Carsten et al. (2013), Estudos Naturalísticos de Direção são utilizados para monitorar o comportamento de condutores ao permitir que eles dirijam por seus itinerários habituais.

Conforme apontado por Bastos et al. (2020), no ano de 2019 foi conduzida no Brasil uma iniciativa inédita de realizar um Estudo Naturalístico de Segurança Viária com base nas experiências internacionais já realizadas, equipando veículos e condutores com câmeras e receptores GPS, de forma a monitorar o trajeto, velocidades e ambiente viário no qual os carros estavam inseridos. Resultados a respeito do uso do telefone celular ao volante já foram publicados em Bastos et al. (2020). Tal metodologia de estudo se justifica mediante uma falta de pesquisas de campo pretéritas que envolvam o condutor brasileiro dentro de uma situação real de trânsito onde se analisam variáveis como as velocidades praticadas e suas relação com outros condutores e o ambiente ao seu redor, identificando ações que possam contribuir para a segurança viária.

Dentro das possibilidades que se apresentam da coleta de dados de um estudo naturalístico, optou-se neste documento por investigar a relação da geometria de interseções urbanas com a velocidade praticada por veículos de passeio na cidade de Curitiba. Esta escolha se justifica por serem os cruzamentos naturalmente pontos potenciais de travessias de pedestres e onde pode-se verificar, portanto, o conflito entre usuários motorizados e não motorizados.

O objetivo desse estudo é analisar a variação da velocidade em curvas horizontais em ambiente urbano levando em consideração as velocidades praticadas antes, durante e após as curvas. Para isso, é necessário verificar se as velocidades pré e pós curva apresentam diferenças significativas a ponto de aprofundar esses estudos. Espera-se, dessa forma, que o assunto contribua para ponderações críticas das diretrizes de interseções urbanas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Como referência de projeto conduzido, van Nes et al. (2019) trazem a experiência europeia do UDRIVE, um estudo naturalístico envolvendo condutores de veículos de passeio, motocicletas e caminhões de vários países da União Europeia. A forma de aquisição de dados desses estudos envolve a instalação de câmeras internas nos veículos que



monitoram o condutor, suas ações no ato de dirigir e o ambiente ao redor do condutor, além de um receptor de sinal GPS que grava dados de localização.

Os projetos de Estudos Naturalísticos podem apresentar diferentes abordagens, como por exemplo os testes conduzidos nos EUA (SHRP2), em que há um maior número de participantes, porém, monitorando menos aspectos que o UDRIVE (VAN NES et al., 2019; SCHNEIDEREIT et al., 2017). Van Nes et al. (2019) apontam que os estudos naturalísticos de direção permitem aos pesquisadores observar e analisar as relações entre condutores, veículos e via em situações variadas incluindo elementos pré-acidentes que podem contribuir para um maior entendimento das variáveis envolvidas nessas eventualidades. De forma similar aos Estudos Naturalísticos, Wang (2006) abordou a relação analítica entre geometria de vias urbanas e o desenvolvimento da velocidade em corredores em linha reta e trechos em curva a partir de veículos equipados com rastreadores GPS.

O erro do condutor, pode ocorrer por diversos fatores como pouca habilidade do condutor, deficiência do projeto viário, além de excesso ou acúmulo de informações na via (DNIT, 2010). Nesse caso, de acordo com van Nes et al. (2019), os Estudos Naturalísticos permitem que toda essa gama de fatores venha a ser, em certo grau, avaliada, pois conta-se com a localização espacial dos veículos com dados de velocidade, data e horário do deslocamento, além do registro em vídeo dos trajetos, podendo ser posteriormente complementados por análises espaciais considerando as características do entorno.

### 3. METODOLOGIA

Os veículos dos participantes do estudo foram instrumentados com equipamentos de monitoramento compostos por câmeras, para registro do ambiente externo ao condutor e interno do veículo, e receptores GPS para registro das velocidades instantâneas e posições ao longo dos trajetos. Foram recrutados oito condutores, cada um conduzindo por aproximadamente duas semanas. Os dados coletados receberam um tratamento prévio como eliminação de tempos inválidos de viagem. Posteriormente receberam tratamento no software de análises espaciais QGIS®. As viagens de cada um dos condutores foram separadas e analisadas individualmente sobre uma base viária construída combinando dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) com dados obtidos a partir de uma base *OpenStreetMap*. Adicionalmente, foi obtida a localização

dos semáforos instalados em Curitiba a partir dos dados disponibilizados pelo IPPUC (IPPUC, 2020; OSM, 2020).

De posse dos eixos do sistema viário da cidade de Curitiba, foi gerado no software QGIS® um *buffer* de 10 m em torno do eixo para representar a caixa da rua e acomodar os pontos obtidos das viagens. Tal medida se faz necessária para eliminar pontos que eventualmente se apresentem muito fora do ordenamento viário e não permitam fazer análises, conforme ilustrado na Figura 1a. Assim é possível ilustrar uma das viagens analisadas em que todos os pontos presentes são pontos válidos na Figura 1b.



Figura 1a – Viagem com pontos descartados  
Fonte: Os autores (2020)



Figura 1b – Viagem com pontos aproveitados  
Fonte: Os autores (2020)

Cada ponto do trajeto representa um segundo de informação coletada pelo sistema de GPS instalado no veículo, que traz informações como a localização geográfica, horário, velocidade instantânea, entre outras informações. Desta forma cada ponto da viagem recebe uma informação de “Tempo Acumulado” onde os segundos são contados em ordem crescente, ordenando assim os pontos. As viagens de cada um dos condutores foram analisadas sob o ponto de vista das curvas horizontais realizadas. Em um primeiro momento, baseado em inspeção visual, foram selecionadas as conversões com deflexões de 90°, tanto à direita quanto à esquerda, conforme ilustrado na Figura 2a. Como o objetivo é verificar a relação entre a geometria da interseção e velocidade praticada pelos veículos, alguns critérios foram elencados para incluir apenas curvas que fossem representativas de um trajeto contínuo e fluido. Foi considerada uma distância de 50 m antes e 50 m após a curva para acompanhar o desenvolvimento da velocidade do veículo, conforme indicado na Figura 2a, onde os pontos 50 m antes e depois da curva estão destacados (em azul) além dos pontos de início e fim da curva (em vermelho). Convém ressaltar que os pontos de inflexão (pontos de

curva e de tangente) são aqueles praticados pelos motoristas, conforme é identificada visualmente a mudança de direção e não são, necessariamente, os pontos de curva e tangente da geometria da via projetada.

Também baseado primeiramente em inspeção visual, foram eliminadas as curvas que apresentavam sinais de congestionamento ou de veículo parado em função de semáforo vermelho ou ainda espera para conversão em via preferencial. Essa condição é dada pelo acúmulo de pontos muito próximos uns dos outros, quando não sobrepostos, o que identifica que o veículo está parado ou se deslocando com velocidade próxima de zero, conforme ilustrado na Figura 2b. Esses trechos, caso considerados, acabariam por comprometer um estudo que leva em conta a desaceleração para efetuar uma curva e posterior recuperação da velocidade pós-curva.

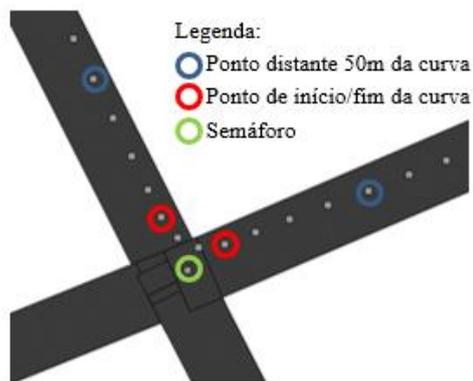


Figura 2a – Curva considerada para análises  
Fonte: Os autores (2020)

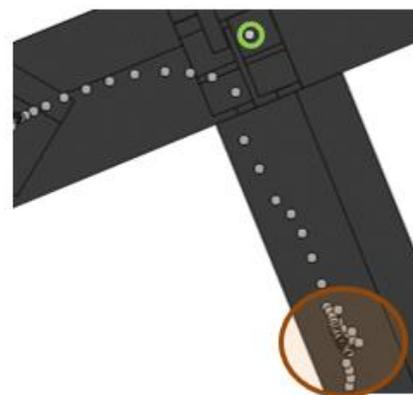


Figura 2b – Curva desconsiderada para análises  
Fonte: Os autores (2020)

### 3.1. Análises nas Planilhas

Nas planilhas que deram origem às viagens é possível identificar o condutor, o número da viagem registrada para aquele condutor, bem como as informações de tempo acumulado da viagem (coluna “TIME\_ACUM”), além da velocidade e o azimute correspondente a cada ponto registrado. As informações da coluna “TIME\_ACUM” trazem o registro sequencial do tempo com incrementos de um segundo a cada ponto.

No exemplo da Figura 3a, está ilustrada uma curva da viagem 6 do condutor C (viagem C6). O ponto 1061s é o ponto distante 50 m da curva, o tempo 1067s corresponde ao início da curva, 1070s quando o veículo entra novamente no alinhamento em tangente e o tempo 1076s marca os 50 m finais depois da curva. Foram criadas a coluna AA, que contém a

diferença entre o azimute (coluna “HEADING”) do instante atual com o instante superior, para definição dos pontos de início e fim das curvas; e a coluna AB “Vel. Rel.”, que apresenta a diferença relativa de velocidade ao longo do trecho. Nesse caso, a velocidade parte de 38,79 km/h no ponto 50 m antes da curva, diminui ao longo da curva e volta a aumentar no trecho em retilíneo após a curva. O gráfico de velocidade em função do tempo é apresentado na Figura 3b, com indicação dos pontos notáveis PC e PT.

	A	B	O	Q	R	AA	AB	AC
1	DRIVER	TRIP_ANDTIME_ACUM	SPD_KMH	HEADING	Dif. Heading	Vel. Rel.		
1062	C	C6	1060	38,95	290,10	0,40		
1063	C	C6	1061	38,79	290,60	0,50	100,00%	P5
1064	C	C6	1062	37,82	290,80	0,20	97,51%	
1065	C	C6	1063	36,21	290,30	-0,50	93,36%	
1066	C	C6	1064	34,44	290,50	0,20	88,80%	
1067	C	C6	1065	31,70	292,00	1,50	81,74%	
1068	C	C6	1066	28,32	291,50	-0,50	73,03%	
1069	C	C6	1067	25,11	288,50	-3,00	64,73%	PC
1070	C	C6	1068	21,57	275,20	-13,30	55,60%	
1071	C	C6	1069	21,08	251,30	-23,90	54,36%	
1072	C	C6	1070	21,89	211,20	-40,10	56,43%	PT
1073	C	C6	1071	24,78	202,20	-9,00	63,90%	
1074	C	C6	1072	27,84	200,80	-1,40	71,78%	
1075	C	C6	1073	29,93	200,40	-0,40	77,18%	
1076	C	C6	1074	31,22	199,90	-0,50	80,50%	
1077	C	C6	1075	31,86	200,20	0,30	82,16%	
1078	C	C6	1076	31,22	200,10	-0,10	80,50%	P6
1079	C	C6	1077	28,32	200,70	0,60		

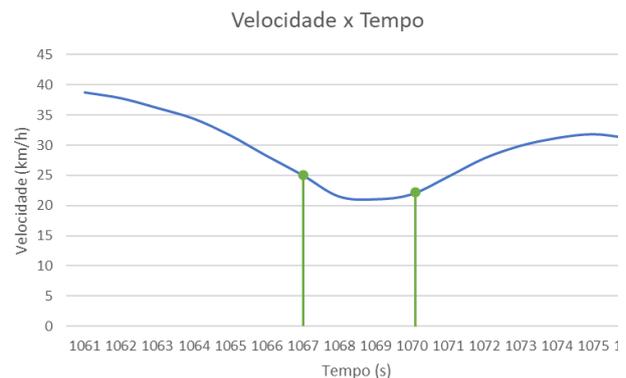


Figura 3a – Planilha de curva com informações analíticas

Fonte: Os autores (2020)

Figura 3b – Perfil de Velocidade em função do tempo para curva individual

Fonte: Os autores (2020)

## 4. RESULTADOS

Como resultado, levando em conta todas as viagens dos condutores e situações que observavam as condições impostas, foram analisadas 486 curvas. A Tabela 1 apresenta esse conjunto de dados com velocidades antes da curva, durante a curva e após a curva (velocidades em km/h).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas de velocidades nas curvas

Trecho	N	Média	Desv.Pad.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Antes da Curva	486	36,72	7,94	14,11	31,60	37,18	41,96	62,44
Durante a Curva	486	23,06	5,81	8,63	19,15	22,51	26,74	50,90
Após a Curva	486	37,31	8,37	11,10	32,33	37,55	42,55	67,75

Fonte: os autores (2020)

A velocidade média antes da curva apresentou valor de 36,72 km/h (dp = 7,94 km/h), durante a curva verificou-se a velocidade média de 23,06 km/h (dp = 5,81 km/h) e por fim, nos trechos após a curva foram observadas velocidades médias de 37,31 km/h (dp = 8,37



km/h). Por meio da aplicação do teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney para um intervalo de confiança de 95% verificou que as velocidades praticadas durante a curva são estatisticamente inferiores quando comparadas com as velocidades anteriores à curva ( $W = 333.878,5$ ,  $p < 0,005$ ). Da mesma forma, as velocidades após a curva são estatisticamente superiores quando comparadas com as velocidades durante a curva ( $W = 137.963,5$ ,  $p < 0,005$ ).

## 5. CONCLUSÕES

Os testes estatísticos indicam diferenças significativas entre as velocidades antes e durante a curva e entre as velocidades durante e depois da curva, sendo as velocidades durante a curva mais reduzidas. A partir deste resultado parcial, pode-se investigar em maior profundidade outras características, pois os resultados obtidos são restritos a conversões em interseções de 90°. Diante disso novas configurações de geometrias devem ser testadas. Em complemento, para além do ângulo de deflexão, outros parâmetros capazes de influenciar a escolha da velocidade durante a conversão podem ser melhor investigados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento obtido na Chamada MCTIC/CNPq Nº 28/2018 - Universal/Faixa A - Até R\$ 30.000,00 e ao Observatório Nacional de Segurança Viária.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; et al. Naturalistic driving study in Brazil: An analysis of mobile phone use behavior while driving. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 17, p. 1–14, 2020.

CARSTEN, O.; KIRCHER, K.; JAMSON, S. Vehicle-based studies of driving in the real world: The hard truth? **Accident Analysis and Prevention**, v. 58, p. 162–174, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.006>. Acesso em: 1 set. 2020

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Publicação IPR – 174. Rio de Janeiro, 2010.

ESTEVES, R. **Cenários Urbanos e Traffic Calming**. Tese de doutorado, v. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2003.



IPPUC (org.). IPPUC: dados geográficos. Dados Geográficos. 2019. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>. Acesso em: 16 mar. 2020

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. **Gestão da velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**. Brasília, DF: 2012

OPENSTREETMAP (org.). OpenStreetMap. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SCHNEIDERERIT, T.; PETZOLDT, T.; KEINATH, A.; KREMS, J. F. Using SHRP 2 naturalistic driving data to assess drivers' speed choice while being engaged in different secondary tasks. **Journal of Safety Research**, v. 62, p. 33–42, 2017. National Safety Council and Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2017.04.004>. Acesso em: 1 set. 2020

TRIPP - Transportation Research and Injury Prevention Programme. **Code of Practice (Part -1) Cross Section**. Ministry of Urban Development. Índia, 2012.

VAN NES, N.; BÄRGMAN, J.; CHRISTOPH, M.; VAN SCHAGEN, I. The potential of naturalistic driving for in-depth understanding of driver behavior: UDRIVE results and beyond. **Safety Science**, v. 119, n. December, p. 11–20, 2019. Elsevier. Disponível em: [.](#) Acesso em: 1 set. 2020

WANG, Jun. **Operating Speed Models For Low Speed Urban Environments Based On In-Vehicle Gps Data**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Georgia Institute of Technology, 2006. Disponível em: [https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10508/wang\\_jun\\_200605\\_phd.pdf](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10508/wang_jun_200605_phd.pdf). Acesso em: 1 set. 2020.



## AVALIAÇÃO DO CONTEÚDO DOS PORTAIS DOS DEPARTAMENTOS ESTADUAIS DE TRÂNSITO - DETRANs

*Pedro Augusto Borges dos Santos*<sup>1</sup>; *Jorge Tiago Bastos*<sup>2</sup>; *Francisco Vieira Garonce*<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> *Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano (pedroaugusto@ufpr.br, jtbastos@ufpr.br)*

<sup>3</sup> *Observatório Nacional de Segurança Viária (garonce@onsv.org.br)*

### RESUMO

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, os Departamentos de Trânsito (DETRAN) têm como uma de suas competências a disponibilização de estatísticas e de programas voltados para a educação no trânsito. Esse trabalho tem como objetivo apresentar um sistema criado para avaliar os dados disponibilizados pelos portais dos DETRANs de cada unidade da federação, buscando estabelecer um panorama de como as instituições disponibilizando informações relevantes para a gestão do trânsito e segurança viária. A metodologia proposta consiste em uma avaliação a partir de sete temas: frota de veículos, condutores habilitados, infrações, acidentes de trânsito, atendimento ao público, educação no trânsito e centro de formação de condutores. Cada tema possui o seu conjunto de critérios que podem ser classificados dentro de quatro níveis: sem prática (nota 0), prática inicial (nota 3,3), prática intermediária (nota 6,6) e melhor prática (nota 10,0). A partir da avaliação desses temas foi possível estabelecer um ranking das instituições entre as unidades da federação. Rio Grande do Sul (7,7), Paraná (7,7) e São Paulo (7,6) foram as unidades com as melhores classificações. Em contrapartida, Bahia (0,5), Acre (2,3) e Amazonas (2,4) foram as unidades com as piores classificações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de avaliação, dados estatísticos, DETRAN, segurança viária

### 1. INTRODUÇÃO

Os Departamentos de Trânsito (DETRAN) têm como competência o planejamento, coordenação, execução e controle relacionados às áreas de habilitações de condutores, veículos, fiscalização de trânsito, estatísticas e educação para o trânsito (BRASIL, 1997). Em relação aos dados estatísticos, os DETRANs gerenciam um grande número de informações relevantes para a gestão do trânsito e da segurança viária no país, com destaque para as temáticas das infrações de trânsito, acidentes de trânsito e condutores habilitados, de modo que a disponibilização pública desse conteúdo contribui para subsidiar análises críticas acerca de temas relacionados à gestão do trânsito ao longo do território nacional.

Nesse sentido, o trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de avaliação das informações disponibilizadas nos portais dos DETRANs de todas as unidades da federação. Busca-se apresentar uma análise da situação de cada DETRAN, permitindo obter um panorama de como essas instituições trabalham e disponibilizam tais informações de



interesse social. Neste documento são apresentados o processo de avaliação e os resultados, tendo como base no ano de 2019.

Esta iniciativa faz parte de um conjunto de ferramentas de avaliação produzidos pelo Observatório Nacional de Segurança Viária em cooperação com o Departamento de Transportes da Universidade Federal do Paraná. Em 2015 foi lançada a ferramenta de auto avaliação da segurança viária para o setor empresarial (ONSV, 2015) e ,em 2018, foi concebida a ferramenta de auto avaliação da segurança viária em municípios (Ribeiro et al., 2018).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A avaliação dos portais dos DETRANs foi realizada a partir de sete temas: frota de veículos, condutores habilitados, infrações, acidentes de trânsito, atendimento ao público, educação no trânsito e disponibilidade de dados sobre os centros de formação de condutores. A cada tema foi associada uma nota, calculada a partir dos critérios que serão explicados nos subitens a seguir. A nota final para o DETRAN de cada unidade da federação é calculada a partir da média das notas de cada tema. Todos os acessos aos dados foram feitos em junho e julho de 2019. Assim, alguns pontos levantados nesse trabalho podem não estar de acordo com a situação atual dos portais.

Cada critério foi pontuado segundo uma das quatro notas possíveis. A escala inicia com a nota 0, para portais que não possuem a informação procurada (sem prática) e avança para as notas 3,3 (prática inicial), 6,6 (prática intermediária) e 10 para a melhor prática. Essas notas foram atribuídas conforme o tema, apresentados nos itens a seguir.

### **2.1. Frota de veículos**

A nota da frota de veículos é calculada a partir da média de três critérios: periodicidade, interatividade e nível de desagregação, todos eles descritos na Tabela 3. O critério periodicidade considera o quão recente é a informação, assim como a quantidade de períodos em que ela é apresentada. A interatividade considera o nível de interatividade dos dados apresentados, começando do mais básico, que são os dados em texto e podendo chegar a sites interativos, em que o usuário personaliza sua análise. O nível de desagregação considera o quão desagregado é o dado apresentado. No caso da frota de veículos, os dados podem ser desagregados em variáveis como ano de fabricação do veículo, categoria (particular, aluguel,



etc.), combustível, espécie (passageiro, carga, etc.), procedência (nacional ou estrangeira) e tipo de veículo.

Tabela 3 – Critérios relacionados à frota de veículos

<b>Nota</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Interatividade</b>	<b>Nível de desagregação</b>
Prática inicial (3,3)	Dados desatualizados (anteriores a 2017), com período inferior a 5 anos de série histórica	Dados disponíveis em formato de texto	Dados apresentados em 1 ou 2 níveis de desagregação
Prática intermediária (6,6)	Disponibilidade de dados até 2018 e/ou período maior que 5 anos de série histórica	Dados disponíveis em uma planilha (formato .xlsx ou similar)	Dados apresentados em 3 ou 4 níveis de desagregação
Melhor prática (10,0)	Disponibilidade de dados até 2018 com período igual ou superior a 5 anos de série histórica	Dados disponíveis em um site interativo	Dados apresentados em 5 ou 6 níveis de desagregação

Sem prática (0,0)

Portal não possui informações sobre a frota de veículos

Fonte: Os autores (2020)

## 2.2. Condutores habilitados

O tema condutores habilitados segue os mesmos critérios da frota de veículos (Tabela 3), com diferença em relação às variáveis do nível de desagregação. Os dados de condutores habilitados podem ser desagregados por categoria da carteira, sexo, opção de doador, situação (provisória ou definitiva), idade do condutor e tempo de habilitação. A nota desse tema é calculada pela média dos três critérios.

## 2.3. Infrações

A nota do tema infrações também utilizou os mesmos critérios da frota de veículos e dos condutores habilitados, com diferença no nível de desagregação. Os dados podem ser desagregados pelo artigo da infração, instrumento de autuação, local da autuação, faixa etária do condutor infrator, sexo do condutor infrator, por responsável (condutor ou proprietário) e exercício da atividade renumerada ou não do infrator. Assim, estabeleceu-se como prática



inicial o dado apresentado em um nível de desagregação, prática intermediária em dois níveis e melhor prática para 3 ou mais níveis de desagregação.

## 2.4. Acidentes de trânsito

Para avaliar os dados sobre os acidentes de trânsito, também foram utilizados os mesmos critérios da frota de veículos (Tabela 3), com mudança nos fatores do nível de desagregação. Os acidentes de trânsito podem ser desagregados de acordo com a presença de vítimas, gravidade do acidente, período (dia ou noite), área (urbana ou rural), natureza (atropelamento, choque, etc.), dia da semana, horário, sexo da vítima e/ou do condutor, faixa etária da vítima e/ou condutor, tipo da vítima e/ou condutor (ciclista, pedestre, etc.), categoria do condutor (habilitado, inabilitado, etc.), tempo de habilitação do condutor e espécie do veículo envolvido (automóvel, bicicleta, etc.). Assim, se atribuiu como prática inicial os portais que apresentaram de 1 a 5 níveis de desagregação, prática intermediária para 6 a 10 níveis e melhor prática para 11 ou mais níveis.

## 2.5. Atendimento ao público

O tema atendimento ao público foi avaliado a partir de dois critérios: presença de dados estatísticos sobre os atendimentos e presença de canais de atendimento (Tabela 4). A nota desse tema é calculada a partir da média simples desses dois critérios.

Tabela 4 – Critérios relacionados ao atendimento ao público

<b>Nota</b>	<b>Estatística</b>	<b>Canais de atendimento</b>
Prática inicial (3,3)	Dados desatualizados (anteriores a 2017), com período inferior a 5 anos de série histórica	Atendimento por telefone
Prática intermediária (6,6)	Disponibilidade de dados até 2018 e/ou período maior que 5 anos de série histórica	Atendimento por telefone e e-mail
Melhor prática (10,0)	Disponibilidade de dados até 2018 com período igual ou superior a 5 anos de série histórica	Atendimento por telefone, e-mail e mensagem
Sem prática (0,0)	Portal não possui estatísticas sobre o atendimento	Portal não informações e canais de atendimento

Fonte: Os autores (2020)



## 2.6. Educação no trânsito

A nota do tema educação para o trânsito é calculada a partir da média simples de dois critérios: conteúdos didáticos disponíveis e divulgação de atividades presentes no portal dos DETRANs. Entende-se como conteúdos disponíveis a disponibilidade de materiais como dicas, sugestões de leitura, cartilhas, orientações gerais e cadernos pedagógicos. No critério divulgação de atividades considerou-se a disponibilidade de divulgação sobre cursos, palestras, ações, projetos e campanhas nos sites dos DETRANs.

A pontuação de cada critério foi dada de acordo com a acessibilidade desses conteúdos, ou seja, a facilidade de como eles foram encontrados no site. Os portais que não possuem esses conteúdos receberam a nota 0,0 (sem prática).

## 2.7. Centro de formação para condutores

Os dados de centros de formação para condutores (CFC) foram avaliados apenas por um único critério de disponibilidade de uma lista sobre os CFC credenciados pelos DETRANs. Definiu-se como melhor prática os portais que além de possuírem uma lista completa de CFCs credenciados, apresentaram informações adicionais sobre o índice de aprovação dos alunos, quais CFCs possuem simuladores de direção, número de habilitados e informações sobre o credenciamento. Os portais que apresentaram uma lista completa dos CFCs receberam a classificação de prática intermediária e os que apresentaram apenas a quantidade de CFCs no estado foram classificados como prática inicial. Os DETRANs que não apresentaram nenhuma informação sobre os CFCs foram classificados como sem prática.

## 2.8. Nota final

A nota final dessa avaliação é feita através de uma média simples das notas referentes aos sete temas apresentados e discutidos nos subitens anteriores. O cálculo está expresso na Equação 1 a seguir:

$$NotaFinal = \frac{FV + CH + I + AT + AP + ET + CFC}{7} \quad (1)$$

em que *FV* é a nota da frota de veículos;

*CH* é a nota de condutores habilitados;



*I* é a nota de infrações;

*AT* é a nota de acidentes de trânsito;

*AP* é a nota de atendimento ao público;

*ET* é a nota de educação no trânsito; e

*CFC* é a nota do centro de formação de condutores.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta as melhores notas e as melhores unidades entre os DETRANs para cada tema em estudo. Nos temas de condutores habilitados e acidentes de trânsito nenhum DETRAN atingiu a nota máxima (10,0), sendo as maiores notas 8,9 e 7,8, respectivamente.

Tabela 5 - Melhores notas de cada tema

Posição	FV	CH	I	AT	AP	ET	CFC
1.	SE, RN e RJ (10,0)	SE, RS, GO e PE (8,9)	SE e MA (10,0)	PR, SP, GO, RO e SE (7,8)	SP e AL (10,0)	RS, PR, SP e PA (10,0)	SE, GO, RO, SC, ES, PR, MG, RJ, SP e TO (10,0)
2.	MS (8,9)	MS, RO e SC (7,8)	GO, RJ e RS (8,9)	RS, MS, AL, DF e PI (6,7)	MG (8,3)	RJ, MS e DF (8,3)	RS, PE, MS, PB, CE, AL, MT, DF, PI, AP, AC, RR, MA, PA e AM (6,7)
3.	RS, GO, PE, RO, ES e SP (7,8)	RN, ES, PR e PB (6,7)	RO, ES, PR, SP e RN (7,8)	ES, MT, AP e RR (5,6)	SE (6,7)	MA, ES, MG, MT, PE, AP e AM (6,7)	RN e BA (0,0)

Fonte: Os autores (2020)

As notas finais calculadas estão apresentadas na Figura 16. Os DETRANs com os melhores resultados são do Rio Grande do Sul (7,7), Paraná (7,7), São Paulo (7,6), Sergipe (7,6) e Goiás (7,4). Em contrapartida, os DETRANs da Bahia (0,5), Acre (2,3), Amazonas (2,4), Pará (2,6) e Paraíba (2,9) apresentaram os piores resultados.

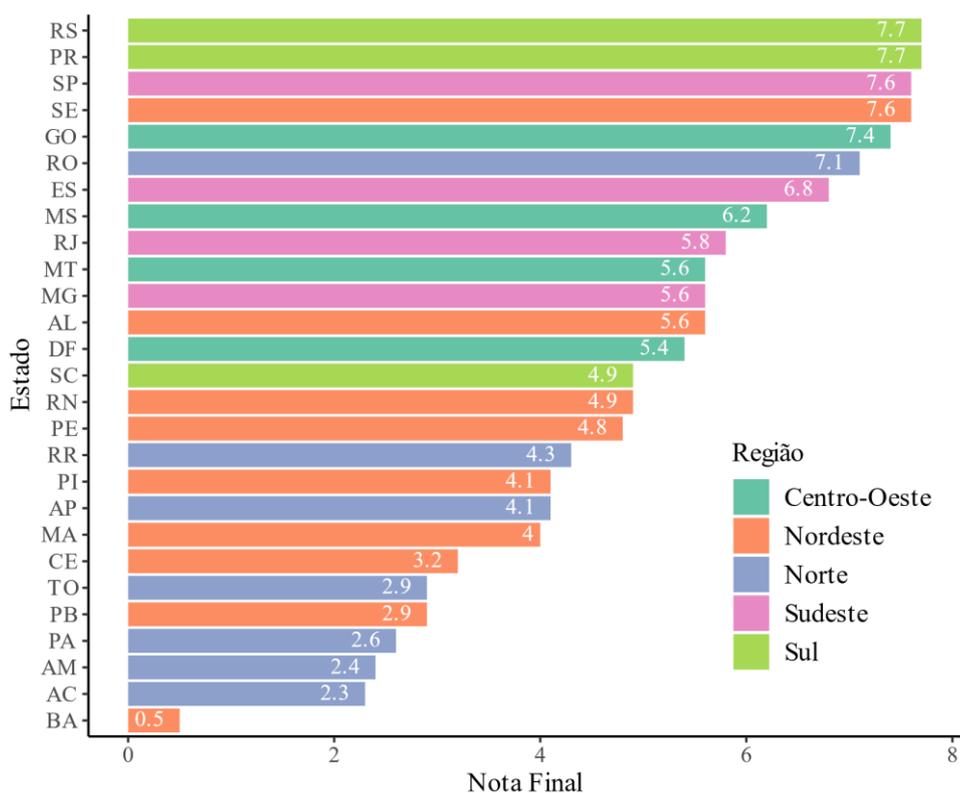


Figura 16 - Notas finais para cada estado

Fonte: Os autores (2020)

#### 4. CONCLUSÃO

O sistema de avaliação permite identificar as unidades da federação com as situações mais críticas em relação à disponibilização de dados e serviços em seus portais. Essa avaliação pode ser utilizada para basear melhorias nos sítios eletrônicos dos DETRANs, permitindo que as instituições aprimorem os seus portais para uma disponibilização mais ampla de informações para a sociedade. Destaca-se que, com as mudanças que podem ocorrer nos sites ao longo do tempo, é necessário que haja futuras correções e revisão nos critérios de avaliação do sistema.

A avaliação se apresenta como um estímulo ao benchmarking entre os DETRANs das diferentes unidades da federação, também criando um cenário que estimule uma melhoria por parte dos DETRANs na sistematização e análise de seus dados. Importante ressaltar que o trabalho avaliou os dados que as instituições disponibilizam para o público, ou seja, pode ser que o DETRAN tenha uma informação de interesse e acabe não colocando em seu portal.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Associação Nacional dos DETRANs (AND) pela ampla divulgação da pesquisa entre os DETRANs de todo o país, possibilitando o aprimoramento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Código de trânsito Brasileiro**, [s. l.], 1997.

ONSV. **CEBDS e ONSV Lançam ferramenta de autoavaliação empresarial em segurança viária**. [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.onsv.org.br/empresas-de-todo-o-pais-ganham-ferramenta-para-avaliar-e-melhorar-seguranca-viaria/>. Acesso em: 28 set. 2020.

RIBEIRO, Luana *et al.* ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE AUTOAVALIAÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA NO SETOR PÚBLICO MUNICIPAL. In: , 2018. **Anais do STPR**. [S. l.]: Departamento de Transporte (DTT/UFPR), 2018. p. 191–199. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/1stpr2018.artcomp19p191-199>



## LEVANTAMENTO DE EVIDÊNCIAS COMPORTAMENTAIS DE CONDUTORES UTILIZANDO GRUPOS FOCAIS

*André Victor Igarashi<sup>1</sup>; Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão<sup>2</sup>; Jorge Tiago Bastos<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Observatório Nacional de Segurança Viária, andreigarashi3@gmail.com*

<sup>2</sup> *Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, magaly.romao@fatec.sp.gov.br*

<sup>3</sup> *Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano – Departamento de Transportes, jtbastos@ufpr.br*

### RESUMO

Dada a grande variedade de fatores envolvidos e a complexidade da tarefa de condução, há a necessidade de conhecer o perfil comportamental dos condutores. O presente estudo tem por objetivo descrever três sessões de grupo focal realizadas a fim de obter evidências comportamentais de diferentes categorias de condutores no âmbito do primeiro estudo naturalístico de condução brasileiro. As entrevistas contaram com a participação de 21 condutores divididos em três categorias: condutores habituais (N=8), condutores que utilizam aplicativos de carona organizada (N=7) e motoristas que realizam viagens através de aplicativos de transportes profissionalmente (N=6). Além do objetivo inicial das entrevistas, ainda foi possível identificar determinados comportamentos e tendências entre os participantes a respeito dos temas-chave abordados: comportamentos de risco, fatores de risco da via, fiscalização, comportamento dos demais motoristas, medidas de moderação de tráfego e campanhas de conscientização.

**PALAVRAS-CHAVE:** grupos focais, condutores habituais, condutores de aplicativo de carona, condutores de aplicativo de transporte, fatores comportamentais.

### 1. INTRODUÇÃO

Entre os fatores determinantes para acidentes de trânsito, o fator humano tem se destacado por estar presente na grande maioria das ocorrências, seja isoladamente, ou associado a problemas na via ou no veículo (Ferraz et al., 2012). Para coletar dados a respeito do comportamento no trânsito, a técnica de grupos focais, segundo Morgan (1996), é uma alternativa que se utiliza de interações sociais guiadas pelas orientações de um mediador. A sessão de grupo focal (GF) consiste em uma entrevista em grupo, em que o mediador cumpre o papel de entrevistador, e as respostas dos entrevistados são manifestadas abertamente no grupo, com a possibilidade de um participante complementar, reforçar ou, até mesmo, contradizer a resposta de outro (Morgan, 1996). Este aspecto não acarreta problemas na medida em que o objetivo do método não é recolher ideias individuais dos participantes ou obter um consenso do grupo, mas recolher diferentes percepções, ideias e intenções dentro



do grupo (Kjær, 2005). Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é descrever três sessões de grupo focal realizadas a fim de obter evidências comportamentais de diferentes categorias de condutores.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O método de entrevistas por meio de grupos focais destaca-se por permitir aos pesquisadores identificar comportamentos e motivações complexos, através do efeito de grupo proporcionado por ele (Morgan, 1996). Além disso, uma informação de grande interesse coletada através do GF dá-se na forma da concordância ou divergência entre as falas dos participantes, de forma que é possível ter-se uma noção da uniformidade da opinião de um grupo social (Morgan, 1996). Por outro lado, os pesquisadores e o mediador devem atentar-se tanto para que o entrevistador não influencie as respostas dos participantes, como para que todos estejam envolvidos nas discussões, sem que um sobresaia-se em relação aos outros.

Quanto às aplicações desse método de pesquisa, na publicidade, ramo onde é mais empregado, o GF é utilizado para avaliar o nível de aceitação de um produto, serviço, ou até mesmo candidatos a cargos políticos (Morgan, 1996). Já no meio científico, usos identificados por Morgan (1996) incluem conhecimentos a respeito de envelhecimento da população, sociologia política, criminologia, movimentos sociais, sociologia do trabalho e educação.

No âmbito da engenharia de transportes, essa técnica já foi utilizada para fins distintos. Simons et al. (2014) realizou sessões de grupo focal com jovens adultos, entre 18 e 25 anos, para identificar aspectos que influenciem na escolha modal desse grupo etário. Li (2018) utilizou o método para estudar a relação entre uso do solo, ambiente construído e fatores de auto-seleção nas decisões de moradia e deslocamento em vizinhanças que empregam o desenvolvimento orientado pelo transporte. Por sua vez, Kester et al. (2019) investigou a percepção da população acerca da tecnologia de veículos elétricos e *vehicle-to-grid* em cinco países nórdicos. Hwang et al. (2020) conduziu grupos focais para avaliar a perspectiva de pessoas com deficiência e administradoras de transporte público sobre veículos autônomos.



### 3. METODOLOGIA

As sessões de grupo focal realizadas no escopo do presente trabalho tiveram como objetivo reconhecer o perfil de condutores voluntários participantes do primeiro estudo naturalístico de segurança viária desenvolvido no Brasil, no qual foram investigados fatores comportamentais por meio do monitoramento da tarefa real de condução utilizando câmeras e GPS embarcados. Uma descrição mais detalhada desta pesquisa pode ser encontrada em Bastos et al. (2020) e Valeixo e Suginoshita (2020).

As entrevistas foram conduzidas em torno de temas-chave que foram incorporados à discussão por meio de uma mediadora, porém com a possibilidade de inclusão de temas transversais conforme a evolução da discussão junto aos participantes. Assim, os temas-chave abordados foram: os fatores de risco da via, como sinalização e geometria da via; a efetividade dos diferentes tipos de fiscalização; o risco associado ao comportamento dos demais condutores; a percepção sobre as medidas de moderação de tráfego; e o potencial de mudança do comportamento dos condutores a partir de campanhas de conscientização.

Ao todo, foram realizadas três sessões de grupo focal, as quais eram compostas, cada uma, por uma categoria distinta de condutores, conforme: (i) oito condutores habituais (CH), ou seja, que não exercem nenhuma forma de compartilhamento de viagem, nem outra forma de serviço remunerado; (ii) sete condutores que utilizam aplicativos de carona organizada (CAC); e (iii) seis motoristas que realizam viagens através de aplicativos de transportes como profissão (MAT), tal como Uber, 99, e Cabify, com o total, portanto, de 21 participantes.

Os condutores participantes se voluntariaram a participar do estudo por meio de um formulário eletrônico divulgado em diversas redes sociais, o qual recolhia informações gerais, de contato e a respeito dos hábitos de condução deles. Depois foi confirmada a disponibilidade de cada um em comparecer a sua respectiva sessão, as quais aconteceram todas ao longo do mês de agosto de 2019. Os participantes da sessão receberam auxílio financeiro de R\$ 50,00 para transporte até o campus universitário onde foi conduzida a discussão.

Dos 21 participantes, mais de 70% eram do gênero masculino, sendo que nos grupos de CAC e MAT, houve uma predominância maior de 80% do gênero masculino, e no grupo de CH, houve um equilíbrio entre os gêneros. Já em relação à idade, na soma dos três grupos,



houve uma distribuição quase uniforme entre as faixas etárias, entretanto, de forma individual o grupo de condutores habituais apresentou uma idade média menor que os outros dois.

As sessões de CH e CAC tiveram a duração de uma hora cada, e a de MAT, de uma hora e meia. Todas foram gravadas com o uso de câmeras filmadoras que permitiram a captura de som e imagem, permitindo assim a transcrição de cada uma das sessões e também a observação posterior mais atenta da dinâmica estabelecida durante a discussão. Para tanto, os participantes também consentiram, por meio da assinatura de um termo de compromisso, com o uso de suas falas para fins do projeto de pesquisa, exclusivamente pela equipe que compunha o estudo (docentes, alunos de graduação e pós-graduação).

#### 4. RESULTADOS

A partir da realização das sessões de grupo focal, pôde-se apontar algumas considerações gerais a respeito das dinâmicas observadas nos grupos. Primeiramente, no grupo focal referente a condutores que realizam viagens por meio de aplicativos de transporte, obteve-se a discussão mais aprofundada e extensa dentre as três categorias de condutores. Nesse grupo, a partir das colocações da mediadora sobre os temas-chave, novos temas surgiram de maneira espontânea, como relatos de “perseguição” por parte de agentes de trânsito e da polícia; o comportamento inadequado não apenas dos outros condutores como dos próprios passageiros; e, principalmente, aspectos relacionados às condições precárias de trabalho, que corroboram inclusive para o acontecimento de situações de risco, como direção em estado de fadiga ou sonolência. Esse aspecto foi analisado de forma mais detalhada em Igarashi et al. (2020).

Tabela 1 – Depoimentos associados a temas incorporados à discussão pelos entrevistados do grupo de MAT

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
MAT	(I) <i>"A gente estava tomando essas multas por transporte irregular de passageiros, eles conseguiram liminares contra esse tipo de multa. Aí como eles não conseguiam mais multar os Ubers por transporte irregular de passageiros, começaram a multar por qualquer coisinha. Porque parava com pisca ligado, criança sem cadeirinha, a pessoa sem cinto segurança, então eu percebi que teve, não sei se você teve a mesma percepção que eu, mas por uma pressão dos táxis por não querer ter Uber na cidade, a SETRAN começou a fiscalizar mais os Ubers, e multar por qualquer coisinha mesmo. Parar em fila dupla, embarque e desembarque, chega de madrugada lá tem um monte de embarque e desembarque, chegou guardinha da SETRAN lá e fala "5 minutos"."</i>



- MAT (II) *"Às vezes ele fazia algumas perguntas "você tem como correr?". Eu olhava para a cara dele e perguntava: "você tem certeza?""*
- MAT (III) *"Na verdade, não, é um vício. É situação atual que a gente enfrenta é a seguinte: carro alugado a R\$ 500 cada segunda-feira. Você pega uma semana fraca com um mundo de motoristas novos concorrendo às mesmas corridas que você."*

Além disso, o grupo de MAT apresentou uma menor ocorrência de relatos associados a comportamentos de risco que os outros dois, uma possível consequência do fato de a direção ser a fonte de renda desse grupo associada à possibilidade de avaliação por parte do passageiro após a corrida.

Tabela 2 – Depoimentos associados a comportamentos de risco dos entrevistados

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CAC	(IV) <i>"Encaro! Eu sei do perigo, né? Eu sei dos meus riscos. Eu sei até onde consumir, mas nada impede, sei lá, de que eu toma uma taça de vinho, um chope, não, não."</i>
CH	(V) <i>"Digito. Ninguém mais usa o telefone para falar. Eu já bati o carro fazendo isso."</i>
CH	(VI) <i>(Sobre o que faz quando bebe bebida alcoólica) "Eu, hoje em dia, não dirijo, mas faz uns dois anos. Eu queria essa consciência ontem. Eu não me importava."</i>
MAT	(VII) <i>"Quando você depende do dinheiro pra viver, você se cuida muito mais."</i>

Em relação aos temas-chave apresentados, primeiramente, quando se tratava dos fatores de risco da via, pontos levantados com frequência foram a largura estreita de algumas vias por limitar o espaço disponível para o condutor em caso de emergência e propriamente por tornar a circulação menos fluida. Segundo os entrevistados, esse problema se agrava em casos em que há estacionamento nas laterais, por acrescentar uma visibilidade de pedestres menor; a falta de sinalização ou a impossibilidade de enxergá-la; e, apesar de haver um tópico posterior voltado para essa matéria, o despreparo de outros condutores foi apontado já nesse momento como um fator de risco das vias.

Tabela 3 – Depoimentos associados a fatores de risco da via

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CH	(VIII) <i>"O trajeto que eu faço diariamente são aquelas ruas que tem 4 vias e elas foram achatadas, elas eram mais largas e agora elas são super achatadinhas. Então sim, se furar um pneu se acabar a gasolina e o cara tiver aqui parar ali não tem acostamento então é um fator de risco."</i>
CH	(IX) <i>"Eu tenho problema de visão quando tá chovendo forte eu não consigo enxergar as benditas vias faixas brancas, parece que tá tudo preto o asfalto pelo visto não sou só eu. Porque tem vezes que tem motorista que vem cortando a frente, você tem que parar para não... o cara tá perdido andando."</i>



MAT *(X) “Eu acho que o maior fator de risco até hoje é que tem muito motorista sem o preparo para dirigir. O que que eu levo de fechada o que eu levo de buzinaço meu Deus do céu. Quase bati o carro umas três vezes já só esse mês.”*

Sobre a fiscalização, foram recorrentes as discussões a respeito dos radares, com afirmações a respeito da localização inadequada de alguns e da reação indevida de condutores ao passarem por eles, entretanto, todos os participantes aparentaram entender a sua necessidade e importância.

Tabela 4 – Depoimentos associados à fiscalização

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CAC	<i>(XI) “Eu acho que é justo. Só depende do lugar, do horário de pico, ou se não é, eu acho que alguns são um pouco mais relevante talvez. Outros, eles estão lá, e as pessoas sabem que eles vão estar lá, e vão tirar o pé e depois continuar normalmente né. Aí eu acho que o intuito dele não é bem...”</i>
CAC	<i>(XII) “O problema do radar é que o povo é muito desatento. O radar é a sessenta, o cara passa a trinta. Aí são dez carros, o décimo carro já vai tá passando a cinco. Eu passo a cinquenta e cinco sessenta. Se é sessenta, eu passo a sessenta, por que eu vou passar a trinta? Porque daí tem dez carro atrás de mim, o último carro vai passar a cinco por hora, aí vai começar a fazer trânsito. Isso eu fico indignado. Lombada eletrônica é a quarenta, o cara passa a quinze! Passa a trinta e cinco, quarenta!”</i>

No que tange o comportamento dos demais condutores, os dois principais pontos observados foram o comportamento especificamente de motociclistas, e, como citados no depoimento X (Tabela 3), e o despreparo de condutores, também mencionado no XIV (Tabela 5), entretanto nesse caso com foco nos condutores que realizam viagens por meio de aplicativos de transporte.

Tabela 5 – Depoimentos associados ao comportamento de motoristas

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CH	<i>(XIII) “Eu já atropeliei dois (motociclistas) eu achei que os dois eu tinha matado e foi a pior sensação da minha vida. E a culpa não é deles. Eu tava estacionado eu fui sair eu não sei de onde ele brotou pra baixo do carro. E a outra foi virar na rua, Ele foi ultrapassar pela direita e a gente se encontrou, e ficou lá embaixo do carro. E os dois desmaiam. Aí você entra em desespero porque você matou aquela pessoa. Você não quer encostar na pessoa... chorei litros! Odeio motoqueiro!”</i>
MAT	<i>(XIV) “Tem muito motorista, devido essa fase que o Brasil está passando, eles foram lá fizeram análise e viraram motorista de aplicativo. Só que tem um preparo para as vias sem preparo para atendimento às pessoas. E uma situação que eu vi hoje, deve ser um motorista novo, era uma Via Rápida, encostou o carro para descer uma passageira, do lado dos carros, sem ligar o pisca alerta, dizendo ele estava ali para isso. Para desembarque. Isso eu vejo direto.</i>



Na discussão a respeito das medidas de moderação de tráfego, as falas foram direcionadas principalmente a lombadas e a áreas com velocidade máxima de 40 km/h (em Curitiba, chamada de Área Calma). Em ambos os casos percebeu-se que os entrevistados tinham a opinião de que esses mecanismos não são aplicados de forma eficiente, e acabam por atrapalhar o trânsito.

Tabela 6 – Depoimentos associados a medidas de moderação de tráfego

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CH	<i>(XV) "Não sou fã de lombada. Por mim como já é para fazer uma lombada que faça uma lombada eletrônica. Menos mal."</i>
CH	<i>(XVI) (Sobre lombadas) "Uma ajuda, 10 atrapalha."</i>
CH	<i>(XVII) (Sobre aspectos positivos dos radares) "Eu acho que tem. Eu concordo com ele na BR, nessas vias rápidas que as pessoas acham que é necessário. Agora na tal da via calma incomoda bastante."</i>

Por último, sobre o efeito das campanhas de conscientização voltadas para a segurança no trânsito, houve uma divergência entre participantes a respeito do tipo de campanha mais adequado, pois foram relatadas opiniões que eram favoráveis a campanhas com impacto emocional maior, e outras a campanhas com um humor mais leve.

Tabela 7 – Depoimentos associados à mudança de comportamento por meio de campanhas

GRUPO FOCAL	DEPOIMENTO
CH	<i>(XVIII) "Olha eu acho que o ser humano não aprende no amor aprende na dor então tragédia toca mais."</i>
MAT	<i>(XIX) "Às vezes uma piada a pessoa lê e leva mais atenção do que uma coisa séria."</i>

## 5. CONCLUSÕES

As sessões de grupo focal realizadas permitiram identificar uma série de fatores comportamentais de três grupos distintos de condutores. Os condutores de aplicativo de transporte, devido à maior distância percorrida, relataram uma diversidade muito grande de situações. Por este motivo, podem ser considerados como uma categoria interessante de ser consultada quando da necessidade de entender o universo de situações de risco experimentadas no dia-a-dia de condução. Tanto para os condutores de aplicativo de carona quanto para os motoristas de aplicativo de transporte, a presença de passageiro tende a resultar em comportamentos mais seguros. No tocante aos condutores habituais, observou-se uma maior variedade de opiniões tendo em vista que representam uma categoria maior e, portanto, com opiniões e percepções mais diversas.



## AGRADECIMENTOS

Ao Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCTIC / CNPq N°. 28/2018 – Universal / Faixa A).

## REFERÊNCIAS

BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; et al. Naturalistic driving study in Brazil: An analysis of mobile phone use behavior while driving. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 17, p. 1–14, 2020.

HWANG, J.; LI, W.; STOUGH, L.; LEE, C.; TURNBULL, K. A focus group study on the potential of autonomous vehicles as a viable transportation option : Perspectives from people with disabilities and public transit agencies. **Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour**, v. 70, p. 260–274, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.03.007>>. .

IGARASHI, A.; BERNARDINIS, M. A. P.; MACEDO, M.; ROMÃO, M.; BASTOS, J. T. Motoristas de aplicativos de transporte: Análise comportamental utilizando grupo focal. **34º Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET**, 2020.

KESTER, J.; ZARAZUA, G.; RUBENS, D.; SOVACOOOL, B. K.; NOEL, L. Public perceptions of electric vehicles and vehicle-to-grid ( V2G ): Insights from a Nordic focus group study. **Transportation Research Part D**, v. 74, n. August, p. 277–293, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.006>>. .

KJÆR, T. A Review of the Discrete Choice Experiment - With Emphasis on its Application in Healthcare. **Health Economic Papers**, , n. 1, p. 1–139, 2005.

LI, J. Residential and transit decisions : Insights from focus groups of neighborhoods around transit stations. **Transport Policy**, v. 63, n. October 2017, p. 1–9, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.10.012>>. .

MORGAN, D. Focus groups. **Annual Review of Sociology**, p. 129–152, 1996.

SIMONS, D.; CLARYS, P.; BOURDEAUDHUIJ, I. DE; GEUS, B. DE. Why do young adults choose different transport modes ? A focus group study. **Transport Policy**, v. 36, p. 151–159, 2014. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.08.009>>. .

VALEIXO, G.; SUGUINOSHITA, M. C. **Fatores determinantes para o excesso de velocidade em vias arteriais urbanas**, 2020. Universidade Federal do Paraná.

---

# **EIXO TEMÁTICO: PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE TRANSPORTES**

---

**Relatórios de Pesquisa em Andamento**

---





# PROJETO E OPERAÇÃO DE ROTATÓRIAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

*Ana Paula Calliari<sup>1</sup>; Julia Micaela Balen<sup>2</sup>; Diego Fernandes Neris<sup>3</sup>*  
*<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes,*  
*anapcalliari@gmail.com, balenjulia@gmail.com, diego.neris@ufpr.br*

## RESUMO

Devido à falta de normatização ou indicações técnicas para projeto e operação de rotatórias no Brasil, algumas interseções desse tipo possuem problemas relacionados à infraestrutura e de operação, devido à falta de conhecimento da utilização da interseção pelos usuários, o que pode dificultar o processo de tomada de decisão dos motoristas. Esses problemas geralmente afetam as características de fluidez do tráfego e de segurança viária nas rotatórias. O objetivo desta pesquisa é executar um levantamento de dados de indicações técnicas existentes no Brasil e comparar com as de outros países, principalmente através da publicação “*Roundabouts: An Informational Guide*”, indicada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes como referência para informações complementares em projetos de rotatórias brasileiras. A metodologia da pesquisa se baseia em uma revisão bibliográfica sistemática em documentos oficiais, nacionais e internacionais, relativos ao projeto e à operação de rotatórias, verificando possíveis contradições e complementações, para que, ao final, seja elaborado um documento que possa servir de base para os futuros projetos de rotatórias e de orientação aos motoristas brasileiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rotatória, Interseção, Tráfego.

## 1. INTRODUÇÃO

As interseções urbanas são os pontos de gargalos logísticos no que se refere à fluidez e capacidade de tráfego, sendo a rotatória um dispositivo desenvolvido para minimizar os efeitos negativos em uma interseção, principalmente no tocante à segurança viária. As rotatórias simplificam o processo de tomada de decisão por parte dos motoristas, quando comparadas às interseções não semaforizadas, pois elas apresentam a simplicidade de uma interseção em “T” em vias com mais de três aproximações, além do fato de que todo o fluxo conflitante possui um único sentido de direcionamento (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2000).

No Brasil, são poucos os documentos normativos relativos a projetos e operações de rotatórias, sendo que a maioria deles cita apenas as questões básicas, tais como a prioridade na circulação de veículos e o cálculo de capacidade. O Manual de Projeto de Interseções, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), cita que para ademais



informações, deve-se procurar o documento norte-americano “*Roundabouts: An Informational Guide*” do *U.S. Department of Transportation*.

Os manuais norte-americanos são amplamente utilizados para pesquisas sobre tráfego em diversos países, porém, há a preocupação quanto à adaptação desses documentos para cada país, seja em relação à calibração de modelos ou em relação às diretrizes de projeto e operação. Para o primeiro problema, há diversos trabalhos acadêmicos sendo elaborados, que buscam inserir as condições brasileiras nas modelagens; já o segundo problema é o foco do projeto de pesquisa do qual esse trabalho faz parte.

### **1.1. Objetivo**

Elaborar uma revisão bibliográfica sistemática de manuais e diretrizes sobre projetos e operações de rotatórias, nacionais e internacionais, com a finalidade de verificar as características de planejamento e operação que são abordadas em cada local, assim como destacar possíveis diferenças.

### **1.2. Justificativa**

Ausência de indicações técnicas brasileiras no tocante aos projetos e operações de rotatórias, ocasionando diversas rotatórias com problemas de segurança viária, capacidade e fluidez.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

As rotatórias são dispositivos de interseção viária que têm sido amplamente utilizadas para a melhoria da fluidez e de segurança, especialmente em países europeus e norte-americanos (GUICHET, 2005; NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2007; FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2010; BRILON, 2011; GAZZARRI, 2012; VASCONCELOS, 2014). Em pequenos e médios fluxos de veículos, a rotatória possibilita um aumento na capacidade da interseção, reduz o número de pontos de conflitos e reduz a gravidade nas colisões (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2010, FORTES *et al.*, 2004, NERIS, 2018).

No Brasil, a utilização de rotatórias ainda é pequena e o tema é pouco abordado: não há normativa específica tanto para o dimensionamento quanto para a operação, apenas indicações de estudos estrangeiros (NERIS, 2018).



Os tipos de rotatórias são diversos, tanto na dimensão, variando de mini-rotatórias com uma única faixa de tráfego e diâmetros a partir de 13 metros, até rotatórias rodoviárias, com múltiplas faixas e diâmetro de até 91 metros (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2010), quanto na operação, com preferência para a via circular, as chamadas rotatórias modernas, ou com preferência para uma via principal, as chamadas rotatórias convencionais (DNIT, 2005). Independente da configuração utilizada, é necessário que o dispositivo cumpra a sua função de melhoria na fluidez e na segurança viária, mas precisa também ser de fácil compreensão por parte do usuário (NERIS, 2018).

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado um estudo sobre a metodologia de revisão bibliográfica sistemática. A revisão bibliográfica sistemática possui a finalidade de obter um texto de revisão mais organizado, a partir de publicações criteriosamente selecionadas. Em seguida, foi realizada uma análise do documento norte-americano “*Roundabouts: An Informational Guide*”, documento referência, segundo o DNIT (2005), para buscar informações sobre projeto e operação de rotatórias. A etapa atual é a coleta de textos científicos sobre projetos e operações de rotatórias, sempre verificando os documentos técnicos utilizados (normas e manuais). Por último será realizado um estudo de documentos (normas e manuais), nacionais e internacionais, e a comparação das características (de projeto e de operação) que são recomendadas por cada país e documento.

### 4. RESULTADOS ESPERADOS

O resultado esperado ao término deste trabalho, por ser a parte inicial de um projeto de pesquisa de 5 anos, é um documento-base para verificar o que é normatizado e indicado em diferentes países em relação ao projeto e operação de rotatórias para possíveis análises de rotatórias brasileiras, principalmente sobre as características citadas no documento “*Roundabouts: An Informational Guide*”.

### REFERÊNCIAS

BRILON, W. Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned. **3rd International TRB-Roundabout Conference**, Carmel: Transportation Research Board, 2011.



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto de interseções**. 2 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Roundabouts**: Na Informational Guide. McLean: U. S. Department of Transportation, 2000.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Roundabouts**: Na Informational Guide. 2ª Edição. McLean: U. S. Department of Transportation, 2010.

FORTES, F.Q.; BOSCHIERO, M, A, F.; BLASSIOLI, P, R, F.; FERRAZ, A, C, P. Interseções rodoviárias: passado, presente e futuro. **III Seminário de Segurança Rodoviária**. São Paulo: DER-SP, 2004.

GAZZARRI, A.; MARTELLO, M. T.; PRATELLI, A.; SOULEYRETTE, R. R. Estimation of *Gap* Acceptance Parameters for HCM 2010 roundabouts Capacity Model Applications. In: XVIII Urban Transport: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, **Anais do evento** , Southampton, 2012.

GUICHET, B. Evolution of Roundabouts in France and New Uses. In: National Roundabouts Conference, **Anais do evento**, Vail, 2005.

NERIS, D. F. **Análise de desempenho do tráfego em rotatórias com alto e desequilibrado fluxo de veículos empregando semáforos na via principal**. 2018. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. Roundabouts in the United States. **NCHRP Report 572**, Washington D. C: Transportation Research Board, 2007.

VASCONCELOS, A. L. P. **Análise do Desempenho Operacional de Rotundas: Modelos e Aplicações**. 2014. 269 f. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.



## ANÁLISE SOBRE A ABORDAGEM DA TEMÁTICA IMPACTOS SOCIAIS NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS CIVIS

*Luiz. G. Bernart<sup>1</sup>; Philippe. C. C. Arruda<sup>2</sup>; Rafael. T. Macan<sup>3</sup>; Márcia. A. P. Bernardinis<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup> Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Curitiba/PR, CEP 81530-900*

*luizbernart@gmail.com<sup>1</sup>; philippecesaris@gmail.com<sup>2</sup>; rafaelmacan@gmail.com<sup>3</sup>;  
profmarcia.map@gmail.com<sup>4</sup>*

### RESUMO

O engenheiro civil é um dos profissionais que tem como objetivo moldar e mudar a sociedade a qual ele está inserido (DAGNINO, 2008) e, para isso, entende-se que é necessário executar projetos utilizando conceitos da sustentabilidade. Esse termo, por sua vez, é fundamentada em três pilares: o econômico, o ambiental e o social. Nota-se, no entanto, certa negligência de investidores e profissionais da área quanto ao último pilar. Surge, então, a necessidade de avaliar e entender se as instituições de ensino estão falhando ao apresentar esse conceito em sala de aula. Para tanto, foram escolhidas as principais universidades de Curitiba que contemplam o curso em questão para a aplicação de questionários em alunos que estão cursando e egressos com o intuito de entender o quão envolvido o discente quer estar com o assunto e se o docente têm êxito em apresentar os impactos sociais que uma obra pode causar, e ainda dos egressos entender se o tema o ajudou ou poderia ter sido melhor trabalhado em aula, de forma que se sentisse capaz de contornar problemas relacionados ao impacto social propriamente dito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, Impacto social, Desenvolvimento, Engenharia Social

### 1. INTRODUÇÃO

As obras de engenharia, independente do porte, sempre geram impactos no cotidiano e na vida das pessoas, podendo ser positivos ou negativos. Esses impactos são, em geral, econômicos, ambientais e sociais que, se bem gerenciados, formam o conceito de sustentabilidade (CORREA, 2009).

O termo sustentabilidade é um conceito muito utilizado em diversas áreas, inclusive na construção civil, afinal, tem-se no engenheiro a ideia de um profissional capaz de criar um produto que apresente, concomitantemente, aspectos que minimizem a agressão ao meio ambiente, que seja economicamente viável e gere lucro e, ainda, que acarrete em ganhos à comunidade que ele está inserido, seja gerando empregos, qualificando mão-de-obra ou até agregando valor a determinada região.

Visto a importância do tema, manifesta-se a necessidade de avaliação de como ocorre a abordagem do tema dentro das instituições de ensino e se o método utilizado hoje satisfaz no que se almeja em um profissional da engenharia civil.



Diante disso, o presente artigo visa investigar e avaliar de que maneira ocorre a tratativa de impactos sociais nas principais instituições de ensino da cidade de Curitiba (PR), nos cursos de engenharia civil, e como a formação do profissional, no âmbito acadêmico, o prepara para lidar com questões dessa natureza de forma positiva.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O termo sustentabilidade recebe cada vez mais destaque na sociedade e envolve profissionais de diversas áreas, que buscam atender às necessidades da vida humana e ao mesmo tempo preservar a biodiversidade, o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas. O objetivo é proporcionar o desenvolvimento socioeconômico, por meio de métodos e processos que possibilitem a redução dos impactos em todas as partes envolvidas. (MOTTA; AGUILAR, 2009).

O setor da construção civil é um dos mais significativos na parcela da economia brasileira e apresenta alto consumo de materiais, emissão de gases, usos da energia e água. No entanto, há um novo panorama sendo implementado, com a tendência do crescimento da construção sustentável no país. (AFONSO e COL., 2014).

Desse modo, espera-se que o propósito da construção seja obter edificações mais sustentáveis de acordo com o local onde está inclusa, levando em consideração a trilogia dos 3 R's (Reuso, Reutilizar e Reciclar), além de buscar desenvolvimento tecnológico com a intenção de se alcançar uma estrutura sustentável que atenda as necessidades fundamentais dos seres humanos, com a determinação de preservar os recursos naturais renováveis e de baixo custo (CORRÊA, 2009).

Quesitos ambientais e econômicos são fáceis de entender, porém quando trata-se do pilar social da sustentabilidade, até o profissional tem dificuldade para entender o conceito. O impacto social pode vir de maneira mais explícita, com o desalojamento de certa região e seus habitantes ou pode vir de maneira menos impactante, com interferência na paisagem urbana e nos patrimônios naturais e culturais. (SPADOTTO e COL., 2011).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019), no início do ano de 2019, a construção civil foi responsável por 22% do PIB da indústria nacional, e pela ocupação de quase 7 milhões de pessoas em todo o país. Todavia, o país demonstrou um déficit de 7,7 milhões de moradias. Com números elevados, tais atividades



representam alta capacidade de emprego e renda, porém ainda persiste um grau elevado da necessidade do desenvolvimento social no setor.

### 3. METODOLOGIA

A estrutura metodológica aplicada à essa pesquisa se desenvolve a partir das seguintes etapas: i) Limitação do estudo; ii) Método investigativo; iii) Elaboração e aplicação dos questionários e das entrevistas.

i) Limitação do estudo: a limitação de abrangência da pesquisa em Curitiba foi determinada a partir de reuniões entre os autores junto à orientadora do trabalho. Assim foi feita uma análise de quais instituições que possuem o curso de Engenharia Civil que seriam mais adequadas para a pesquisa, levando em consideração facilidade de acesso aos dados e a relevância dela em Curitiba, então, foi determinado realizar o estudo com a Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR); Universidade Positivo (UP); Centro Universitário Curitiba (UNICURITIBA). A partir disso, foi feito contato com os coordenadores do curso de engenharia civil das respectivas universidades, com o intuito de obter autorização para incluir tais instituições no estudo.

ii) Método investigativo: com relação à obtenção de informações, optou-se pela pesquisa quanti-qualitativa. Nesta etapa duas técnicas foram utilizadas. Primeiro o questionário, a elaboração destes para alunos recém-formados e egressos. Segundo, a técnica da entrevista, com um profissional de engenharia civil e com um professor da UFPR que leciona a disciplina de Engenharia Social para o curso de engenharia civil. Esses foram elaborados através da ferramenta “Formulários” do Google.

iii) Aplicação dos questionários e das entrevistas: Os formulários foram divulgados por diferentes meios, tais como grupos no aplicativo de mensagens Whatsapp e grupos de email das coordenações dos cursos de engenharia civil das universidades devidamente selecionadas. Quanto às entrevistas, em virtude do momento de isolamento social provocado pela pandemia da COVID-19, optou-se por realizar as entrevistas de maneira virtual, por meio de chamadas de vídeos, de maneira que, as conversas fossem gravadas para depois inserir as informações obtidas, no trabalho.



Visto isso, espera-se que ao findar dessa pesquisa seja possível identificar as necessidades de aprimoração do processo de ensino-aprendizagem na questão social de acordo com as futuras necessidades profissionais dos estudantes das instituições universitárias de Curitiba selecionadas.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, P. P., RIBEIRO, F. A. B. S., SOUZA, L. H. F. S., CUNHA, D. A. I. **Sustentabilidade ambiental no setor da construção civil: comparação das medidas adotadas por construtoras do município de Uberlândia, MG.** V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2014.

BARBISAN, A. O., SPADOTTO, A., DALLA NORA, D., LOPES TURELLA, E. C., & DE WERGENES, T. N. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** Unoesc & Ciência - ACSA, 2(2), 173-180, 2012.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Estímulo à Construção resulta em impacto social positivo para o País.** 2018. Disponível em: < <https://cbic.org.br/estimulo-a-construcao-resulta-em-impacto-social-positivo-para-o-pais/>>. Acesso em 05 de jul. 2020.

CORRÊA, R. L. **Sustentabilidade na Construção Civil.** Monografia, Escola de Engenharia da Universidade federal de Minas Gerais, 2009.

DAGNINO, R., & NOVAES, H. T. **O papel do engenheiro na sociedade.** Revista Tecnologia e Sociedade, 2008.

MOTTA, S. F. R., & AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade E Processos De Projetos De Edificações.** Gestão & Tecnologia De Projetos, 2009.

---

**EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES  
SUSTENTÁVEIS**

---

**Artigos Completos**

---





## **EQUIPAMENTOS URBANOS E A MOBILIDADE REDUZIDA: Um Estudo no Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier**

*Helena P. Schulze<sup>1</sup>; Márcia A. P. Bernardinis<sup>2</sup> Fernanda G. Goes<sup>3</sup>*

*<sup>1,3</sup> Graduada de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, helenapaulineschulze@gmail.com<sup>1</sup>, fernandagomesgoes@gmail.com<sup>2</sup>*

*<sup>2</sup> Professora do Magistério Superior do Departamento de Transportes da Universidade Federal do Paraná, profmarcia.map@gmail.com*

### **RESUMO**

A mobilidade a pé é uma das mais importantes para os deslocamentos dentro das cidades, contabilizando 43% das viagens, em conjunto com os ciclistas (ANTP, 2020). Pessoas com mobilidade reduzida possuem grandes dificuldades em realizar deslocamentos, uma vez que as calçadas, em boa parte das cidades não estão adequadas. Segundo o estudo realizado pela Mobilize Brasil (2019), as calçadas do país levam nota 5,71 de 10. É necessário então prover meios de avaliação das calçadas, para regularização delas. Além disso, sabe-se que dentre os métodos de avaliações existentes, poucos englobam as necessidades de pessoas com mobilidade reduzida. Diante desta problemática, o presente artigo tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação focada nas necessidades de pessoas com mobilidade reduzida, com uma ponderação feita a partir de uma avaliação de percepção por parte destes usuários. Foi realizada uma aplicação no Centro Hospitalar Ana Carolina Moura Xavier, para validação do método. O hospital obteve nível de serviço E, com condições ruins para o usuário, por muitos dos indicadores estarem em péssimas condições de uso, recebendo nota 0. Apenas o indicador grelhas ou juntas de dilatação recebeu nota máxima, entre os 13 avaliados. O estudo se mostrou eficiente na avaliação da situação das calçadas podendo ser uma boa ferramenta para o poder público.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acessibilidade, avaliação de calçadas, mobilidade urbana sustentável.

### **ABSTRACT**

*The pedestrian mobility is one of the most important for the displacements inside the city, computing 43% of the journeys, together with the bicycling (ANTP, 2020). Persons with reduced mobility have extensive difficulties in realizing displacements, once the sidewalks, in many cities, are not appropriate. According to a study conducted by Mobilize Brasil (2019), the sidewalks of the country receive a rating of 5.71 of 10. It will be necessary than to provide methods of sidewalks evaluation, for their regularization. Beside that, its known that between the sidewalks evaluations found, a few encompass the needs of persons with reduced mobility. The present study had as an objective the development of an evaluation methodology focused on the needs of persons with reduced mobility, with a weighting based on a perception evaluation from part of this users. It was relized an appliance on the Centro Hospitalar Ana Carolina Moura Xavier, for the method's validation. The hospital got a level of service E, with bad conditions for the user, since most of the indicators were in terrible condition, receiving rate 0. Only the indicator of grids or expansion joints received the best rate, between the 13 evaluated. The study has proven efficient in the sidewalk evaluation, and could be a good instrument for the public authorities.*

**KEYWORDS:** *Acessibility, sidewalks evaluations, sustaintable urban mobility.*



## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que atualmente a mobilidade urbana está sendo cada vez mais falada e estudada, dada sua grande importância para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis. Desde a aprovação da Lei nº 12.587 de 2012, os municípios com mais de 20 mil habitantes têm a obrigação de planejar e executar políticas de mobilidade urbana, estabelecido pelo Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257 de 2001), focando no transporte não motorizado e transporte público. Além disso, a Lei prioriza o pedestre, cadeirantes e ciclistas. Os municípios tinham até 2015 para se adequar a nova lei e planejar sua mobilidade urbana. Devido ao fato de poucas cidades aderirem ao plano, o prazo foi estendido para abril de 2019, e mais uma vez estendido, para abril de 2021. Além disso, a Medida Provisória incluiu as regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e Regiões Integradas de Desenvolvimento Econômicos (Rides) na lista de cidades que devem produzir o documento. Dados da Secretaria Nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos mostram que, até setembro de 2019, 834 municípios (que representam cerca de 38% do total) declararam possuir ou estar no processo de elaboração do Plano de Mobilidade Urbana (MDR, 2019). O reflexo destes dados é a má qualidade da infraestrutura para a mobilidade na cidade, principalmente para o modo a pé e à bicicleta. A campanha Calçadas Brasil, realizada em 2019 pela Mobilize Brasil, mostrou que a média da qualidade de calçadas no Brasil é de 5,71 de 10, avaliando aspectos como inclinação transversal das calçadas, barreiras e obstáculos, regularidade do piso etc.

A mobilidade a pé é o meio de deslocamento mais antigo, tendo grande importância em todos os períodos da história. Qualquer deslocamento necessita, em algum momento, ser a pé, para ser completado. Segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos (2020), um estudo realizado em 2017 mostra que as viagens realizadas a pé e de bicicleta representam 43% das viagens, elevando-se com a diminuição do tamanho do município – de 37% para 51%. Fica clara a necessidade de investimento em infraestrutura para pedestres, além da garantia de qualidade, principalmente visando a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida.

Segundo levantamento do Censo 2010, apenas 4,7% das vias urbanas em todo Brasil possuem rebaixos de calçada. Cabe ressaltar que pelo Estatuto da Pessoa com Deficiência, que alterou o Estatuto das Cidades, diz que "compete à União promover, por iniciativa



própria e em conjunto com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, programas de construção e melhoria das calçadas, dos passeios públicos, do mobiliário urbano e dos demais espaços de uso público.”

Quando trata-se de mobilidade reduzida, segundo a Lei 13.146 de 2015, são consideradas pessoas com mobilidade reduzida: “aquela que tenha, por qualquer motivo, dificuldade de movimentação, permanente ou temporário, gerando redução efetiva na mobilidade, da flexibilidade, da coordenação motora ou da percepção, incluindo idoso, gestante, lactante, pessoa com criança de colo, obeso”. Dados do IBGE de 2013 mostram que 6,2% da população brasileira sofre de alguma deficiência. Em relação à deficiência visual, 3,6% dos brasileiros tem sua visão comprometida ou parcialmente comprometida, e dentro deste grupo, 16% sofre de limitações severas, impossibilitando atividades rotineiras, como se deslocar. Deficientes físicos representam 1,3% da população, e quase metade, 46,8%, sofre de condições intensas ou muito intensas. Outros afetados pela falta de mobilidade são os idosos, que no total, representam 207,1 milhões de habitantes, ou seja, 14,6%.

Tais grupos sofrem, além de terem a mobilidade reduzida terem dificuldades em realizar atividades do dia-a-dia, como o simples direito de ir e vir. Superfícies irregulares são prejudiciais para cadeirantes e pessoas de muletas. A falta de rampas também é muito prejudicial, pois impede o acesso de cadeirantes. Projetos mal elaborados ou mal executados criam barreiras arquitetônicas e urbanísticas, dificultando a locomoção (GARCIA, 2013).

Assim, diante do cenário apresentado, este artigo tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de calçadas que englobe as necessidades de pessoas com mobilidade reduzida, com duas avaliações: uma técnica, e outra de percepção, a partir da visão do usuário.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Mobilidade urbana sustentável, acessibilidade e pessoas com mobilidade reduzida**

A acessibilidade está muito ligada a mobilidade urbana sustentável. Segundo Black et al. (2002), entende-se por mobilidade urbana sustentável a facilidade de acesso de todos os habitantes da área urbana, de forma a proteger o meio ambiente, patrimônio histórico e



cultural e ecossistemas. Entende-se por acessibilidade a garantia de acesso de um indivíduo ao centro urbano, tendo autonomia em seu trajeto, tendo os equipamentos necessários e facilidade de deslocamento, prezando pela menor distância e tempo (BRASIL, 2007). Segundo a NBR 9050/2004, define-se acessibilidade como “Possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos”.

A acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida é garantida atualmente pela Lei da Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146 de 2015), além de leis anteriores. A lei exige adequação das cidades, seguindo os princípios do desenho universal, de acordo com a norma vigente de acessibilidade. A norma vigente é a NBR 9050/2004, que tem como objetivo estabelecer parâmetros técnicos para as condições de acessibilidade, prezando pela autonomia e segurança dos usuários.

Algumas referências mais recentes já incluem a estrutura necessária para deficientes visuais e cadeirantes como indicadores. Cerna (2014) considerou a existência e conservação do rebaixo da calçada e a sinalização tátil de alerta ao longo do meio fio, no local de ponto de ônibus.

## **2.2. Histórico da avaliação de calçadas**

O foco em cidades mais sustentáveis fez com que transportes e a mobilidade sejam alvos de estudos. Ao longo dos últimos anos diversas metodologias de avaliação da qualidade de calçadas e índices de caminhabilidade vem sendo desenvolvidas. As primeiras pesquisas realizadas, como em Fruin (1971), possuíam indicadores puramente quantitativos, como: fluxo, densidade e velocidade; que não auxiliavam muito em problemas pontuais. Foi percebido então, que são necessários aspectos qualitativos na avaliação de calçadas, por serem muito complexas (FRUIN, 1971).

Sendo assim, os níveis de serviço foram incluídos, como iluminação pública e atratividade do ambiente. Porém, as metodologias ainda tinham como função serem usados em modelos de escolha modal e eram realizadas apenas por técnicos (FERREIRA E SANCHES, 2001). Entretanto, vendo tais dificuldades para uma avaliação adequada, Ferreira e Sanches (2001) desenvolveram o Índice de Qualidade de Calçadas (IQC), analisando aspectos qualitativos e quantitativos, sendo a ponderação dos indicadores pelos próprios usuários.



Diversas pesquisas subsequentes aprimoraram e criaram novos índices, como é o caso de Cavalaro, De Angelis e Lemos (2013), que através das recomendações propostas por Ferreira e Sanches (2001), desenvolveram um índice que também avalia a percepção do usuário. Porém a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida ainda é pouco abordada ou desprezada, principalmente quando se trata da visão do usuário.

Em 2013 foi criado o método Calçadas Brasil (MOBILIZE, 2013), com o intuito de avaliar a utilização das calçadas por pessoas com alguma limitação, abordando largura da calçada e presença de obstáculos, por exemplo. Bernardinis et al. (2018) desenvolveram um método para avaliar a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida, considerando como indicadores a faixa de pedestres, rampa, vaga para deficientes, vaga para idosos e piso tátil. Nota-se que mesmo com muitos estudos sendo realizados com o tema de qualidade de calçadas e caminhabilidade, ainda há poucos indicadores avaliando especificamente a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Determinação dos Indicadores e área de estudo

Foram selecionados alguns indicadores já existentes para o desenvolvimento do trabalho, que podem ser vistos na Tabela 6. A escolha foi feita analisando a importância de determinado indicador para a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida, ou seja, se interferem na caminhabilidade dessas pessoas.

Tabela 6 - Indicadores selecionados de acordo com a revisão bibliográfica.

<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>	<b>Referências</b>
Iluminação pública	Nível de luminância do ponto mais escuro da calçada no período noturno	Bradshaw (1993), Khisty (1994), Sarkar (1995), Dixon (1996), Ferreira e Sanches (2001), Keppe Junior (2007), Park (2008), Mobilize (2013), Cerna (2014), Gehl (2015), ITDP (2016), Prado (2016), Pires e Magagnin (2018)
Largura efetiva da calçada	Largura da calçada	Bradshaw (1993), Sarkar (1995), Dixon (1996), Gallin (2001), Landis et al. (2001), Ferreira e Sanches (2001), Keppe Junior (2007), Park (2008), Hall (2010), Mobilize (2013), Cerna (2014), Gehl (2015), NBR 9050 (2015), ITDP (2016), Prado (2016), Nanya (2016), WRI Brasil (2017), Pires e Magagnin (2018)



<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>	<b>Referências</b>
Condição da superfície	Porcentagem da superfície da calçada da face de quadra com defeitos	Bradshaw (1993), Khisty (1994), Sarkar (1995), Dixon (1996), Gallin (2001), Ferreira e Sanches (2001), Keppe Junior (2007), Hall (2010), Mobilize (2013), Cerna (2014), Gehl (2015), ITDP (2016), Prado (2016), Nanya (2016), WRI Brasil (2017), Pires e Magagnin (2018)
Rebaixo de calçada	Se há rebaixos de calçada dos dois lados da intersecção, se estão alinhados entre si e junto à faixa de pedestre	Khisty (1994), Sarkar (1995), Muraleetharan et al. (2004), Keppe Junior (2007), Park (2008), Mobilize (2013), Cerna (2014), Gehl (2015), NBR 9050 (2015), Prado (2016), Nanya (2016), WRI Brasil (2017), Pires e Magagnin (2018)
Presença de piso tátil de alerta nos rebaixos de calçada	Presença de piso tátil de alerta nos dois rebaixos de calçada da intersecção	Sarkar (1995), Park (2008), NBR 9050 (2015), Prado (2016), Nanya (2016), Pires e Magagnin (2018)
Visão da aproximação de veículos	Avalia a visibilidade na esquina das duas faces de quadra da intersecção	Keppe Junior (2007); Prado (2016); Nanya (2016); Pires e Magagnin (2018).
Piso tátil direcional	Existência de piso tátil em todo o percurso	Bernardinis et al. (2018)
Vagas com espaço adicional	Vagas para carros com espaço adicional e associadas a rampas de acesso	Bernardinis et al. (2018)

Fonte: Adaptado de Pires e Magagnin (2018).

Visto que os indicadores já existentes não são suficientes para avaliar a qualidade de calçadas para pessoas com mobilidade reduzida, o trabalho traz novos indicadores para suprir tais necessidades. Tais indicadores foram baseados na norma de acessibilidade, NBR 9050 de 2004. São eles: piso tátil em entradas e saídas, grelhas e juntas de dilatação, rampas ou transporte vertical, qualidade das rampas e tempo para travessia.

Cada indicador será avaliado de acordo com o desempenho em uma nota de 0 a 2, sendo 0 a nota para o pior cenário do indicador – inexistência, defeitos que impossibilitam uso, a nota 1 para um cenário intermediário, e 2 para indicadores em perfeitas condições. Aqui deve-se atentar que para fórmula da nota total divide-se por 2 para normalizar os resultados.

O formulário foi aplicado em um equipamento urbano, dada sua importância para a mobilidade urbana e acessibilidade, o Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier (Figura 1), localizado em Curitiba. Este equipamento urbano tem grande importância, tendo pacientes de diversos estados, e até países, além de atender como foco, pessoas com mobilidade reduzida.

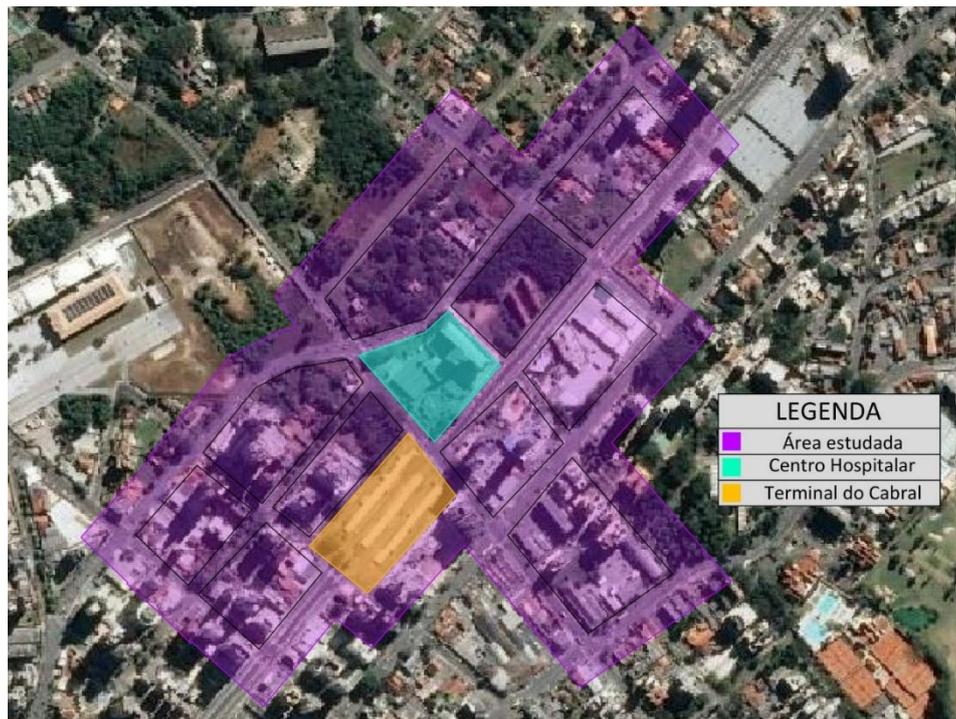


Figura 17 - Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier.

Fonte: As autoras (2019).

Foi realizada uma avaliação técnica apenas no entorno, por se tratar de um estudo de avaliação de calçadas, duas quadras além da área estudada, pois viu-se que com tal raio já seria possível observar a realidade da caminhabilidade da região.

### 3.2. Poderação dos Indicadores

Para incluir a percepção do usuário, foi desenvolvido o formulário aplicado no Centro Hospitalar. No formulário, foi pedido para escolher entre os indicadores, quais são os mais importantes e se identificar ou não como pessoa com mobilidade. Foram criados subgrupos – sinalização, acesso, caminhabilidade e segurança; para facilitar o entendimento e escolha do usuário. Exemplo da segunda parte do formulário está na Figura 18.

<b>PERCEPÇÃO DO USUÁRIO</b>	
Enumere, de 1 a 3, sendo 1 o mais importante, o 2 o segundo mais importante, sucessivamente até chegar ao 3, menos importante, dentro do tema sinalização:	
<input type="checkbox"/>	Presença de piso tátil de alerta nos dois lados da calçada em uma travessia
<input type="checkbox"/>	Existência de piso tátil em todo o percurso
<input type="checkbox"/>	Presença de piso tátil em entradas e saídas de equipamentos urbanos
Enumere, de 1 a 3, sendo 1 o mais importante, o 2 o segundo mais importante, sucessivamente até chegar ao 3, menos importante, dentro do tema acesso:	
<input type="checkbox"/>	Presença de rampas ou elevadores junto de escadas
<input type="checkbox"/>	Rampas confortáveis, com inclinação suave
<input type="checkbox"/>	Vagas para carros com espaço adicional e asfalto de rampas de acesso
Enumere, de 1 a 3, sendo 1 o mais importante, o 2 o segundo mais importante, sucessivamente até chegar ao 3, menos importante, dentro do tema caminhabilidade:	
<input type="checkbox"/>	Calçada larga o suficiente para acomodar o número de pedestres, sem obstáculos
<input type="checkbox"/>	Calçada regular, sem buracos ou outros defeitos
<input type="checkbox"/>	Posição de grelhas e juntas de dilatação, fora da passagem de pedestres
Enumere, de 1 a 4, sendo 1 o mais importante, o 2 o segundo mais importante, sucessivamente até chegar ao 4, menos importante, dentro do tema segurança:	
<input type="checkbox"/>	Iluminação pública
<input type="checkbox"/>	Existência de rebaixos dos dois lados da rua para travessia de pedestres
<input type="checkbox"/>	Tempo adequado para a travessia na faixa de pedestres
<input type="checkbox"/>	Visibilidade dos carros ao atravessar a rua

Figura 18 - Formulário de percepção do usuário.

Fonte: As autoras (2019).

### 3.3. Índice de Qualidade de Calçadas para Mobilidade Reduzida - IMR

Para a realização da avaliação final, foi desenvolvida uma fórmula que relaciona as notas dadas aos indicadores tanto na avaliação técnica quanto na avaliação de percepção do usuário, conforme equação (1).

$$IMR = \frac{\sum(p_n \times N_n)}{2} \quad (1)$$

Onde:

IMR: Índice de qualidade de calçadas para mobilidade reduzida.

P<sub>n</sub>: Ponderação do indicador avaliado.

N<sub>n</sub>: Nota do indicador avaliado.



#### 4. RESULTADOS

Na avaliação técnica, os piores indicadores avaliados no entorno foram: condição de superfície, visão da aproximação de veículos, piso tátil direcional, piso tátil em entradas e saídas, rampas ou transporte vertical, qualidade das rampas e tempo de travessia. O único indicador que recebeu nota máxima foi grelhas e juntas de dilatação. Os outros indicadores estavam em estado intermediário.

Em relação à avaliação de percepção, foram 89 formulários respondidos, todos por pessoas que se identificaram com mobilidade reduzida. A partir de tais respostas foi possível realizar a ponderação dos indicadores. A partir dessa avaliação, notou-se que os principais indicadores para os usuários do estudo são: grelhas e juntas de dilatação, piso tátil em entradas e saídas e vaga com espaço adicional. Os indicadores menos importantes são: iluminação pública e rebaixos de calçada.

Os resultados, tanto da avaliação técnica, quanto da avaliação de percepção, foram reunidos na Tabela 7 – Ponderação dos indicadores..

Tabela 7 – Ponderação dos indicadores.

<b>Indicador</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Nota Atribuída</b>
Iluminação pública	0,521	1
Rebaixo de calçada	0,583	1
Visão da aproximação de veículos	0,693	0
Tempo para travessia	0,703	0
Presença de piso tátil de alerta nos rebaixos de calçada	0,725	1
Largura efetiva da calçada	0,753	1
Condição da superfície	0,786	0
Rampas ou transporte vertical	0,786	0
Qualidade das rampas	0,818	0
Piso tátil direcional	0,875	0
Vagas com espaço adicional	0,896	1
Piso tátil em entradas e saídas	0,900	0
Grelhas e juntas de dilatação	0,961	2

Fonte: As autoras (2019).

Na Figura 19 é possível observar como o hospital está localizado em uma rua bastante inclinada, conferindo nota 0 para o indicador qualidade de rampas. Também observa-se que há trechos da calçada em petit pavê, acabamento que prejudica a caminhabilidade.



Figura 19 – Fotos do Centro Hospitalar.

Fonte: Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier e Mario Vitorino (2020).

Para a avaliação final, foram definidos níveis de serviço a partir da variação do IMR, que pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação entre o índice de qualidade e nível de serviço.

<b>Índice de Qualidade</b>	<b>Condição</b>	<b>Nível de Serviço</b>
10	Excelente	A
8,0 a 9,9	Ótimo	B
6,0 a 7,9	Bom	C
4,0 a 5,9	Regular	D
2,0 a 3,9	Ruim	E
0 a 1,9	Péssimo	F

Fonte: Adaptado de Ferreira e Sanches (2001).

## 5. CONCLUSÕES

Com o presente estudo, buscou-se desenvolver e validar uma metodologia de avaliação de calçadas focada nas necessidades de pessoas com mobilidade reduzida. A partir do realizado, é possível que o IMR seja uma ferramenta para o poder público avaliar regiões de interesse e, a partir das notas dadas, entender o nível de serviço entregue e como melhorá-lo.

O Centro Hospitalar recebeu um IMR de 2,7, estando dentro do nível de serviço E, com uma condição ruim para o usuário. Cabe ressaltar que o Centro Hospitalar se encontra em um local de grande declividade, com greide de quase 30% (segundo estudo feito pelo Comitê de Acessibilidade), as calçadas são de paralelepípedos e não existem semáforos de pedestres nas travessias, nem mesmo nas saídas do terminal. Para pessoas com mobilidade reduzida, principais pacientes do Centro Hospitalar, tais características podem prejudicar, ou até inviabilizar, a chegada ao hospital. Entende-se a busca do Comitê de Acessibilidade



do hospital pela rota acessível, e espera-se que o presente estudo auxilie na realização das adequações.

Para próximos estudos, observou-se a necessidade de avaliar os tipos de pavimento da calçada e como afetam as diferentes necessidades de cada pessoa com mobilidade reduzida, e quando há a necessidade de piso tátil. Além disso, buscar saber mais sobre os deslocamentos dos usuários: de onde vem, como se deslocam – transporte público, veículo particular, a pé.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à professora Márcia de Andrade Pereira Bernardinis pela orientação e apoio no desenvolvimento da pesquisa. Também agradecem ao Centro Hospitalar de Reabilitação Ana Carolina Moura Xavier, especialmente ao senhor Irajá de Brito Vaz, chefia do CEPDH, pelo acolhimento nas visitas ao hospital e ajuda com a aplicação dos formulários de percepção, permitindo a participação na reunião do Comitê de Acessibilidade. Além disso, agradecem ao senhor Ricardo Mesquita, arquiteto que vem lutando pela rota acessível ao hospital, e que apoiou o desenvolvimento desse estudo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. (2020). **Relatório geral 2017**. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp--2017.pdf>>. Acesso em 14 Abr 2020.

BERNARDINIS, M. A. P., et al. **Um olhar sobre o caminhar: Condições de acessibilidade no campus Centro Politécnico da Univesidade Federal do Paraná**. 87 f. Relatório técnico – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BLACK, J. A., et al. (2002). **Sustainable urban transportation: performance indicators and some analytical approaches**. Journal of Urban Planning and Development, v.128, n. 4, pp. 184-209.

BRASIL. (2001). **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto das Cidades. Brasília.

BRASIL. (2012). **Lei 12.587, de 03 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília.



- BRASIL. (2015). **Lei 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília.
- BRASIL. **Ministério das Cidades**. 2007. Construindo uma Cidade Acessível. Caderno 2, Brasília, pp.19.
- CAVALARO, J.; DE ANGELIS, B. L. D.; LEMOS, S. **Nível de serviço e qualidade das calçadas**. In: II SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: a dinâmica das cidades e a produção do espaço, 2013, Campo Mourão. Anais [...]. Campo Mourão: Universidade Estadual do Paraná, 2013.
- CERNA, N. S. S. (2014). **Contribuição para modelagem de um sistema de avaliação da qualidade dos elementos de infraestrutura de mobilidade urbana**. Brasília, 176 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Transporte. Universidade de Brasília.
- FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. (2001). **Índice de qualidade das calçadas – IQC**. Revista dos Transportes Públicos, São Paulo, v. 01, n. 91, pp. 47-60.
- FRUIN, J. J. (1971). **Designing for pedestrians: a level-of-service concept**. Transportation Research Record 355, Transportation Research Board.
- GARCIA, V. (2013). **O que significa acessibilidade**. Deficiente Ciente: o blog da inclusão e cidadania. Disponível em: <<https://www.deficienteciente.com.br/o-que-significa-acessibilidade.html>>. Acesso em 14 Abr 2020.
- IBGE (2010). **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012
- IBGE. (2013). **Pesquisa Nacional de Saúde 2013 – Ciclos de vida**. IBGE, Coordenação do Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). (2019). **Municípios podem elaborar Planos de Mobilidade Urbana até abril de 2021**. Disponível em: <<https://www.mdr.gov.br/ultimas-noticias/12443-municipios-podem-elaborar-planos-de-mobilidade-urbana-ate-abril-de-2021>>. Acesso em 14 Abr 2020.
- MOBILIZE BRASIL. (2013). **Relatório final da campanha e estudo realizado pelo Mobilize Brasil**. Disponível em <<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/relatorio-calcadas-do-brasil---jan-2013pdf1.pdf>>. Acesso em 12 Mar 2019.
- MOBILIZE BRASIL. (2019). **Relatório final: Campanha 2019**. Disponível em <[https://www.mobilize.org.br/Midias/Campanhas/Calcadas-2019/relatorio-final\\_v2.pdf](https://www.mobilize.org.br/Midias/Campanhas/Calcadas-2019/relatorio-final_v2.pdf)>. Acesso em 14 Abr 2020.
- PIRES, I. B.; MAGAGNIN, R. C. (2018). **Elaboração de índice de caminhabilidade sob a percepção de especialistas**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 06, n. 38, pp. 44-59.



## ANÁLISE DO ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE NO CENTRO DA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL, RS

*Caroline Castilhos Rezende<sup>1</sup>; Rafael do Nascimento e Silva<sup>2</sup>; Anelise Schmitz<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> *Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul*

<sup>3</sup> *Departamento de Transportes, Universidade Federal do Paraná*

<sup>1</sup>*carol.rezende96@gmail.com*, <sup>2</sup>*r.donascimentosilva@gmail.com*,  
<sup>3</sup>*anelise.schmitz@gmail.com*

### RESUMO

A busca por medidas que contribuam com a melhoria da qualidade de vida nas cidades, juntamente com questões de habitabilidade e meio ambiente, é um dos objetivos da sustentabilidade urbana. Por sua vez, cidades caminháveis geram inúmeros benefícios e a determinação do índice de caminhabilidade proporciona uma análise crítica do meio e a busca por melhorias, incentivando mais pessoas a adotar meios ativos de deslocamento. Este trabalho objetiva a aplicação do Índice de Caminhabilidade - iCam2.0 para determinar e avaliar o índice de caminhabilidade no centro da cidade de Cachoeira do Sul, RS. Coletaram-se os dados em campo e em ferramentas do Instituto de Políticas de Transportes e Desenvolvimento (ITDP), objetivando avaliar os 15 indicadores, distribuídos em 6 categorias, relacionando a interação das pessoas com o ambiente urbano. Além disso, foram propostas sugestões de eventuais medidas mitigatórias. Os resultados dos indicadores variaram de insuficiente a bom, sendo os mais críticos: travessias, uso público diurno e noturno, iluminação e fluxo de pedestres. Contudo, ao analisar os indicadores para todos os trechos estudados, o índice de caminhabilidade da área é de 1,22, considerado suficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade, sustentabilidade, caminhabilidade, meios ativos.

### ABSTRACT

*The search for contributions to improve the quality of life in cities, attributed to issues of habitability and the environment, is one of the objectives of urban sustainability. In turn, walkable cities generate numerous benefits and the determination of the walkability index provides a critical analysis of the environment and the search for improvements, encouraging more people to adopt an active transportation. This work aims to apply the iCam 2.0 Walkability indicator to determine and evaluate the walkability index in the downtown of Cachoeira do Sul, RS. Data were collected in the field and from tools of the Institute of Transport and Development Policies (ITDP) aiming to evaluate the 15 indicators, distributed in 6 categories, relating the interaction of people with the urban environment. Besides that, possible mitigation measures have been suggested. The results of the indicators ranged from insufficient to good, the most critical being: crossings, day and night public use, lighting and pedestrian flow. However, when analyzing the indicators for all the streets studied, the walkability index of the area is 1.22, which is considered sufficient.*

**KEYWORDS:** Quality, sustainability, walkability, active transportation.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o processo de urbanização e o crescimento acelerado do uso de transportes motorizados, impactos negativos urbanos e ambientais foram gerados (OLIVEN, 2010). O



aumento de níveis de congestionamentos, a sustentabilidade e os prejuízos do sedentarismo levaram diversos autores, como Aguiar (2012), a constatar a importância do incentivo às viagens a pé para os deslocamentos nas áreas urbanas. Daros (2000) reconhece a relevância de se ter fatores positivos no ambiente urbano que induzam os pedestres a caminhar, assim como os riscos, se estes fatores forem negativos. Esses fatores urbanos, que influenciam ou não as pessoas a se locomover a pé, são chamados de caminhabilidade (VARGAS, 2015).

A forma como as cidades são planejadas, projetadas e construídas interfere direta e significativamente na escolha do modo de transporte a ser utilizado (VARGAS, 2015). Visando a qualidade dos espaços urbanos e do meio ambiente, é importante determinar, analisar e avaliar o índice de caminhabilidade, para que se possa encontrar as deficiências na infraestrutura e na segurança pública e viária das calçadas e cruzamentos (ITDP BRASIL, 2018). Segundo dados da Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP (2016), a quantidade de viagens a pé no país é dominante, demonstrando a importância de analisar a qualidade de espaços urbanos sob o ponto de vista do pedestre, assim como investimentos em infraestrutura urbana.

No presente trabalho buscou-se determinar e avaliar o índice de caminhabilidade da região central de Cachoeira do Sul – RS, tratando do pedestre e do seu ambiente de circulação na cidade, identificando os fatores positivos e negativos mais relevantes com relação à infraestrutura necessária. O estudo foi feito com base em dados coletados em campo e em ferramenta do Instituto de Políticas de Transportes e Desenvolvimento (ITD BRASIL, 2018). Objetivou-se avaliar cada um dos indicadores de caminhabilidade e propor eventuais medidas mitigatórias. Busca-se salientar também a importância do modo de transporte ativo para as cidades, permitindo que as medidas deem mais atenção ao pedestre, a fim de contribuir com a criação de cidades mais agradáveis e caminháveis.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Planejamento e crescimento urbano**

Assim como a taxa de urbanização, o crescimento populacional nas cidades aumentou significativamente e, por não haver capacidade para atender o crescimento de forma tão acelerada e não planejada, diversos problemas foram manifestados na infraestrutura das cidades (MARTIN, 2017). Com isso, surgiu a necessidade do comprometimento com planos



que melhorassem a qualidade de vida oferecida à população, resultando no planejamento urbano (VILLAÇA, 1999).

Segundo CORRÊA(2005), o planejamento urbano é um componente essencial para compreender a produção e organização do espaço urbano, pois ele expressa os interesses dos elementos coexistentes na cidade e pode justificar ou não a tomada de ação. Também tem um papel importante no desenvolvimento urbano o chamado planejamento de transportes, uma vez que um sistema bem planejado é fundamental para a qualidade de vida da população, bem como para o desenvolvimento econômico, sendo o responsável pelo fluxo de pessoas e mercadorias no espaço urbano (SILVA, 1995). Em resposta aos problemas causados pelo grande movimento de pessoas e veículos nos núcleos urbanos, há o chamado planejamento da circulação, estando intimamente ligado com as condições individuais de mobilidade e acessibilidade de cada pessoa (MOURA, 2017).

## **2.2. Índice de caminhabilidade**

A caminhabilidade é definida por Ghidini (2011) como qualidade de um lugar para se caminhar, levando em consideração a acessibilidade e os elementos que garantem a locomoção de todos. O autor afirma que é necessário gerar uma motivação para induzir as pessoas a caminhar, desenvolvendo a infraestrutura física da cidade, como passeios adequados e atrativos ao pedestre. A partir do conceito de caminhabilidade, introduzindo assim o índice de caminhabilidade, buscou-se mensurar a qualidade caminhável de um lugar (VARGAS, 2015). Este índice é um indicador de qualidade do espaço urbano pois, conforme o resultado gerado, indica se as condições e o espaço urbano avaliados estão ótimos, bons, suficientes ou insuficientes, servindo de base para analisar melhorias da qualidade e sustentabilidade das cidades (AMÂNCIO e SANCHES, 2005).

O Índice de Caminhabilidade – iCam é uma ferramenta desenvolvida pelo ITDP Brasil (2018), disponível gratuitamente, que define quinze indicadores e seus métodos de cálculo, organizados em seis categorias: 1) calçada (largura e pavimentação); 2) mobilidade (dimensão das quadras e distância a pé ao transporte); 3) atração (fachadas fisicamente permeáveis, fachadas visualmente ativas, uso público diurno e noturno e usos mistos); 4) segurança viária (tipologia da rua e travessias); 5) segurança pública (iluminação e fluxo de pedestres diurno e noturno); e 6) ambiente (sombra e abrigo, poluição e coleta de lixo).



As calçadas, foco de estudo na primeira categoria do índice, são os principais espaços de circulação destinados aos pedestres no centro urbano. A qualidade desse componente urbano e a percepção dos usuários a respeito dele são fatores essenciais para tornar uma região atraente para o transporte ativo na modalidade a pé (GOLD, 2004). A norma Norma Brasileira 9050 (ABNT, 2015) traz requisitos para se obter um espaço adequado para todos, incluindo pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, e tais critérios são considerados ao se avaliar a caminhabilidade.

Quanto a Mobilidade urbana, sabe-se que essa é a capacidade de deslocamento dentro do espaço urbano para realização de atividades cotidianas, em tempo considerado ideal, de modo confortável e seguro (VARGAS, 2008). Diversos fatores interferem na mobilidade e na escolha da forma de deslocamento, como as dimensões das quadras, sendo quadras curtas e com muitas interseções favoráveis ao caminhar, e a distância ao transporte público, sendo que a curta distância facilita o acesso e, conseqüentemente, o uso irá contribuir com a redução da motorização (URIARTE, 2012; DEMORE et al., 2017).

Segundo ITDP (2018), na categoria atração, leva-se em conta o uso dos locais. Para um ambiente se classificar como atrativo, ele também precisa ter espaços de uso público, tanto ao dia quanto à noite. Uma cidade boa para encontros e caminhadas necessita de uma ótima permeabilidade visual e física, pois estimula o pedestre a realizar mais caminhadas, transformando o seu “esforço físico” em algo prazeroso, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos e da cidade (GEHL, 2013).

A segurança viária, por sua vez, visa analisar a segurança dos pedestres em relação ao tráfego de veículos motorizados, bem como as travessias de acordo com os requisitos de conforto e acessibilidade, avaliando também a tipologia da rua (ITDP, 2018). Também se entende que a pessoa, individualmente, é a responsável por obedecer às leis e regulamentações, enquanto que os projetistas são os responsáveis pela idealização da segurança do sistema de transporte urbano em geral (RAIA JR., 2005).

Já a segurança pública é um dos fatores de preocupação mais frequente entre os pedestres em relação à cidade. É a condição da segurança pública que tem grande influência no poder de decisão do pedestre sobre a escolha do deslocamento a pé ou uso de outro meio de transporte (URIARTE, 2012). Segundo Daros (2000), a iluminação nos caminhos de circulação dos pedestres gera segurança e conforto, diminuindo as chances de assaltos ou abordagens repentinas. O ITDP Brasil (2018) afirma que a presença e o fluxo de pedestres

nos espaços urbanos em horários alternados são uma vigilância natural e tendem a atrair outros pedestres, colaborando para um maior aproveitamento e uso da rua e do espaço urbano, além de tornar o deslocamento a pé mais atrativo.

Quanto a última categoria, esta relativa ao ambiente, sabe-se que o ambiente oferecido ao pedestre influencia diretamente na opção por um modo de transporte, em especial o modo a pé. Com isso, podem ser variadas as características que tornam um ambiente agradável (AMANCIO e SANCHES, 2008). As calçadas sombreadas e com abrigos são, geralmente, escolhidas por proporcionar maior conforto em dias quentes ou chuvosos (GHIDINI, 2011). Já o nível de ruído, quando elevado, torna o ambiente desagradável. A NBR 10151 (ABNT, 2003) delimita os níveis de ruído para as diversas áreas urbanas e os limites aceitáveis. Outro ponto que contribui para o ambiente é a limpeza, que influencia no contentamento visual e na saúde pública (GEHL, 2013).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Caracterização e delimitação da pesquisa

A pesquisa trabalha com análise quantitativa, com o cálculo de índices, e também qualitativa, pois classifica e avalia a experiência do pedestre. A área estudada na cidade de Cachoeira do Sul, RS, corresponde à região central, compreendendo 26 ruas compostas por 149 segmentos de calçada e 159 travessias, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

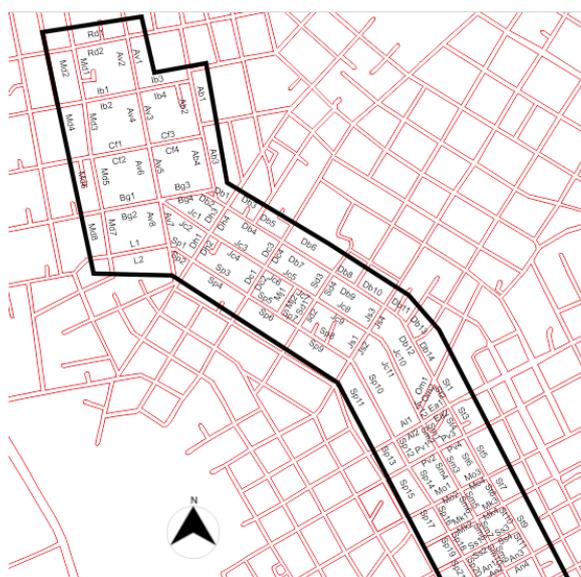


Figura 1 – Delimitação da área de estudo



Fonte: Autores (2019)

A coleta de dados para análise do Índice de Caminhabilidade foi efetuada durante o segundo semestre de 2019, sendo feita por meio de visitas diárias em horários alternados e se utilizando de formulário desenvolvido pelo ITDP Brasil (2018). Esses dados foram registrados em planilha no programa Excel, sendo esta padronizada e fornecida pela ferramenta 2.0 de índice de caminhabilidade (iCam) do ITDP Brasil (2018). Cada segmento de calçada foi nomeado com as iniciais do nome da rua e um número indicando a sequência.

### 3.2. Coleta de dados

A coleta de dados e a análise do cálculo final do índice de caminhabilidade foi realizada segundo duas unidades básicas de coleta: segmento de calçada e face da quadra. Para cada categoria e indicador, fez-se a coleta de dados *in loco* com o auxílio de ferramentas como trena, decibelímetro e luxímetro, assim como a percepção do observador. Todos os critérios de avaliação e pontuação seguiram as orientações da ITDP Brasil (2018), sendo os resultados da pontuação para cada indicador, categoria e índice final classificados em intervalos e qualificados em ótimo, bom, suficiente e insuficiente.

#### 3.2.1. Calçadas

Foi analisada toda a extensão das calçadas para verificação da existência de pavimentação em todo o segmento e realizada a contagem de buracos com mais de 15 cm de comprimento e desníveis maiores que 1,5 cm. As larguras das faixas de circulação foram aferidas no local com trena. Em casos de árvores no trecho, considerou-se a medida a partir do local que possuía uma altura livre mínima de 2,10 metros. Nos locais em que haviam obras, mediu-se a largura a partir da face externa do tapume. Determinou-se a tipologia de cada rua e mediu-se a largura mínima da faixa livre de cada segmento.

Posteriormente, realizou-se a classificação da largura mínima em menor que 1,5 m, maior ou igual a 1,5 m e maior ou igual a 2 m. Fez-se também a contagem de pedestres durante 15 minutos, em cada segmento e em horários de maior fluxo de pedestres do dia. O fluxo de pedestres foi calculado por minuto, verificado a capacidade da faixa através da divisão do fluxo pela largura da faixa livre.



### 3.2.2. Mobilidade

Fez-se a medição de toda a extensão lateral da quadra dos segmentos de calçada analisados. Também se identificou todas as estações de transportes ou pontos de embarque e desembarque de linhas de ônibus convencional e, na sequência, determinou-se a distância a pé entre o ponto médio da extensão da calçada e a parada de transporte mais próxima.

### 3.2.3. Atração

Os dados foram coletados através de ambientes e edificações construídas. Constatou-se o número de acessos para pedestres por face de quadra, exceto as entradas de edificações sem uso evidente, como entradas visivelmente abandonadas ou que não fosse uma atração para os pedestres, não contabilizando acessos a garagens, depósitos ou entrada de veículos. Mediu-se com a extensão total de todos os elementos visualmente ativos em cada segmento. Para cada face de quadra, contou-se o número total de estabelecimentos com uso público no período diurno e noturno. Realizou-se a identificação do uso predominante de todas as edificações existentes. Os pavimentos de cada edificação foram somados, separados quanto ao uso predominante. Determinou-se a porcentagem do total de pavimentos com uso predominante em cada segmento de calçada.

### 3.2.4. Segurança viária

Foi necessário identificar a tipologia de cada rua e a velocidade regulamentada para a mesma, considerando a velocidade do trecho anterior quando não foi possível determinar a de algum segmento. As travessias foram classificadas em travessias de pedestres semaforizadas, não semaforizadas e a categoria pedestre não atravessa veículos motorizados. Levantou-se requisitos de qualidade para cada tipo de travessia. Diferentes pesos foram atribuídos a cada requisito conforme o ICam e, após identificados, foi feito o somatório final destes pesos. Por fim, foi contabilizada a quantidade total de travessias avaliadas e o cálculo da porcentagem de travessias com requisitos mínimos.

### 3.2.5. Segurança Pública

Mediu-se a qualidade da iluminação noturna no ambiente de circulação de pedestres, sendo a coleta de dados realizada no período noturno e com um luxímetro para determinar a iluminância do segmento de calçada, medindo no ponto mais desfavorável e empregando a



resultante para todo o segmento. Realizou-se também a contagem de pedestres para cada segmento de calçada pelo tempo de 15 minutos em dois horários diferentes de maior fluxo de pedestres de um mesmo dia útil, entre os períodos 08h e 10h e 12h e 14h.

### *3.2.6. Ambiente*

Realizou-se a medição horizontal de todos os elementos de sombra e abrigo. O nível de intensidade sonora foi medido com um decibelímetro em cada ponto desfavorável dos segmentos de calçada, considerando horários de pico. Mediu-se durante 20 segundos consecutivos e o valor encontrado foi definido para toda a extensão da calçada. Foi avaliada a percepção de limpeza urbana no ambiente de circulação de pedestres, fazendo-se o levantamento dos requisitos de qualidade.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Índice de caminhabilidade**

O índice de caminhabilidade varia numa escala de insuficiente a ótimo, sendo respectivamente de 0 (zero) a 3 (três). No centro da cidade de Cachoeira do Sul esse índice resultou no valor de 1,22, considerado suficiente. A categoria segurança pública apresentou pior desempenho de índice geral (0,43), seguida pela categoria segurança viária (0,51), ambas indicando uma classificação insuficiente. A Tabela 1 representa a pontuação final e os critérios de avaliação por indicadores e categoria e pontuação (em escala de cores).

Considerando a categoria calçada (1,31), quatro das ruas não possuíam pavimentação em toda sua extensão, sendo essas consideradas insuficiente. Quanto aos buracos, houve uma grande variação de valores por segmentos e alguns trechos obtiveram valor insuficiente. Outros trechos apresentaram desníveis acentuados, totalizando 23 trechos de ruas. Quanto a largura, as principais causas de sua redução são árvores obstruindo a faixa livre, paradas de ônibus e lixeiras. Na mobilidade (1,83), encontrou-se uma diversidade de valores das dimensões das quadras, variando de 33,20 metros até 366,95 metros. Quanto às paradas de ônibus e os pontos de táxi estão situados em apenas quatro ruas da cidade.

Quanto a atração (1,41), segmentos como calçadas muradas, cemitérios e praças não tinham acesso ou possuíam apenas um acesso, resultando em pontuação crítica igual a “0”. O uso público diurno e noturno apresentou um valor insuficiente, do total de 913

estabelecimentos com acesso pela calçada, 815 são de uso diurno e 98 são de uso noturno. Seria necessário, no mínimo, um estabelecimento de uso noturno aberto a cada 100 metros. Quanto ao uso, há lojas variadas, restaurantes, farmácias, entre outros.

Tabela 1 – Índice de caminhabilidade do centro de Cachoeira do Sul

Indicadores e categorias	Pontuação final (de 0 a 3)	Critério de avaliação (Insuficiente - Suficiente - Bom - Ótimo)
Pavimentação	1,57	Suficiente
Largura	1,05	Suficiente
<b>Calçada</b>	<b>1,31</b>	<b>Suficiente</b>
Dimensão das quadras	1,93	Suficiente
Distância a pé ao transporte	1,74	Suficiente
<b>Mobilidade</b>	<b>1,83</b>	<b>Suficiente</b>
Fachadas fisicamente permeáveis	2,26	Bom
Fachadas visualmente permeáveis	1,76	Suficiente
Uso público diurno e noturno	0,3	Insuficiente
Usos Mistos	1,33	Suficiente
<b>Atração</b>	<b>1,41</b>	<b>Suficiente</b>
Tipologia da rua	1,03	Suficiente
Travessias	0	Insuficiente
<b>Segurança viária</b>	<b>0,51</b>	<b>Insuficiente</b>
Iluminação	0,13	Insuficiente
Fluxo de pedestres diurno e noturno	0,73	Insuficiente
<b>Segurança pública</b>	<b>0,43</b>	<b>Insuficiente</b>
Sombra e Abrigo	1,43	Suficiente
Poluição Sonora	1,27	Suficiente
Coleta de lixo e limpeza	1,84	Suficiente
<b>Ambiente</b>	<b>1,51</b>	<b>Suficiente</b>
<b>iCam (Final da área estudada)</b>	<b>1,22</b>	<b>Suficiente</b>

Fonte: Autores (2019)

Todas as ruas analisadas foram classificadas como vias com calçadas segregadas onde há circulação de veículos motorizados. As placas de velocidades encontradas nas ruas estavam em estado precário e não são refletivas, repercutindo em baixa visibilidade à noite. Em um total de 159 travessias, 8 delas possuem faixa de pedestre sinalizada, totalizando 5,03%, motivo que levou o índice geral desse indicador ser considerado insuficiente.

Os dois indicadores considerados na categoria segurança pública (0,43) foram considerados insuficientes. Quanto à iluminação, os valores encontrados são extremamente baixos, variando entre 0,1 a 3,8 lux. Já quanto ao fluxo de pedestres, por se tratar de uma cidade pequena, a contagem do fluxo permaneceu menor que 10 pedestres por minuto.



Por último, a categoria ambiente (1,51) indicou uma classificação suficiente. Os maiores valores encontrados de poluição sonora foram em ruas onde há tráfego de veículos pesados, sendo 119,2 dB(A) o nível mais alto encontrado. Algumas ruas mais distantes da parte comercial do centro obtiveram indicador ótimo. A grande maioria foi classificada como “bom”, mas outras ruas acabaram classificadas como “insuficientes”.

#### **4.2. Análise crítica global e propostas de melhorias**

Os piores resultados e desempenhos foram os que receberam menos de 1,0 ponto em seu índice geral, considerados insuficientes, merecendo maior atenção na busca de medidas que melhorem a qualidade e segurança da caminhada. Esses resultados são relativos aos indicadores travessias, uso público diurno e noturno, iluminação e fluxo de pedestres. Fica evidente a necessidade de implementar mais faixas de pedestres em esquinas e também semáforos para a travessia. Recomenda-se adequar as rampas de acessibilidade e aderir o piso podotátil nas calçadas. Além de políticas públicas que incentivem a abertura de estabelecimentos ou atrações no período noturno, buscando a diversificação do uso, são uma boa opção para tornar o ambiente atrativo e mais seguro à noite. Levando em consideração a má iluminação do centro da cidade, indica-se a manutenção, realizando a poda de árvores nos pontos críticos e a substituição de lâmpadas queimadas. É importante que haja iluminação destinada às calçadas e não somente para a faixa de rolamento.

A melhoria no transporte público resultaria em maior atratividade, uma vez que leva o pedestre a optar pelo transporte público e utilizar as calçadas, aumentando o fluxo de pedestres, além de contribuir para a sustentabilidade. Outras medidas incluem ações dos órgãos municipais e a conscientização da população. Para melhorar as calçadas, é necessário uma maior preocupação por parte dos proprietários dos imóveis na manutenção, dos responsáveis técnicos na execução das calçadas e da fiscalização pública. As calçadas são bens de uso comum do povo e, quando construídas de forma errada ou não preservada, compromete o direito de ir e vir dos pedestres.

Portanto, é de suma importância que os órgãos públicos se responsabilizem pela construção das calçadas ou que incentivem os proprietários dos lotes a adotar a padronização normativa da NBR 9050, havendo leis municipais que disponham sobre tais assuntos. Para isso, campanhas de conscientização tornam-se necessárias, tanto para o público em geral como para o profissional, que deve ser solicitado a realizar o projeto e execução das calçadas.



A exemplo disso, têm-se o Programa Calçada Segura, de São José dos Campos (SP), adotando um plano com iniciativas inspiradoras para melhor mobilidade de todos.

Quanto à coleta do lixo, recomenda-se a conscientização da população em não depositar lixos em locais impróprios. Na redução da poluição sonora, sugere-se o uso de pavimentos que reproduzam menor ruído ou o desvio de rotas de veículos pesados.

## 5. CONCLUSÕES

O Índice de Caminhabilidade no centro da cidade de Cachoeira do Sul, RS foi calculado, avaliando os aspectos que influenciam a caminhada dentro das características do local, levando em consideração todos os indicadores. Assim, obteve-se o índice global de 1,22, valor considerado suficiente. Os indicadores que obtiveram resultados insuficientes, foram a segurança viária e a segurança pública, com 0,51 pontos e 0,43 pontos, respectivamente. Os demais indicadores calçada, mobilidade, atração e ambiente, obtiveram resultados de 1,31 pontos, 1,83 pontos, 1,41 pontos e 1,51 pontos, respectivamente, considerando-os como suficientes. Cabe salientar que nenhum indicador apresentou a classificação boa.

A análise global, por categoria e por indicador, foi importante para determinar em que área poderiam ser priorizadas ações de investimentos e a implantação de melhorias. Para uma análise mais pontual, é necessário avaliar cada indicador individualmente e interferir diretamente no ponto mais crítico. Com isso, a determinação de critérios que possam ser adequados para cada realidade, a fim de medir, monitorar e acompanhar cada indicador referente à caminhabilidade, pode representar na melhoria futura da sustentabilidade das cidades brasileiras, bem como na qualidade de vida dos habitantes.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento.** 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** 2015.

AGUIAR, D. V. Urbanidade e a qualidade da cidade. **Arquitextos (São Paulo)**, 141 p. 2012.

AMÂNCIO, M. A.; SANCHES, S. A forma urbana e as viagens a pé – estudo de caso em uma cidade brasileira de porte médio. **Acta Scientiarum. Technology**, 30, n. 2. 2008.



- ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. **Relatórios Atualizados - Base de Dados de 2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/sistema-de-informacoes-da-mobilidade/apresentacao.html>>. Acesso em 11 abr. 2019
- CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 4. 2005.
- DAROS, E. J. O Pedestre. **São Paulo: Associação Brasileira de Pedestres**. 2000
- DEMORE, C. P., TORRES, T. B., LARRANAGA, A. M., NODARI, C. T.. Prevalência de fatores associados à severidade dos acidentes em entorno de escolas. **Revista transportes – ANPET**, 25, n. 3, p. 102-114, 2017, disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/174281>>. Acesso em: 16 mai. 2019.
- GEHL, J. **Cidades para Pessoas**. São Paulo: Perspectiva. 2013.
- GHIDINI, R. A caminhabilidade: medida urbana sustentável. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**. 2011.
- GOLD, P. **Qualidade de Calçadas no Município de São Paulo**. Relatório Final. 2004.
- ITDP Brasil. **Índice de Caminhabilidade versão 2.0.**, disponível em: <[http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2018/01/ITDP\\_TA\\_CAMINHABILIDADE\\_V2\\_ABRIL\\_2018.pdf](http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2018/01/ITDP_TA_CAMINHABILIDADE_V2_ABRIL_2018.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2019.
- MARTIN, J. A. **Análise da mobilidade em um campus universitário – estudo de caso: universidade federal de santa maria**. Santa Maria: UFSM. 2017.
- MOURA, A. M. **Planejamento urbano e planejamento de transporte: uma relação desconexa**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília. 2017.
- OLIVEN, R. G. **Urbanização e mudança social no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein, 146 p. 2010.
- Raia J. A. A., Acidente zero: utopia ou realidade?. Anais do 15º Congresso Brasileiro De Transporte E Trânsito. Goiânia. 2005.
- SILVA, J. A. **Direito urbanístico brasileiro**. São Paulo: Malheiros. 1995.
- URIARTE, A. M. L. **Estrutura urbana e viagens a pé**. Porto Alegre: Ed. UFRGS. 2012.
- VARGAS, H. C. [I]mobilidade Urbana. **Revista URBS**, 47, p. 47: 65. 2008.
- VARGAS, J. C. B. **Forma urbana e rotas de pedestres**. Porto Alegre: Ed. UFRGS. 2015.
- VILLAÇA, F. Dilemas do Plano Diretor. In: CEPAM, 1999, São Paulo. **Fundação Prefeito Faria Lima - Cepam**, disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxviii/anpet/anais/documents/AC336.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2019.



## ANÁLISE REGIONAL DA QUALIDADE DE CALÇADAS DO MUNICÍPIO DE FRANCA-SP

*Larissa Teodoro Oliveira<sup>1</sup>; Tassiane de Paula Pinheiro Coelho<sup>2</sup>; Leonardo Suave<sup>3</sup>;  
Diego Fernandes Neris<sup>4</sup>*

*<sup>1,2</sup> Universidade de Franca – UNIFRAN; larissat\_oliveira@hotmail.com  
tdcoelho@unifran.edu.br*

*<sup>3</sup>Universidade Federal de São Carlos- UFSCar;leonardosuave@estudante.ufscar.br*

*<sup>4</sup>Universidade Federal do Paraná UFPR; diego.neris@ufpr.br*

### RESUMO

As cidades de médio e grande porte brasileiras têm passado por problemas nos deslocamentos diários devido ao trânsito de veículos motorizados particulares, uma cultura resultante de problemas no transporte público e infraestrutura para meios não motorizados. Uma cidade sustentável é aquela que possibilita ao cidadão a escolha do meio a utilizar, ou seja, que o fator infraestrutura e segurança, por exemplo, não sejam impactantes na tomada de decisão. O presente trabalho visa a investigação do deslocamento a pé no município de Franca, no interior de São Paulo, com relação aos principais problemas e qualidades das calçadas. Inicialmente a cidade foi dividida em regiões, agregando áreas da cidade de características de uso e ocupação do solo semelhantes, e a avaliação foi feita pelos critérios de seguridade, atratividade, manutenção e largura efetiva da calçada e segurança, para cada região. Foram realizadas entrevistas a fim de determinar as maiores deficiências das calçadas das regiões em pelo ordenamento dos cinco itens citados anteriormente em mais ou menos crítico. Os resultados apresentam que os problemas, em geral, são manutenção das calçadas e seguridade e que há uma influência do uso e ocupação do solo na qualidade da caminhabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de calçadas, Caminhabilidade, Pedestres.

### ABSTRACT

*The medium and large Brazilian cities have experienced problems with daily commuting because of private motor vehicles traffic, a culture resulting from problems in public transportation and infrastructure for nonmotorized displacement. A sustainable city is one that allows the citizen to choose the transport mode, so the infrastructure and safety factor should not impact in the decision making. The present research aims to investigate the walking displacement in Franca, in the state of São Paulo, in relation to the main problems and qualities of the sidewalks. Initially, the city was divided by regions, aggregating city areas with similar land uses characteristics, and the assessment was made by the criteria of security, attractiveness, maintenance, effective width of the sidewalk and safety, for each region. Interviews were conducted in order to determine the major deficiencies of the sidewalks in each region ordering the five items previously mentioned in more or less critical. The results indicate the problems, in general, are pavement maintenance and safety, and there is an influence of the land use in quality of the walkability.*

**KEYWORDS:** Quality of sidewalks, Walkability, Pedestrians



## **1. INTRODUÇÃO**

De maneira abrangente, a acessibilidade pode ser remetida a diversos conceitos, possuindo interrelação ao acesso de indivíduos às determinadas atividades ou serviços que a cidade possa oferecer, de maneira igualitária a todos os usuários. A acessibilidade pode ser dividida em dois conceitos: física tangível, que se refere ao sistema de transporte, sistema de infraestrutura viária, localização de espaços e de serviços para os quais se queira ter acesso, e o segundo a acessibilidade à cultura, escolas, cursos e lazer, ou seja, atender a um direito da população de acesso à cidadania (GRINOVER, 2006).

Para se ter uma acessibilidade física tangível, se faz necessária uma infraestrutura de transporte que viabilize isto. No caso do Brasil, um país com dimensões continentais abrangentes, torna-se fundamental investimento contínuo, baseado em um plano de ação coerente, porém, sabe-se que mesmo não existindo uma falta de percepção por parte dos administradores públicos da importância do assunto, os mesmos acabam negligenciando, resultando em uma incapacidade em gerir as necessidades e manter a infraestrutura do país nas últimas décadas (BERTUSSI e ELLERY JR., 2012).

Com um índice que se possa avaliar a qualidade dos espaços públicos e calçamentos destinados a pedestres, torna-se possível a identificação de trechos que exponham os pedestres a um risco maior de acidentes e a um desconforto no caminhar, além de ser possível determinar os principais pontos para intervenção em futuras melhorias destes espaços (FERREIRA e SANCHES, 2001).

### **1.1. Objetivos**

Diagnosticar as condições das calçadas do município de Franca/SP, quanto às principais preocupações e preferências e à real situação dos espaços públicos e calçamentos do município, bem como desenvolver um mapeamento dos principais problemas dos espaços públicos e calçamentos.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Para Gold (2004), a criação da calçada foi uma solução para as pessoas que caminhavam, definido como um espaço tipicamente instalado entre edifícios e a pista de rolamento de veículos. Dentro das áreas urbanas, é fundamental uma infraestrutura onde haja



a separação física dos espaços de circulação, devido à discordância dos tráfegos de pedestres e veículos e um espaço finito (SILVA, 2008).

Segundo Silva *et al.* (2004) os níveis de mobilidade são considerados indicadores de desenvolvimento, qualidade de vida e bem estar social, já que a mesma (mobilidade) representa afinal os movimentos das pessoas dentro ou entre as cidades, sendo obtida pela relação das viagens por habitante num certo período de tempo.

Khisty e Lall (1998) definem acessibilidade como a facilidade de deslocamento e pode ser mensurada principalmente pelo tempo de deslocamento e custo. A acessibilidade pode ser quantificada para cada pessoa, dependendo do local de residência e dos destinos diários.

Devido ao aumento intensivo do tráfego nos grandes centros urbano, o congestionamento passou a fazer parte da rotina das pessoas, gerando estresse e fadiga aos condutores e passageiros, já que em muitos locais a infraestrutura viária já não era capaz de suportar a demanda existente. Como consequência, as gestões passaram a criar mais infraestrutura para os veículos motorizados, deixando os não motorizados com poucas alternativas, contudo os espaços urbanos perderam sua atratividade para a caminhada, devido à falta de facilidade que esta deveria proporcionar (CARVALHO, 2006).

Para adaptar as vias ao transporte motorizado, a circulação do transporte não motorizado é prejudicada, já que muitas calçadas tiveram suas larguras reduzidas para o alargamento das vias, o que acaba elevando o risco dos pedestres durante as travessias. Além disso, para alocar vagas de automóveis, retiram dos passeios os espaços das árvores, o que aumenta a distância de percurso e a insegurança para os pedestres, além de criar zonas áridas e inseguras para caminhar na malha urbana (GONDIM, 2001).

ANTP e o Hospital das Clínicas de São Paulo (maior hospital da América Latina) constataram que, dos que procuram o setor de ortopedia e traumatologia, 19,2% sofreram acidentes em passeios públicos, calçadas e lugares onde se poderia caminhar, sem nenhuma relação direta com automóveis, o qual atribuímos as responsabilidades dos acidentes de trânsito no mundo (SILVA, 2008).

A atribuição pela conservação e manutenção das calçadas no Brasil se torna obrigatória para o proprietário do lote frontal, sempre que a mesma possua meio-fio e sarjeta, de acordo com os códigos municipais de obras (Associação Brasileira de Pedestres - ABRASPE, 1999) e qualquer item que possa interferir no fluxo dos pedestres sobre as



calçadas são definidos como fatores de impedância pela NBR 9050 instituída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004).

Com um índice que possa avaliar a qualidade dos espaços públicos e calçamentos destinados a pedestres, torna-se possível a identificação de trechos que exponham os pedestres a um risco maior de acidentes e a um desconforto no caminhar. Além de que, associado a fatores como volume de pedestres, importância da região, poder determinar os principais pontos para intervenção e uma eventual melhoria que possa ser realizada nestes espaços (FERREIRA e SANCHES, 2001).

Khisty (1994) propôs considerar medidas de desempenho de determinados itens, que eram: conforto, conveniência, segurança, seguridade, coerência do sistema e continuidade do sistema, avaliando cada característica desta em uma escala de 1 a 5, onde 5 aponta a melhor qualidade e a nota 1 representava a pior qualidade. A avaliação final de um trecho de calçada era obtida pela somatória das notas atribuídas a cada item pelos pedestres, sendo ponderada de acordo com a importância de cada característica. Já Ferreira e Sanches (2001) propuseram uma análise semelhante, porém considerando manutenção, segurança, seguridade, largura efetiva e atratividade como variáveis de qualidade, nomeando como método IQC – Índice de Qualidade de Calçadas.

### **3. METODOLOGIA**

A área de estudo é o município de Franca, no estado de São Paulo, cuja população estimada no ano de 2020 é de 355.901 habitantes (IBGE, 2020). Inicialmente foram divididas pelos autores as regiões do município em função de suas características socioeconômicas e de uso e ocupação do solo, conforme a Figura 1, sendo: ZC – Zona Central Residencial, ZC1 – Zona Central Residencial/Comercial, ZN - Zona Norte Residencial, ZN1 - Zona Norte Residencial/Industrial, ZS - Zona Sul Residencial, ZL - Zona Leste Residencial, ZL1 - Zona Leste Residencial/Industrial, ZO - Zona Oeste Residencial e ZO1 – Zona Oeste Industrial.

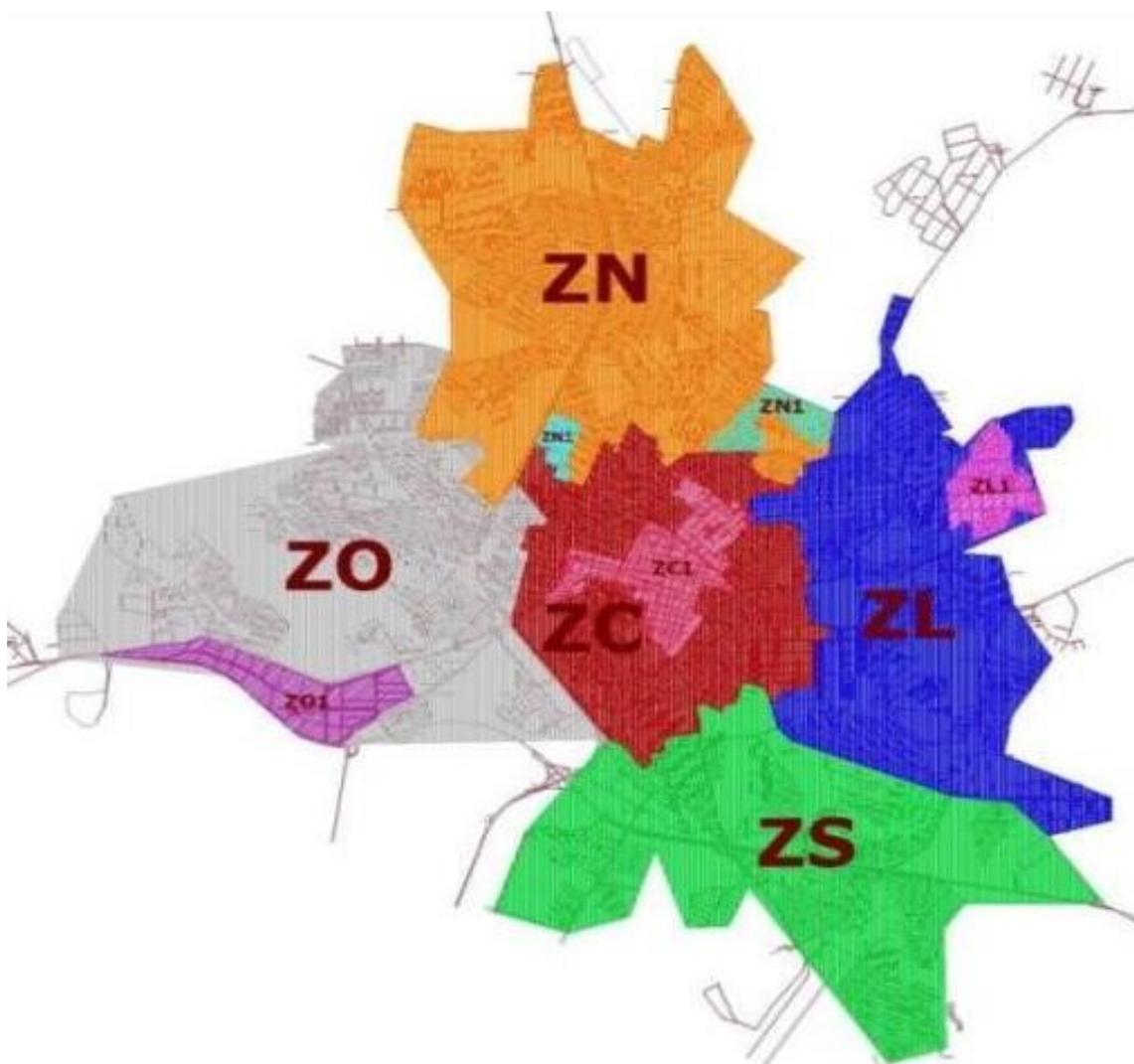


Figura 1: Mapa de zoneamento no município de Franca/SP.

Fonte: Autoria própria (2015)

Em seguida, foram aplicados questionários nas diversas regiões para obter informações relativas à qualidade das calçadas. O questionário foi dividido em três partes, sendo a primeira com informações básicas como gênero e ocupação, com o objetivo de diversificar os entrevistados.

No segundo questionário foi solicitado que o entrevistado ordenasse 5 fatores que influenciariam na qualidade da calçada, independente da infraestrutura existente na região de estudo. Somente os 5 fatores considerados foram extraídos do método IQC, de Ferreira e Sanches (2001), e são:



- **Seguridade** – Uma calçada onde não se corra o risco de ser assaltado (bem iluminada, separada dos lotes por paredes ou muros, com poucos pedestres, em local policiado etc.).
- **Atratividade** – Uma calçada limpa e em lugar agradável (em frente a parques, lojas com vitrines atraentes, belas casas, jardins bem cuidados, com vários pedestres etc.).
- **Manutenção** – Calçada que ofereça um revestimento (piso) confortável para o pedestre (piso sem buracos, depressões, rachaduras, ondulações, desníveis etc.).
- **Largura Efetiva** – Uma calçada livre de obstáculos que dificultam a caminhada (bancas de jornal, bancas de ambulantes, tapumes, equipamentos públicos, abrigos em parada de ônibus, mesas de bar etc.).
- **Segurança** – Uma calçada onde não haja perigo de atropelamento (quando veículos passam sobre a calçada para entrar em garagens, postos de gasolina, estacionamentos etc.).

Após o ordenamento em função de grau de importância, para cada entrevista, foi atribuído o peso 1 para o fator considerado menos importante e peso 5 para o mais importante.

O terceiro questionário foi aplicado para avaliar as características das calçadas da região em questão. Nesta etapa o entrevistado citava, dos cinco fatores anteriormente sugeridos, quais são ausentes na região de sua residência. Ao final, foi calculada uma proporção da frequência, de acordo com os entrevistados, em que cada fator foi citado na região, variando de 0, quando o fator não foi citado por ninguém, portanto não é um problema naquela região, até 1, quando o fator foi citado por todos os entrevistados como um problema naquela região.

Ao final, foi atribuído um índice para cada fator avaliado em cada região. Esse índice foi calculado através do produto entre o peso médio e a frequência de cada fator, portanto o índice pode variar de 0, quando o fator não foi citado como problema na região, até 5, quando o fator foi citado por todos os entrevistados como o mais importante e ausente na região.

#### **4. RESULTADOS**

Foram feitas análises de todos os questionários respondidos, onde se obteve um total de 609 entrevistados distribuídos entre as 9 zonas da cidade. Para cada indicador, em cada zona analisada na cidade, foram obtidos os índices (por média aritmética) apresentados na Figura 2 a seguir.



Figura 2: Índices dos fatores por zona

Fonte: Autoria própria (2015)

Em seguida, na Figura 3, são apresentados os fatores prioritários de cada região com os respectivos índices. Quando mais próximo de 5, mais crítica é a situação.

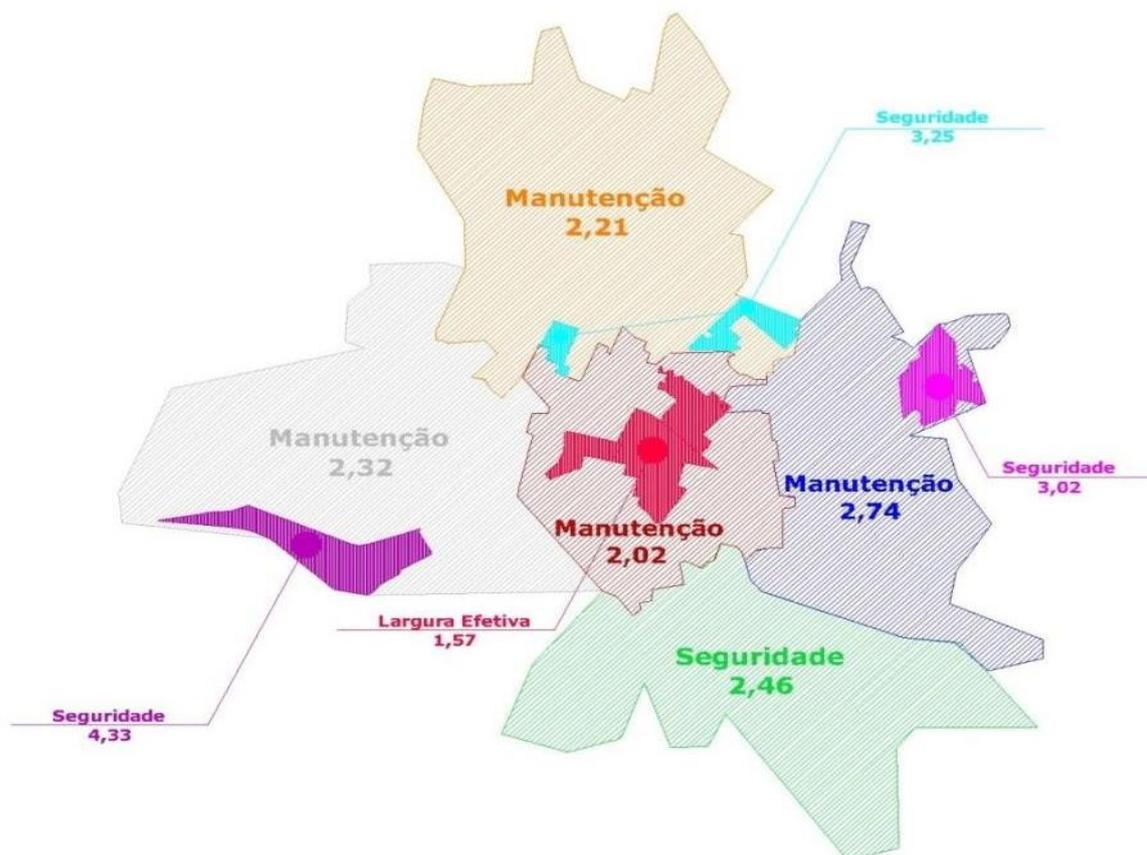


Figura 3: Fatores prioritários de cada zona.

Fonte: Autoria própria (2015)

A Seguridade se destaca com os índices mais altos: na Zona Oeste 1 (4,33), Zona Norte 1 (3,25) e na Zona Leste 1 (3,02). Essas regiões coincidem com setores onde predomina a atividade industrial, portanto com movimentação significativa de pedestres ocorrendo em apenas em determinados horários (entradas e saídas de trabalhos). A Zona Sul também destacou a Seguridade como prioridade, com um índice de 2,46. Essa região é mais recente na questão de urbanização e se destaca pela presença do aeroporto da cidade.

O fator Manutenção se destacou nas zonas Leste (2,74), Oeste (2,32) e Norte (2,21), regiões essas residenciais e periféricas, onde os loteamentos mais novos ainda estão em construção, ou seja, calçadas sem revestimento, pisos irregulares e com vegetações ou entulhos. Na região Central, a manutenção também aparece como fator crítico, porém com

score menor (2,02)., onde verificou-se questões como pisos irregulares ou ausência de pisos em certos pontos críticos das calçadas.

A Largura efetiva das calçadas foi apontada como situação crítica na Zona Central 1 (1,57). Essa região se destaca pela quantidade de comércio existente e, conseqüentemente, pelo grande fluxo de pessoas, além de possuir calçadas de pequenas dimensões e com obstáculos (como postes), por ser a região mais antiga da cidade, há problemas de espaço para ampliação de qualquer modo de transporte, dificultando as readequações das calçadas.

A mesma análise e interpretação de dados que levou aos resultados das situações mais críticas do município por zona, foi utilizada para se chegar aos fatores menos críticos, conforme a Figura 4.

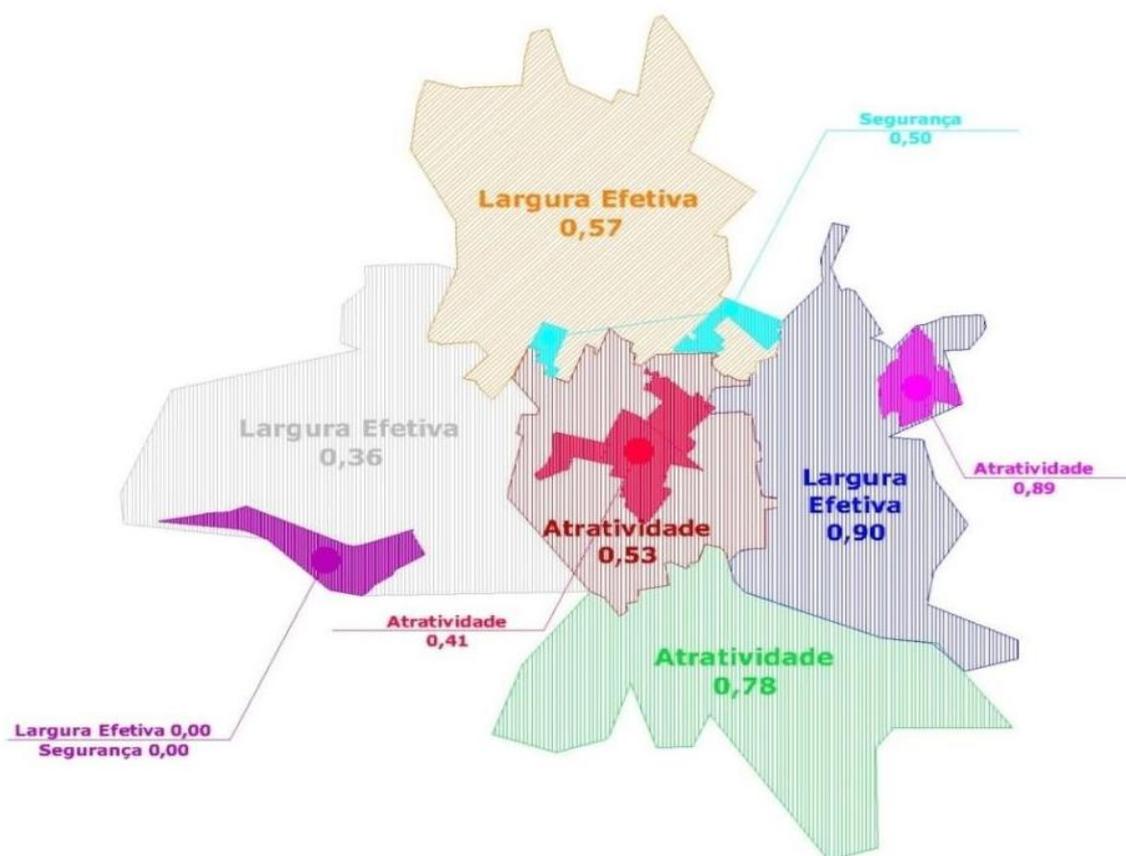


Figura 4: Fatores menos críticos de cada zona

Fonte: Autoria própria (2015)

A largura efetiva foi apontada como fator menos crítico nas zonas Norte (0,57), Oeste (0,36), Oeste 1 (0,00) e Leste (0,90), regiões mais recentes, com baixo adensamento



populacional (com vazios urbanos) e com ruas mais estreitas, portanto com calçadas projetadas com mais espaços e amparadas por leis mais recentes que regularizam características como nivelamento, revestimentos e dimensões. A atratividade é o fator menos crítico nas Zonas, Central, Central 1 e Sul, justamente por serem regiões com áreas comerciais, vitrines, avenidas com canteiros e calçamentos para pedestres, além de praças mantidas com auxílio de empresas privadas, parques e clubes que atraem o público em geral. Já o fator da segurança é menos crítico nas Zonas Oeste 1 e Norte 1, onde predominam as atividades industriais, ou seja, as empresas fazem manutenção das calçadas com frequência, além de poucos ou nenhum obstáculo no caminho e totalmente segregado e distante do fluxo veicular.

## 6. CONCLUSÕES

Pelo presente trabalho é possível notar a influência da região da cidade na qualidade da caminhabilidade: em regiões predominantemente industriais as pessoas temem pela questão de seguridade, em regiões de alto fluxo de pedestres o problema é a largura efetiva e residenciais é a manutenção. Como fatores positivos se destacam, em áreas industriais, a largura efetiva, e em áreas comerciais e residenciais, a atratividade.

Nas regiões industriais devem ser verificadas as questões de Seguridade, que se destacaram perante qualquer outro fator de qualquer outra região: foram os únicos índices que obtiveram índices acima de 3, sendo que na zona Oeste 1 o índice foi de 4,33. As pessoas não se sentem seguras ao trafegar a pé nessas regiões por conta de assaltos e roubos. Ao verificar in loco as regiões que citaram a Seguridade como fator prioritário, pôde-se notar ausência de policiamento (se comparar com outras regiões da cidade), falta de iluminação adequada, tornando os pedestres mais vulneráveis.

Destaca-se que a presente pesquisa baseou na opinião dos usuários ao trafegarem a pé, portanto faz-se necessária a complementação, por parte das autoridades, de uma análise mais técnica para verificar a real necessidade de melhoria dos fatores nas regiões.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9050/2004 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.



ABRASPE - Associação Brasileira de Pedestres. **Manual de Orientação do Pedestre – Cidade de São Paulo**, São Paulo, 1999.

BERTUSSI, G. L.; ELLERY JUNIOR, R. Infraestrutura de transporte e crescimento econômico no Brasil. **Journal of Transport Literature**, vol. 6, n. 4, pp. 101-132, 2012.

CARVALHO, M. V. G. S. A. **Um modelo para dimensionamento de calçadas considerando o nível de satisfação do pedestre**. 2006. 150f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. Índice de qualidade das calçadas - IQC. **Revista dos Transportes Públicos - ANTP**, São Carlos, a.23, p. 47-60, 2001.

GONDIM, M. F. **O transporte não motorizado na legislação urbana no Brasil**. 2001, 201f. Dissertação (Mestrado em Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro – Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

GOLD, P. A. **Qualidade de calçadas do Município de São Paulo**. Relatório Final. São Paulo: novembro, 2004.

GRINOVER, L. A hospitalidade urbana: acessibilidade, legibilidade e identidade. **Revista Hospitalidade**, São Paulo, ano III, n. 2, p. 29-50, 2. sem. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/franca/panorama>>. Acesso em 03 de out. 2020.

KHISTY, C. J. Evaluation of pedestrian facilities: beyond the level-of-service concept, **Transportation Research Record**, 1438, 45-50, 1994.

KHISTY, C. J.; LALL, B. K. **Transportation Engineering – An Introduction**. 2ª Ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1998.

SILVA, D. S. C. P.; SANTOS, M. P. S.; PORTUGAL, L. da S. Acessibilidade x Mobilidade x Desenvolvimento. IN: RIO DE TRANSPORTES, 2, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, N. R. R. **Avaliação do nível de serviço de calçadas em cidade de porte médio, considerando a percepção de usuários e técnicos**. 2008. 162 f. Monografia (Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.





## PROPOSTA DE METODOLOGIA E AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA CICLOVIÁRIA DE CURITIBA

*Fernanda Gomes Goes<sup>1</sup>; Bruna Caroline Gonçalves da Silva<sup>2</sup>; Helena Pauline Schulze<sup>3</sup>;  
Marcia de Andrade Pereira Bernardinis<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Discente de Engenharia Civil na Universidade Federal do Paraná;  
fernandagomesgoes@gmail.com; bcgoncalvess@gmail.com;  
helenapaulineschulze@gmail.com*

*<sup>4</sup> Docente do Departamento de Transportes na Universidade Federal do Paraná;  
profmarcia.map@gmail.com*

### RESUMO

Diante do cenário atual de transportes no Brasil é possível observar que, na maioria das cidades o modelo mais utilizado (veículo motorizado individual) está em crise. O que torna cada vez mais necessário buscar meios de transporte que atendam as necessidades do usuário e não sejam prejudiciais ao meio ambiente. O transporte por bicicleta é uma opção com grande potencial por apresentar diversos benefícios. Apesar de tantas vantagens é pouco utilizado e, um dos fatores é a falta de infraestrutura adequada. Na pesquisa realizada buscou-se desenvolver uma metodologia que possa avaliar de forma objetiva a qualidade da infraestrutura existente na cidade de Curitiba, que se divide em três categorias: ciclovias, ciclofaixas e passeios compartilhados. A avaliação foi realizada utilizando-se de uma metodologia proposta pelas autoras (CicloAção), divididos em três grandes grupos de infraestrutura: da via, do entorno e de sinalização. Ao final foi possível obter um índice capaz de avaliar a qualidade da infraestrutura cicloviária, onde, cabe destacar que apenas as ciclofaixas obtiveram notas acima de 6. A categoria passeio compartilhado obteve a menor nota e, por possuir a maior extensão, reduziu o índice final. Através dessa nota pode-se perceber a necessidade de priorizar o investimento na infraestrutura existente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade Urbana Sustentável, Ciclomobilidade, Infraestrutura Cicloviária

### ABSTRACT (APENAS PARA ARTIGOS CIENTÍFICOS)

*Given the current transport scenario in Brazil, it is possible to observe that in most cities the most used model (individual motor vehicle) is in crisis. This makes it increasingly necessary to seek means of transport that meet the needs of the user and are not harmful to the environment. Transportation by bike is an option with great potential because it has several benefits. Although so many advantages is little used and one of the factors is the lack of adequate infrastructure. The research aimed to develop a methodology that can objectively evaluate the quality of existing infrastructure in the city of Curitiba, which is divided into three categories: bike paths, bike lanes and shared tours. The evaluation was carried out using a methodology proposed by the authors (CicloAção), divided into three major groups of infrastructure: the road, the surroundings and the signaling. In the end it was possible to obtain an index capable of evaluating the quality of the cycle infrastructure, where it is worth noting that only the bike tracks obtained scores above 6. The shared tour category obtained the lowest score and, because it had the largest extent, reduced the final index. Through this note one can perceive the need to prioritize investment in existing infrastructure.*

**KEYWORDS:** Sustainable Urban Mobility, Cycle mobility, Cycle Infrastructure



## **1. INTRODUÇÃO**

O crescimento das cidades de forma acelerada fez com que o padrão de mobilidade urbana passasse por fortes modificações nos últimos anos e há muitos questionamentos sobre a utilização de parâmetros sustentáveis em seu planejamento (IPEA, 2016).

Nesse processo o modo de transporte motorizado, especificamente representado pelo veículo individual foi o que mais se popularizou por diversos fatores principalmente relacionados a inadequação ao transporte coletivo como: falta de conforto, alto custo da tarifa, tempo de viagem, entre outros.

Em uma análise feita no período de 2008 e 2018 foi possível perceber que a taxa de utilização de automóveis teve um aumento expressivo (Observatório das Metrôpoles, 2019). Circunstância que traz adversidades para o usuário, a cidade e o meio ambiente. Ele é responsável, entre outras coisas, pelo tráfego intenso, poluição sonora, poluição atmosférica, entre outros fatores (MAGAGNIN, 2008).

Por esse motivo meios de transporte alternativos têm sido muito discutidos nos últimos anos, entre esses meios está o transporte por bicicleta, que se mostra muito vantajoso por ser de baixo custo, trazer benefícios para a saúde e ocupar pouco espaço para trafegar na cidade. Contudo, para que haja o estímulo à utilização desse modo, deve haver infraestrutura adequada, de forma que os usuários se sintam seguros e confortáveis ao utilizá-lo.

Assim, tem-se como objetivo principal deste artigo desenvolver uma proposta de metodologia de avaliação da infraestrutura ciclável para a cidade de Curitiba, mas que também possa ser aplicável em diferentes cidades. E que, ao final, resulte em um número (índice) que possa servir como indicador da qualidade dessas vias.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Mobilidade Urbana Sustentável e a Ciclomobilidade**

Com o crescimento das cidades de forma rápida e pouco ordenada, surgiu o termo “mobilidade urbana”, que se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano (Ministério das Cidades, 2005). Entretanto percebeu-se que somente a visão clássica de mobilidade não era suficiente para atender as necessidades e manter a qualidade de vida, surgiu então a mobilidade urbana sustentável.



O conceito de mobilidade urbana sustentável se popularizou ao observar a crescente taxa de motorização e mudanças nos hábitos de deslocamento. Ele consiste em suprir as necessidades de mobilidade dos seres humanos, de forma que haja proteção do meio ambiente, buscando não afetar o atendimento de demandas das gerações futuras (IPEA, 2016). Buscando a união de três pilares: ambiental, econômico e social, de forma que eles estejam relacionados.

A crescente utilização dos meios de transporte individuais motorizados causa congestionamentos, que resultam em maior tempo de deslocamento, aumento no número de acidentes, maior emissão de gases tóxicos, entre outros impactos negativos. Para reverter esse quadro deve haver maior incentivo na mobilidade ativa e sustentável, priorizando os deslocamentos: a pé e por bicicleta. Este último, foco de estudo deste artigo.

O transporte por bicicleta se destaca, por ser um modal de baixo custo, que possibilita que os espaços urbanos sejam mais sustentáveis e melhor aproveitados, trazendo benefícios para os usuários e as cidades.

## **2.2 Metodologias de Avaliação Examinadas**

Para construção da metodologia de avaliação de Curitiba foram analisados diferentes métodos, mas foram listados aqui apenas os que tiveram maior contribuição na escolha dos indicadores.

O método chamado de “Ciclabilidade” foi desenvolvido por Rietveld e Daniel (2004) e foi aplicado em diversas cidades da Holanda com o objetivo de investigar o que instiga o uso de bicicleta pelos usuários. Os parâmetros da pesquisa foram focados no bem estar do usuário, por isso se um mesmo trecho for realizado com diferentes objetivos (Ex: Para transporte e lazer), os resultados podem ser diferentes, pois fatores são percebidos de formas diferentes.

Outro método considerado foi um estudo de caso realizado em Pelotas-RS por Sabrina Real Rau (2012), a avaliação foi realizada através da aplicação de um questionário entre os usuários. O resultado final foi a obtenção de uma ficha com os dados de cada via focados em segurança e infraestrutura.

O Índice de Desenvolvimento da Infraestrutura Cicloviária (IDECICLO) foi o que teve maior contribuição no desenvolvimento da metodologia para Curitiba, pois o sistema de pontuação que utilizamos foi adaptado e muitos dos parâmetros foram extraídos do



IDEICICLO. Neste método, criado pela Associação Metropolitana de Ciclistas do Grande Recife (AmeCiclo, 2013), tem como objetivo avaliar as vias destinadas ao transporte por bicicleta de forma qualitativa através de parâmetros concentrados na segurança e conforto do usuário para, ao final, gerar um índice que representa o desenvolvimento da infraestrutura da cidade. Inicialmente ele foi aplicado em Recife, mas posteriormente outras cidades de Pernambuco foram avaliadas.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Construção da Metodologia Cicloação**

Após a análise das metodologias citadas anteriormente, foram selecionados apenas os parâmetros que tinham alguma relação com a infraestrutura relacionada e também foram criados alguns parâmetros novos.

O IDEICiclo foi o método que mais se enquadrou na proposta, mas a forma como foi aplicado nas cidades iniciais apresentava parâmetros não essenciais para Curitiba e para a proposta dessa pesquisa, que é avaliar a infraestrutura disponível na cidade.

Decidiu-se então, manter o sistema de notas que vai de zero a dez (utilizado na IDEICICLO) para gerar um índice ao final equivalente que possa servir como meio de comparação de vias. Para cada um dos parâmetros foi indicado verbalmente e com fotos o que deveria ser considerado como 0, 5 ou 10, sendo zero péssimo e 10 excelente de acordo com o ideal indicado em cada parâmetro.

Houve a montagem de um questionário contendo uma explicação sobre os objetivos e todas as informações sobre cada parâmetro, que no total possui 13 páginas e busca padronizar a avaliação, mesmo que seja baseada na experiência do usuário. (Figura 1).

**b) Condição do Pavimento**

A condição do pavimento é um dos parâmetros responsáveis pelo conforto e velocidade do usuário na pista. Ela foi dividida em três categorias, as quais estão exemplificadas abaixo:



0 - Péssimo estado de conservação	Inserir a nota abaixo
5 - Asfalto mal compactado (mole) ou muito fissurado	
10 - Em bom estado	

Figura 20 - Exemplo de como os parâmetros foram expostos no questionário

Fonte: Questionário de Avaliação, criado pela autora

O questionário foi dividido em três áreas (Tabela 1) de acordo com o tipo de infraestrutura avaliada .

*Tabela 9. Parâmetros utilizados na metodologia Cicloação*

Infraestrutura da Via	Infraestrutura do Entorno	Infraestrutura de Sinalização
Largura	Presença de Via no Sentido Oposto	Sinalização Horizontal nos Cruzamentos
Condição do Pavimento	Iluminação	Sinalização Horizontal nas Quadras
Presença de Obstáculos	Presença de Paraciclo ou Bicicletário	Sinalização Vertical
Sinuosidade	Quantidade de Acessos de Carros	
Presença de Rampa de Travessia		
Declividade		
Padrão de Pintura		
Condição da Pintura		

Fonte: Criado pela autora

Cabe destacar que nem todos se aplicam a todas as vias, pois ciclovias e ciclofaixas possuem algumas necessidades que passeios compartilhados não necessitam.

Para verificação da eficácia do questionário, foi realizado um trecho piloto (antes da pandemia) por um ciclista da Cicloiguaçu (Associação de Ciclistas da Auto Iguaçu, fundada em Curitiba no ano de 2011), que apontou as mudanças necessárias e sugeriu avaliar a presença ou não de rampa de travessia.

Após adaptações para o questionário final, foi criada uma versão reduzida, no Google Forms para facilitar o preenchimento da avaliação em campo. Mas para utilizá-lo era



necessário ter conhecimento da versão completa, pois as informações solicitadas eram as mesmas.

A metodologia foi estruturada para que a avaliação fosse feita em campo, mas devido à pandemia do COVID-19, que, em março de 2020, obrigou um período de isolamento social, esta pesquisa precisou ser adaptada para que tivesse continuidade, e foi então que optou-se dar executar analisando trechos através do *Google Street View* e *Google Maps*. Pois alguns trechos entre vias precisariam ser realizados de ônibus, que é um local pouco conveniente de ser utilizado no cenário atual.

Com a necessidade de avaliação por meio de softwares quase todos os parâmetros propostos foram adaptados, apenas o parâmetro “Presença de Rampa de Travessia” não pôde ser avaliado.

### **3.2 Caracterização da Área de Estudo: Curitiba**

Curitiba é a capital do Estado do Paraná, fundada em 1693 por Matheus Martins Leme. A cidade possui sistema de transporte dos seguintes tipos: veículo motorizado individual, transporte público (linhas troncais, alimentadoras e convencionais), transporte por bicicleta e a pé. Mesmo a capital sendo reconhecida internacionalmente pelo sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) utilizado e copiado em diversas cidades de muitos países, apresenta uma das maiores taxas de motorização do país. Em 2018 era de 74,8 automóveis para cada 100 habitantes (Observatório de Mobilidade Urbana, 2018). No plano diretor da cidade existe a previsão de aumento de extensão na malha cicloviária de Curitiba para os próximos anos.

A área de estudo foi escolhida com o objetivo de evidenciar a real condição da infraestrutura cicloviária de Curitiba. Por isso optou-se por avaliar apenas ciclovias, ciclofaixas e passeios compartilhados como áreas de estudo, ficaram de fora as vias compartilhadas, ciclorrotas e vias descaracterizadas por não apresentarem parâmetros de padronização. O que representa aproximadamente 176 quilômetros a serem avaliados, que estão divididos da seguinte forma: 31,1 km de ciclovias; 43,8 km de ciclofaixas e 100,8 km de passeios compartilhados.

### **3.3 Cálculo do Índice**



Para o cálculo do índice, este foi dividido em três partes, que tiveram como base o cálculo do IDECICLO: nota da via, nota da categoria (ciclovias, ciclofaixa e passeio compartilhado) e nota final.

A nota da via é definida através de média aritmética (1), como na equação abaixo:

$$Nv = \Sigma p/pt \quad (1)$$

Onde:

p: Nota obtida em cada parâmetro / pt: Quantidade de parâmetros aplicados na via

Para cálculo da nota de cada categoria de via é realizada uma média ponderada na qual a nota da via é multiplicada pela sua extensão e dividida pela extensão total da categoria, que ao final são somadas. (2). Conforme equação abaixo:

$$Nc = \Sigma [(Nv \times Dv) / Dc] \quad (2)$$

Onde:

Nc: Nota da Categoria / Nv: Nota da Via / Dv: Extensão da Via em quilômetros / Dc: Extensão da categoria em quilômetros

Essa divisão é realizada para fazer com que notas de vias de pouca extensão não tenham o mesmo peso na nota individual que ciclovias de maior extensão.

E para o cálculo do índice de desenvolvimento da infraestrutura cicloviária geral também é realizada uma média ponderada entre a nota de cada categoria multiplicado pela sua extensão e dividido pela extensão total (3), conforme a seguinte equação:

$$NF = \Sigma [(Nc \times Dc) / Dt] \quad (3)$$

Onde:

NF: Nota final / Nc: Nota da Categoria / Dc: Extensão da categoria em quilômetros / Dt: Extensão total em quilômetros.

A nota final resultará em um número entre zero e dez, em que zero indica que o péssimo e dez ótimo e pode ser considerado dentro de um dos intervalos dispostos na Tabela 2 abaixo:

Tabela 10. Relação entre os possíveis valores de nota final e seus significados

0 - 2,0	2,1 - 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,0	8,1 - 10,0
Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo

Fonte: Criado pela autora

## 4. RESULTADOS

A extensão analisada neste estudo totaliza 167,4 km que foram localizados e classificados através do auxílio do Google Maps, o que não representa a quilometragem total, pois nem todos os trechos foram encontrados.

Os dados foram analisados considerando as médias ponderadas das seguintes categorias: ciclovias, ciclofaixa e passeio compartilhado.

### 4.1 Ciclovias

São em sua totalidade vias bidirecionais com largura entre 2,01m e 2,49m, 67% da extensão total, recebeu avaliações de asfalto em ótimo estado de conservação e de trecho com pouca sinuosidade. Foram percebidos alguns obstáculos que exigem maior atenção do ciclista, porém apenas 2km foram avaliados como trecho muito íngreme e a pintura encontrase em bom estado nos poucos trechos em que está presente.

O sistema de iluminação é exclusivamente feita pelos postes de iluminação geral, apenas uma via apresentou paraciclo e foram encontrados dois modelos que estão representados na Figura 2, portanto neste quesito a via mostrou-se ineficiente considerando a distância entre eles. No geral, também foi identificado um grande número de acessos para carros que atrapalham o tráfego nas ciclovias.



Figura 2. Dois modelos de paraciclo encontrados.

Fonte: Google Street View

Por fim, de acordo com a metodologia deste estudo a categoria ciclovias recebeu a nota de 5,41 para 18,5 km avaliados. Considerado regular, de acordo com a escala criada.

### 4.2 Ciclofaixas

Todas as vias analisadas são unidirecionais com largura entre 1,01m e 1,49m, apresentam asfalto em ótimo estado durante todo o percurso, apesar de manifestar alguns obstáculos que exigem maior cuidado por parte dos ciclistas. Os trechos estudados são em

sua maioria retos, poucos sinuosos ou íngremes. Cerca de 33% dessa categoria é dotada de sistema de iluminação exclusivo, como pode-se notar na Figura 3.



Figura 3. Poste de iluminação direcionada e sinalização vertical e horizontal

Fonte: Google Street View

Na Figura 3 também é notável a presença de sinalização vertical e horizontal, assim como pode-se perceber que o pavimento é satisfatório. Os critérios citados foram classificados como “em ótimo estado de conservação” em 100% das vias analisadas.

Nesta categoria também foram identificados: via de sentido oposto a menos de 200m; grande número de trechos de carros que prejudicam o trajeto; falta de paraciclos na maioria das vias.

As ciclofaixas, em sua maioria, são as mais novas implantadas na cidade e tiveram a melhor avaliação em todos os aspectos analisados. Esse tipo de estrutura apresentou boas críticas sobre as condições do pavimento e a periódica manutenção das sinalizações verticais e horizontais.

Dadas as características e de acordo com o método estudado, as ciclofaixas de Curitiba receberam a nota 6,89 para 24,9 km avaliados. Considerado bom, de acordo com a escala.

### 4.3 Passeio Compartilhado

Esta categoria, foi separada de acordo com o sentido do tráfego em cada um dos trechos analisados. Sendo assim, 96,53km eram bidirecionais com largura média abaixo de 2m e apenas 27,5km unidirecionais com largura média entre 1,01m e 1,49m.

Os passeios compartilhados apresentaram baixa declividade na maioria dos trechos, porém contam apenas com a iluminação provenientes de postes de rua. Os trechos desta categoria são bastante sinuosos, se comparado aos outros, o asfalto encontra-se com fissuras, algumas provenientes de erosões do solo (Figura 4).



Figura 4. Vias desconformes e com fissuras

Fonte: Google Street View

Das vias avaliadas 70% apresentaram diversos obstáculos que dificultam o fluxo de tráfego. Alguns, chegam a interditar totalmente o trajeto, o que obriga o ciclista a descer da bicicleta ou sair da pista. Alguns exemplos estão na Figura 6.



Figura 21. Placa, poste e vegetação excessiva interditando o trânsito em Passeio Compartilhado

Fonte: Google Street View

A pintura estava em perfeito estado, porém foi observada em menos de 40% da malha, quando em vias mais movimentadas ou em obras recentes, as demais apresentam bastante desgaste. Apenas dois trechos dispunham de paraciclos, mostrando-se novamente ineficientes quanto ao intervalo de distância entre eles. Além disso, durante o percurso foram identificados muitos trechos de acesso para carros, estes em sua maioria não atrapalharam no trajeto.

Depois de analisar todos os trechos, podemos classificar as estruturas de passeio compartilhado com a nota 4,75 para 124,03 km analisados. Considerada regular conforme tabela definida na metodologia.

## 6. CONCLUSÕES

Para o cálculo do índice e comparação entre os resultados calculados foram utilizados os dados dispostos na Tabela 3. Com eles, o método e o cálculo para determinação do índice de qualidade das vias de Curitiba foi aplicado, chegando ao valor de 5,14, que pode ser considerado regular, conforme a escala definida na metodologia da pesquisa. Assim, pode-se concluir que ainda há muitos para evoluir nesse tipo de infraestrutura, o que indica que



apenas construir novas vias não será suficiente para que haja maior utilização da bicicleta na cidade.

Tabela 11. Resumo das notas finais de cada categoria e suas quilometragens totais.

Categoria	Nota	Extensão (km)
CICLOVIA	5,41	18,5
CICLOFAIXA	6,89	24,9
PASSEIO COMPARTILHADO	4,75	124,03

Fonte: Elaborado pela autora

Através da análise dos resultados obtidos é possível perceber que cerca de 74% da infraestrutura disponível é classificada como passeio compartilhado ou também chamado de ciclofaixa sobre calçada. Em sua maioria, não apresentaram nenhum tipo de sinalização horizontal ou vertical, o que além de dificultar a identificação por meio dos ciclistas, pode gerar acidentes envolvendo pedestres.

Ficou clara a preocupação na construção da malha, como um todo, em trajetos pouco íngremes e pouco sinuosos. Porém, a iluminação e a presença de paraciclos deixou a desejar em todos os quilômetros avaliados.

Com estas análises, as próximas implementações à malha cicloviária de Curitiba poderão ser mais planejadas de acordo com a experiência do ciclista. Conclui-se que a manutenção de pintura, estrutura e iluminação precisam ser feitas com maior frequência, assim como a discussão de uma maior acessibilidade para todos os bairros da cidade, os quais atualmente não são contemplados em sua totalidade.

Vale ressaltar que esta aplicabilidade foi feita através de auxílio computacional, que, entende-se não ser a melhor opção, entretanto, em tempos de isolamento social foi a alternativa possível mediante tal situação. Interessante seria a aplicação desta in loco, quando possível for, inclusive para fins de comparação, afinal, a percepção do usuário estaria ali envolvida.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à professora Márcia de Andrade Pereira Bernardinis pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa e à Fundação Araucária por todo apoio financeiro recebido em forma de bolsa estudantil e por desempenhar um papel de incentivo a pesquisa na Universidade Federal do Paraná.



## REFERÊNCIAS

AMECICLO (2016). Índice de Desenvolvimento da Estrutura Ciclovitária - IDECICLO. Recife, Pernambuco, Brasil. Disponível em: <shorturl.at/uxDH6>. Acesso em: 13 ago. 2019.

CARDOSO, M. Análise de Alternativas de Infraestrutura Ciclovitária em um Trecho com Base no Plano Diretor Ciclovitário Integrado de Porto Alegre - RS. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: <shorturl.at/nwBFO>. Acesso em: 07 ago. 2020.

CARVALHO, C.H.R (2016). Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, Tendências e Reflexões. IPEA. Disponível em : <shorturl.at/wyC56>. Acesso em: 23 fev. 2020.

CÉSAR, Y. B. (2014). Avaliação da Ciclabibilidade das Cidades Brasileiras. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. Disponível em: <shorturl.at/zDLO1>. Acesso em: 18 set. 2019.

COELHO, O. F.; SACCARO, N. L. Jr. Cidades Cicláveis: Avanços e Desafios das Políticas Ciclovitárias no Brasil. IPEA, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <shorturl.at/rxIWY>. Acesso em: 19 jul. 2020.

COSTA, M. S. Um índice de mobilidade urbana sustentável. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/T.18.2008.tde-01112008-200521. Disponível em: <shorturl.at/bjEKU>. Acesso em: 05 fev. 2020.

MAGAGNIN, R. C.; SILVA, A.N.R (2008). A Percepção do Especialista Sobre o Tema Mobilidade Urbana. Revista Transportes, v. XVI, n.1, p. 25-35, junho. Disponível em: <shorturl.at/rwORZ>. Acesso em: 05 fev. 2020.

Observatório das Metrôpoles (2019). Mapa da Motorização Individual no Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em: <shorturl.at/hnxyO>. Acesso em: 16 mar. 2020.

RAU, S. L. (2012). Sistema Ciclovitário e suas Potencialidades: O Caso de Pelotas/RS. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Disponível em: <shorturl.at/aotET>. Acesso em: 06 set. 2019.



# OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES A PARTIR DO ROTEAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRANSBORDO E TRIAGEM: O CASO DE CARAPEBUS-RJ

*Maíra Moraes Duarte<sup>1</sup>; Conrado Vidotte Plaza<sup>2</sup>; Beatriz Rohden Becker<sup>3</sup>; Glaydston Mattos Ribeiro<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/Macaé, [Imaiiramduarte@gmail.com](mailto:Imaiiramduarte@gmail.com), [2conradoplaza@macae.ufrj.br](mailto:2conradoplaza@macae.ufrj.br), [3beatrizrbecker@gmail.com](mailto:3beatrizrbecker@gmail.com)*

*<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE, [4glaydston@pet.coppe.ufrj.br](mailto:4glaydston@pet.coppe.ufrj.br)*

## RESUMO

A quantidade de resíduos gerados pelas atividades humanas, aliado à escassez de locais apropriados e longas distâncias para sua disposição final tem apresentado grandes desafios a serem enfrentados pelas administrações municipais e pela comunidade geradora de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSDs). Dada a importância do gerenciamento adequado dos RSDs, este trabalho tem como objetivo elaborar propostas para otimização do sistema de coleta de RSD do município de Carapebus - RJ, visando a redução da produção quilométrica e avaliar os benefícios decorrentes da implantação de uma Estação de Transferência de Resíduos Sólidos (ETRS) na logística da coleta. Para isso, utilizou-se de uma metodologia baseada em análise de cenários, assistido por um SIG-T (neste caso, o *software* Caliper TransCAD). A análise dos resultados dos dois cenários propostos, comparados ao sistema atual (*Cenário 0*), indicou redução na produção quilométrica semanal total de até 54%. Maiores reduções foram obtidas para o *Cenário 2*, que considerou a implantação de um sistema de coleta por Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e uma ETRS. Espera-se que este estudo possa contribuir para a gestão dos RSDs no município e evidenciar a aplicabilidade de ferramentas computacionais para o planejamento logístico da coleta de resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos urbanos, Gerenciamento de resíduos sólidos, Roteamento para coleta de resíduos sólidos, Estação de Transferência de Resíduos Sólidos (ETRS)

## ABSTRACT

*The amount of generated waste by human activities, associated with the shortage of appropriated places and long distances for final disposal have presented as major challenges to be faced by municipal administrations and the generating community of Household Solid Waste (HSW). Given the importance of the adequate management of HSW, this work aims to develop proposals to optimize the HSW collection in the city of Carapebus - RJ, Brazil, aiming at reducing the kilometer production and the evaluation of the impacts from the Solid Waste Transfer Station (SWTS) implementation in the collection logistics. The methodology based on scenarios evaluation was used. The scenarios were assisted by a GIS-T (in this case, the software Caliper TransCAD). The results of the two proposed scenarios, compared to the current HSW collection system (Scenario 0), indicated a reduction of up to 54% in the weekly kilometer production. Greater reductions were obtained for Scenario 2, which considered both the implementation of a collection system based on Voluntary Delivery Points (VDPs) and one SWTS. It is expected that this study can contribute to the HSW management in the city and highlight the applicability of computational tools for the logistical planning of waste collection.*

**KEYWORDS:** Urban solid waste, Solid waste management, Routing for solid waste collection, Solid Waste Transfer Station (SWTS)



## 1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a população mundial, hoje de 7,4 bilhões, gere entre 2 e 3 bilhões de toneladas de lixo por ano. No Brasil, em 2017, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) foi de 78,4 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017). Uma vez que a maioria das cidades brasileiras não possui aterro sanitário próprio, é usual o transporte destes resíduos para áreas distantes das concentrações urbanas, até um destino ambientalmente correto. Isto se deve, dentre outros fatores, aos altos custos dos terrenos (já que necessita-se de grandes extensões), às exigências ambientais e à resistência da população em aceitar a implantação de aterros sanitários próximo de suas residências (MONTEIRO, 2001).

O crescimento populacional, o aumento na geração de resíduos pelas atividades humanas, a escassez de locais apropriados para o descarte de RSUs e o distanciamento cada vez maior destes em relação aos centros de geração e coleta têm proporcionado consequências significativas aos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos, apresentando grandes desafios a serem enfrentados pelas administrações públicas. Como exemplo, destaca-se o alto custo de transporte, proporcional aos longos trajetos percorridos até os aterros. Por conta disso, a Estação de Transferência de Resíduos Sólidos (ETRS) torna-se uma parte estratégica dos atuais sistemas de gestão municipal de resíduos sólidos (MEDEIROS, 2013). Com instalação próxima ao centro de massa de geração de resíduos, visam a transferência dos volumes coletados por caminhões de menor capacidade para caminhões maiores, reduzindo-se o número de viagens até os aterros. Essas Estações permitem, ainda, caso haja triagem, promover a separação adequada dos resíduos a serem destinados à reciclagem, reduzindo a quantidade de lixo enviada para o aterro sanitário. Assim, a implantação de uma ETRS pode trazer tanto ganhos ambientais (redução na emissão de CO<sub>2</sub> e aumento da vida útil de aterros sanitários) quanto econômicos (associados aos custos logísticos).

Dada a importância do gerenciamento adequado dos RSUs, este trabalho visa elaborar propostas para a otimização do sistema de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) do município de Carapebus - RJ, visando a redução da produção quilométrica e avaliar os benefícios decorrentes da implantação de uma ETRS na logística da coleta.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Philipp Jr e Aguiar (2005 apud PARAVIDINO e DOS SANTOS PINTO, 2017) afirmam que a urbanização brasileira foi conduzida sem infraestrutura adequada e carente de melhorias dos serviços públicos disponíveis para atender as crescentes demandas populacionais. Como resultado, verificou-se o agravamento de problemas socioambientais, disseminação de doenças e a necessidade de um novo olhar para a gestão de determinados serviços, como o gerenciamento de resíduos sólidos. Estes, conhecidos vulgarmente por “lixo”, podem ser constituídos de uma mistura de resíduos produzidos nas residências, comércio e serviços e nas atividades públicas (BRAGA *et al.*, 2005).

O gerenciamento dos RSUs, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei 12.305/2010, é definido como o conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transferência, tratamento, destinação final e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos gerados na cidade. Tais etapas tornaram-se um desafio aos responsáveis pelas tomadas de decisão devido, na maioria das vezes, à falta de recursos financeiros e humanos. A coleta e transporte são as etapas mais importantes, pois correspondem de 50% a 80% dos custos, devendo ser planejadas para não gerar gastos excedentes (BRASILEIRO e LACERDA, 2008).

A gestão dos RSUs deve garantir a universalização dos serviços prestados e regularidade das coletas, sejam eles domiciliares, de feiras livres, de calçadas ou estabelecimentos públicos (FUNASA, 2004). As estratégias de coleta mais utilizadas no Brasil são: porta-a-porta, no qual o veículo percorre a extensão total das vias, coletando os resíduos sólidos domiciliares (RSD) previamente depositados em frente aos domicílios e estabelecimentos comerciais e; Pontos de Entrega Voluntária (PEV), que consiste na colocação de caçambas, *containers* ou um conjunto de lixeiras (que podem se diferenciar por cores) em locais públicos estratégicos para que seja feito o descarte dos resíduos.

Depois de coletados, os resíduos são encaminhados para a disposição final. O destino mais utilizado no Brasil e ambientalmente correto é o aterro sanitário. No entanto, a falta de grandes áreas em locais próximos aos centros urbanos que atendam as exigências de construção de aterro sanitário e o crescente aumento na geração de resíduos faz com que seja necessário percorrer grandes distâncias para alcançar estes destinos finais, que podem estar localizados em municípios adjacentes. Visando diminuir a distância total percorrida para a destinação final dos RSUs, principalmente quando este localiza-se a uma distância superior



a 25 km, pode-se implantar Estações de Transbordo de Resíduos Sólidos - ETRS (BRIDE, 2008; FUNASA, 2004; PEREIRA, 2013; NUNES e SILVA, 2015).

Localizadas estrategicamente próximas aos centros de massa de geração dos RSU, as ETRSS permitem o traslado dos resíduos de um veículo coletor (quando tiver atingido sua capacidade máxima) para outro veículo com capacidade maior, como, por exemplo, carretas e caminhões *roll on roll off*, que, por sua vez, percorrem o trajeto até os aterros. O transbordo se torna ainda mais vantajoso se houver triagem por possibilitar a separação dos materiais do fluxo de resíduos e identificar aqueles que possam ser inadequados para eliminação ou reciclados, diminuindo a quantidade de resíduos transferidos para os aterros sanitários. Dentre as principais vantagens das ETRSS estão: redução do tempo ocioso do serviço de coleta, do custo de transporte e do consumo de combustível por reduzir viagens ao aterro, contribuindo, ainda, para a minimização das emissões dos gases de efeito estufa.

### **3. ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

São diversos os problemas que podem ser modelados e solucionados com o emprego de técnicas de Pesquisa Operacional. Dentre as várias aplicações dos Problemas de Roteirização de Veículos (PRV), tem-se o sistema de coleta dos RSDs, foco principal deste trabalho. Podem ser considerados como objetivos para a coleta de RSDs a minimização da distância, do custo e do tempo totais de coleta. Para isto, o uso de modelos matemáticos associados à capacidade de análises espaciais (a partir de Sistemas de Informação Geográfica - SIG) tem sido foco de estudos em sistemas de gerenciamento ambiental (LACERDA, 2003). De acordo com Keennn (1998 apud Lacerda, 2003), algumas características padrões distinguem os PRVs e afetam a modelagem de problemas de sistemas de coletas de RSDs. Entre as mais importantes estão: a localização da demanda (em nós ou ao longo dos arcos da rede), a restrição de capacidade do veículo e o objetivo, que definirá as rotas.

No Problema de Roteirização em Arcos, a demanda de RSD está localizada em pontos próximos entre si ao longo dos arcos viários (como casas ao longo de ruas ou avenidas), simulando o sistema porta-a-porta. O objetivo consiste em encontrar uma rota que percorra todos os arcos uma única vez, minimizando a distância total percorrida e, conseqüentemente, os custos de operação. Já no Problema de Roteirização em Nós, a demanda de RSD localiza-se sobre pontos específicos da rede viária, simulando o sistema de coleta por PEVs. Assim, para o roteamento, os veículos devem percorrer todos os pontos de PEV e não mais todos os



arcos, minimizando as distâncias percorridas e, conseqüentemente, o número de veículos necessários para coleta de resíduo - observando as restrições de capacidade do veículo e a carga de trabalho dos funcionários (LACERDA, 2003; ROVIRIEGO, 2005). Este estudo utilizou tanto as características envolvendo roteirização de veículos em arcos quanto em nós, como apresentado na seção a seguir.

#### **4. ESTUDO DE CASO: PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS E RESULTADOS**

Por ter seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) recém desenvolvido, o município de Carapebus - RJ, localizado na região Norte Fluminense, foi selecionado como objeto de estudo. Semelhante à maioria das cidades brasileiras, a cobertura do serviço de coleta de RSD atinge 91,76% dos 13.359 habitantes (AGEVAP, 2020; IBGE, 2010). Os roteiros de coleta são definidos e traçados manualmente com base na experiência de trabalho das equipes, não havendo estudo ou planejamento que certifique sua eficácia.

Quanto à destinação final dos RSU, o município não possui aterro sanitário devido às exigências ambientais e os elevados custos para instalação e operação. Assim, o município utiliza um aterro sanitário localizado a 37 km de distância de Carapebus. Ao fim da coleta diária, caso o caminhão atinja a capacidade máxima, este destina-se ao aterro sanitário para efetuar o descarregamento do veículo. Caso contrário, os caminhões voltam para a garagem ainda com o material retido em seu interior para que aguardem seu carregamento total em uma próxima coleta. As longas distâncias percorridas até o aterro sanitário pelos caminhões de coleta, uma vez que não há ETRSs no município, eleva consideravelmente os custos operacionais do sistema, além do tempo dispendido para o cumprimento destas viagens, dificultando a logística da coleta e contribuindo na maximização da emissão de gases de efeito estufa. Neste contexto, a partir do dimensionamento da demanda de RSD, avaliou-se os benefícios decorrentes da otimização do sistema atual porta-a-porta, no *Cenário 1*, quanto da implantação de PEVs e uma ETRS, no *Cenário 2*, como descrito a seguir.

##### **4.1. Geração de RSD: dimensionamento da demanda**

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do município (AGEVAP, 2020), são coletados cerca de 500 t de RSU por mês, não havendo informações de geração domiciliar no município ou, ainda, por região administrativa. Visando estimar esta informação, a partir da massa de RSD per capita, que é de 1,14 kg/hab.dia (SNIS, 2017), do



total de RSU gerado e do número de habitantes em cada região da cidade, divulgada pelo Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), foi possível obter a quantidade de RSD gerada por região administrativa e a quantidade total diária produzida na cidade (Tabela 12).

Tabela 12 - Geração de RSD por região administrativa.

<b>Regiões Administrativas</b>	<b>Número de habitantes</b>	<b>Geração de RSD média (Kg/hab.dia)</b>
CENTRO	8.173	9.317,22
UBÁS	3.320	3.784,80
RODAGEM	1.748	1.992,72
PRAIA DE CARAPEBUS	116	132,54
<b>Total:</b>	<b>13.357</b>	<b>15.229,26</b>

## 4.2 . Elaboração de cenários e resultados

Visando analisar diferentes alternativas à situação atual de manejo de RSD em Carapebus, foram criados diferentes cenários de avaliação, como descrito nesta seção. A avaliação dos cenários propostos foi realizado utilizando-se a ferramenta de roteamento do *software* Caliper TransCAD. A aplicação desta metodologia pode orientar a elaboração de planejamento estratégico de políticas públicas voltadas para esse setor.

### 4.2.1. Cenário 0: sistema atual de coleta

Visando confrontar as alternativas de operação do sistema de manejo de RSD propostas neste trabalho com a situação operacional atual de Carapebus, fez-se necessário reproduzir o sistema atual de coleta de lixo, denominado de *Cenário 0*. Caracterizado pelo sistema porta-a-porta de coleta, os 3 caminhões compactadores de 6,5t que constituem a frota devem percorrer todas as vias com produção de RSDs. Uma vez identificadas as vias com residências (produção de lixo), buscou-se, através do método de roteamento por arcos, construir itinerários que percorram todas as vias (arcos), uma única vez, minimizando a distância total percorrida. Adotou-se, respectivamente, as velocidades de 6 km/h e 40 km/h para as vias com e sem coleta de RSDs. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 13.

A média de quilômetros percorridos diariamente neste cenário foi de 515,5 km, incluindo a distância percorrida até o aterro. Já a média de resíduo recolhidos chega a 17,63 t/dia. Atenta-se para a alta solicitação na sexta-feira, que resultou em cinco rotas e,



consequentemente, cinco viagens ao aterro sanitário no mesmo dia, num total de 707,98 km percorridos. Observa-se também que, em onze das dezesseis rotas semanais, as distâncias percorridas para coleta são menores do que as distâncias percorridas até o aterro sanitário (rota 3 de segunda-feira, rota 3 de terça-feira, todas as rotas da quinta-feira e rotas 3,4 e 5 da sexta-feira). Verifica-se, ainda, que, para alguns casos, o caminhão termina o itinerário sem atingir a capacidade máxima do veículo (rota 3 de segunda-feira, rota 3 de terça-feira, rota 1 de quarta-feira, rota 3 de quinta e rota 5 de sexta-feira).

#### 4.2.2. *Cenário 1 - roteamento em arco: otimização do sistema porta-a-porta*

Durante a coleta e análise de dados, bem como na análise da simulação do *Cenário 0*, constatou-se que, ao fim de algumas rotas, o caminhão coletor não atinge a capacidade máxima de carregamento do veículo, sendo conduzido ou para o aterro sanitário ou para a garagem ainda carregado, o que não é adequado. Mantendo-se a característica atual do sistema de coleta porta-a-porta (roteirização por arco), o *Cenário 1* buscou elaborar rotas para a coleta de RSD a partir da maximização do carregamento dos veículos coletores, permitindo alterar tanto a ordem quanto a frequência semanal de coleta nos bairros. Para isso, foi utilizada uma frota de 3 veículos compactadores, dois com capacidade para 6,5t e um para 7,5t. O intuito deste cenário foi eliminar as viagens ao aterro sanitário sem que o caminhão coletor atingisse a capacidade máxima. Os resultados para esse cenário são apresentados na Tabela 13.

Quando comparados ao *Cenário 0*, verifica-se melhor aproveitamento da capacidade dos veículos coletores, resultando em menor quantidade de rotas diárias, sendo a sexta-feira o dia com maior quantidade (três, no total). A média diária percorrida foi de 469,7 km, 8,9% a menos que no *Cenário 0*. Como consequência desta redução de produção quilométrica semanal, destaca-se redução nos custos operacionais e nas emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 13 - Resultados da rotina de roteamento em arco para o *Cenário 0* e *Cenário 1*.

Identificação da Rota	Rota	Distância percorrida no setor de coleta (km)	Distância percorrida do setor ao aterro (ida e volta)	Total de lixo recolhido (kg)	Tempo de trabalho (h)	Bairros Servidos
<i>Cenário 0</i>						
<b>Segunda a Sábado (coleta noturna)</b>	1	122,85	72,4	4.021,12	12,20	Centro e Ubás
<b>Segunda-feira</b>	1	81,06	68,92	6.484,02	8,94	Ubás, Oscar Brito, Baixada e Santa Tereza
	2	132,09	68,73	6.484,87	13,94	
<b>Terça-Feira</b>	3	16,80	72,42	2.455,24	2,03	
	1	64,95	72,42	6.464,5	6,67	Sapecado, Centro, Caxanga, Praça Cordeiro e Baixada
	2	63,26	72,66	6.456,83	6,68	
<b>Quarta-Feira</b>	3	15,59	72,42	3.823,41	1,90	
	1	51,65	72,42	4.561,27	5,92	Centro e Baixada
<b>Quinta-feira</b>	1	51,87	72,52	6.426,06	5,31	Centro, Oscar Brito, Sapecado, Caxanga e Praça Cordeiro
	2	38,94	72,52	6.473,74	4,46	
	3	31,57	72,42	3.700,50	3,14	
	1	99,19	67,06	6.421,43	10,73	
<b>Sexta-feira</b>	2	109,91	67,79	6.483,47	11,74	Ubás, Oscar Brito, Baixada, Santa Tereza, Barreiros, Boa Vista e Praia
	3	31,34	72,33	6.494,97	4,13	
	4	68,85	74,09	6.346,43	6,42	
	5	44,95	72,74	2.593,11	4,63	
<i>Cenário 1</i>						
<b>Segunda a Sábado (coleta noturna)</b>	1	117,39	72,42	7.217,16	12,19	Centro e Ubás
<b>Segunda, Quarta e Sexta-feira</b>	1	45,97	72,42	6.377,64	5,18	Oscar Brito, Baixada e Praça Cordeiro
<b>Sexta-feira</b>	2	90,2	72,42	5.784,41	8,33	Praia e Boa Vista
<b>Terça, Quinta e Sábado</b>	1	120,71	72,42	6.325,11	12,99	Sapecado, Caxanga e Barreiros
	2	121,67	72,42	6.198,79	13,07	

#### 4.2.3. *Cenário 2 - roteamento em nós: implantação de ETRS e PEVs*

Visando reduzir a quilometragem percorrida, eliminou-se, neste cenário, as viagens dos caminhões coletores ao aterro sanitário, a partir da implantação de uma ETRS, e a necessidade de percorrerem todas as vias para a coleta dos RSD, instalando-se os PEVs.

Iniciou-se a implantação do sistema de coleta por PEVs com a localização estratégica dos pontos destinados ao depósito dos resíduos pela população. Para isso, levou-se em conta os fatores que podem influenciar significativamente a participação das pessoas nesse sistema de coleta, como a distância entre os usuários e os pontos de entrega. Os PEVs foram localizados nas interseções viárias e com distância de, no mínimo, 75 metros entre si, definida de forma a não gerar impedâncias para a população, servindo como estímulo para aderirem ao sistema. Ao todo, foram localizados 245 PEVs. O tempo de parada em cada



PEV é constituído por uma parcela fixa, de 1,5 minutos, e outra variável, em função da demanda a ser atendida, de 0,01 min/kg. A velocidade adotada nas vias foi de 30 km/h.

A localidade escolhida para a instalação da ETRS é utilizada pela Prefeitura do Município para disposição de resíduos considerados inertes, como os oriundos de poda de árvore, varrição e resíduos da construção civil. Com área aproximada de 22,1 mil m<sup>2</sup>, é capaz de atender as demandas atuais e previstas de RSD e os critérios apontados por Pereira (2013), baseado em estudos de proteção ambiental, além de estar próxima às rotas centrais de coleta e possuir acesso fácil à RJ-182, rodovia que leva ao aterro. No entanto, para este estudo, não foram avaliados os fatores sociais, ambientais e econômicos da instalação da ETRS, mas sim os benefícios logísticos para o sistema de coleta. Vale ressaltar que a estação pode ser projetada para, além de receber, também estocar os RSD coletados, reduzindo-se a necessidade de viagens semanais até o aterro. Porém, neste estudo, não considerou-se estocagem, apenas transferência, realizada por um caminhão *roll on roll off* com capacidade para 18 t, sendo necessária, ao menos, uma viagem diária ao aterro, com distância de 69,5 km, considerando ida e volta.

A partir da aplicação da rotina de roteamento por nó (pontos), observou-se reduções ainda maiores nas distâncias diárias percorridas pelos caminhões coletores quando comparado com os cenários anteriores, devido à instalação da ETRS e das características do sistema de coleta adotado, que eliminou a necessidade de transcorrer todo o sistema viário (atendimento porta-a-porta). Os resultados são apresentados na Tabela 14. A quilometragem média percorrida diariamente foi de 238,1 km (redução de 53,7% e 49,3% em relação ao *Cenário 0* e *Cenário 1* respectivamente). Ressalta-se que a média diária inclui a distância percorrida diariamente no traslado entre a ETRS e o aterro sanitário.

Tabela 14 - Resultados da rotina de roteamento em arco para o Cenário 2.

Identificação da Rota	Rota	Distância percorrida do setor à ETRS (km)	Total de lixo recolhido (kg)	Tempo de trabalho (h)	Bairros Servidos
<b>Segunda a sábado (coleta noturna)</b>	1	68,5	7217,3	4,67	Centro e Ubás,
<b>Segunda, quarta e sexta-feira</b>	1	22,1	6397,1	2,33	Oscar Brito, Baixada e Praça Cordeiro
<b>Terça, quinta e sábado</b>	1	73,1	6439,5	4,50	Sapicado, Caxanga ,
	2	83,4	6070,2	4,60	Santa tereza e Barreiros
<b>Sexta-feira</b>	2	65,0	5.784,3	3,17	Praia e boa vista



#### 4.2.4 Análise Geral dos Resultados

A Tabela 15 apresenta, para comparação, os totais semanais dos cenários avaliados. De forma geral, dentre as simulações realizadas, o *Cenário 2* apresentou maior redução na produção quilométrica semanal, podendo resultar em benefícios econômicos a partir da redução dos custos operacionais e nas jornadas de trabalho dos coletores.

Tabela 15 - Resumo dos resultados obtidos para uma semana de operação a partir dos cenários de simulação.

Cenários	RSD coletado (ton.)	Distância total percorrida dentro do setor de coleta (km)	Distância percorrida até o aterro sanitário (km)	Distância total percorrida (km)
<b><i>Cenário 0: sistema atual de coleta</i></b>	105,80	1.587,47	1.505,86	3.093,33
<b><i>Cenário 1: otimização do sistema porta-a-porta</i></b>	105,80	1.659,59	1.158,72	2.818,31
<b><i>Cenário 2: implantação da ETRS e PEVs</i></b>	105,80	1.011,80	417,00	1.428,80

O aterro sanitário, localizado a 37 km de distância de Carapebus, prejudica significativamente o sistema de coleta atual, fazendo com que os caminhões percorram grandes distâncias diárias para realizar o descarregamento, muitas vezes maiores que os percurso para coleta. Portanto, a implantação da ETRS no *Cenário 2* excluiu a necessidade excedente das viagens ao aterro sanitário pelo veículo coletor, principalmente quando este ainda não está totalmente carregado, garantindo maior produtividade do sistema e diminuição das distâncias percorridas. Como resultado do estudo de caso, observou-se que, em relação ao *Cenário 0* e *Cenário 1* respectivamente, a presença da ETRS reduziu em 72% (1.089 km) e 64% (742km) da quilometragem semanal para o aterro.

Analisando a distância total percorrida dentro do setor de coleta, nota-se que a implementação do sistema de coleta por PEVs (*Cenário 2*) resultou em redução de 36% e 39% quando comparado com o *Cenário 0* e *Cenário 1* respectivamente. Comparando-se o *Cenário 1* e *Cenário 0*, observou-se um aumento de 4,54% na distância total semanal percorrida dentro do setor de coleta, decorrente da maximização do uso do caminhão durante as coletas, atingindo, na maioria dos percursos, sua capacidade máxima.



## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo elaborar propostas para otimização do sistema de coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) do município de Carapebus – RJ, visando a redução da produção quilométrica e avaliar os benefícios decorrentes da implantação de uma Estação de Transferência de Resíduos Sólidos (ETRS). Para isto, foram construídos três cenários de avaliação: *Cenário 0*, que reproduziu o sistema atual de coleta do município; *Cenário 1*, que manteve a característica atual de coleta porta-a-porta, porém com otimização das rotas e; *Cenário 2*, com implantação da ETRS e PEVs. O processo de roteamento foi executado utilizando-se a ferramenta de roteamento do *software* Caliper TransCAD.

Identificou-se que o sistema atual de coleta é constituído por roteiros traçados manualmente com base na experiência de trabalho das equipes, sem planejamento que certifique sua eficácia. Atualmente, o aterro sanitário é localizado a 37 km de distância do município e não há ETRS. Quando comparados ao *Cenário 0*, os resultados obtidos para os cenários propostos indicaram redução de até 54% na produção quilométrica semanal, destacando-se a eficiência obtida na operação logística a partir da implantação de PEVs e da ETRS. Esta otimização operacional pode, ainda, trazer benefícios com a redução dos custos operacionais e de emissão de poluentes atmosféricos.

Como limitação deste estudo, destaca-se a ausência de informações precisas quanto à geração de RSD por regiões administrativas (ou por unidades menores de área) e informações exatas sobre os itinerários atuais dos veículos coletores, limitando a calibração do *Cenário 0*. No entanto, a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho apresentou resultados satisfatórios, podendo gerar informações relevantes para a elaboração de políticas públicas a serem adotadas pelo município para esse setor.

## REFERÊNCIAS

AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)**. Produto 4 - Diagnóstico Setorial. Carapebus, 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2017**. 2017.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos



Sólidos e outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso: 18 nov.2020.

BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. **Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v.13, n.4, p.356-360, 2008.

BRIDE, E. **Resíduos Sólidos Urbanos- Uma Proposta para Otimização dos Serviços de Coleta e da Disposição Final**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

PARAVIDINO, G. S. M., DOS SANTOS PINTO, V. P. **Resíduos sólidos, políticas públicas e educação ambiental**. In: IX EPEA – Encontro Pesquisa em Educação Ambiental. Juiz de Fora, 2017.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento: Orientações Técnicas**. Brasília, 2004.

LACERDA, M. G. **Análise de uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte**. Ilha Solteira, São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NUNES, R. R; SILVA, R. A. P. Transbordo de Resíduos Sólidos. **Revista Pensar Engenharia**, v.3, n.1, Janeiro, 2015.

MEDEIROS, R. B. *et al.* **Estudo de viabilidade de implantação de estação de transferência de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana de Florianópolis**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Florianópolis, 2013.

OLIVEIRA, R. L. **Logística reversa: a utilização de um sistema de informações geográficas na coleta seletiva de materiais recicláveis**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, 2011.

PEREIRA, C. D. *et al.* **Metodologia para implantação de estação de transferência de resíduos sólidos urbanos: um exemplo de aplicação**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2013.

ROVIRIEGO, L.F.V. **Proposta de uma Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com Ênfase em Transportes). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2017**.

---

# **EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS**

---

**Comunicações Técnicas**

---





## CAMINHABILIDADE NA ÁREA INTRAURBANA DE LAJEADO/RS

Mariana Sofia Auler<sup>1</sup>; Anelise Schmitz<sup>2</sup>; Matheus Lemos Nogueira<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade de Santa Cruz do Sul, <sup>3</sup> Universidade de Caxias do Sul

<sup>1</sup>eng.mariana.auler@gmail.com, <sup>2</sup>anelise.schmitz@gmail.com, <sup>3</sup>mlnogueira@ucs.br

### RESUMO

O Índice de Caminhabilidade - ICam avalia a forma que as características do meio urbano influenciam o caminhar. O objetivo desse trabalho foi calcular e avaliar o ICam na área intraurbana da cidade de Lajeado, RS, no ano de 2018, por meio de coleta de dados relacionada aos 15 indicadores sugeridos pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil) e da aplicação da versão 2.0 do ICam. Foram obtidos os resultados com indicação de cada segmento de calçada analisado para cada um dos indicadores e foi determinado o índice sintetizado, fornecendo um parecer geral da região delimitada pelo estudo, além da sugestão de melhorias. O ICam na área de estudo foi considerado suficiente. Foi sugerida a revisão da forma de coleta e avaliação de um indicador, além da realização de manutenções nas travessias e rampas, instalação de piso podotátil, *parklets* e implantação de medidas de *traffic calming*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caminhabilidade, mobilidade, pedestre.

### ABSTRACT

*Walkability assesses the way that the characteristics of the urban environment influence the act of walking. The objective of this study was to calculate and evaluate the Walkability Index in the central area of trade influence of the city of Lajeado, RS, in the year of 2018, through data collection related to the 15 indicators suggested by Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil) and through the adhibition of version 2.0 of the Walkability Index. The results were obtained with indication of each segment of sidewalk analyzed for each of the indicators and the synthesized index was determined, providing a general report of the region delimited by the study, in addition to the suggestion of improvements. The Walkability Index in the study área was considered adequate. It was suggested to review the way of data collecting and evaluating of some indicators, in addition to carrying out maintenance on the crossings and the ramps, tactile floor, parklets installation and implementation of traffic calming measures.*

**KEYWORDS:** Walkability, mobility, pedestrian.

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte individual motorizado tem sido muito questionado desde que o desenvolvimento sustentável das cidades entrou em pauta. Por isso, é cada vez mais comum, principalmente em países da Europa, o uso do transporte coletivo e do individual não motorizado (transporte ativo), caracterizado pelo andar de bicicleta e o caminhar.



Por definição, pedestre é quem anda a pé em vias públicas. Assim, todas as pessoas podem ser consideradas pedestres em algum momento do dia. De acordo com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento, o ITDP Brasil (2018), o meio de transporte mais fundamental e democrático é a caminhada. Segundo o Relatório Geral de 2014 da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP, 2014), 36% do total de viagens realizadas em cidades com população maior que 60.000 habitantes foram realizadas a pé. Esse número mostra a importância desse tipo de deslocamento e de se ter uma boa infraestrutura urbana para atender aos pedestres.

Nesse sentido, a pesquisa visou calcular e analisar o Índice de Caminhabilidade (iCam) da área intraurbana da cidade de Lajeado, RS, no ano de 2018 e diagnosticar os problemas que impedem ou dificultam a mobilidade dos pedestres.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

No Brasil, a maioria dos espaços urbanos favorecem os meios de transporte motorizados e deixam de lado a infraestrutura para pedestres. Essa característica tem impacto na forma como as pessoas se deslocam. Além disso, devido ao aumento da circulação de veículos, há uma piora na qualidade de vida e um aumento de problemas ambientais causados pela poluição (FARIA e LIMA, 2016).

“A cidade sustentável, do ponto de vista de transportes, é a que consome menos recursos para garantir a mobilidade. A substituição do automóvel por modos ativos atua nesse sentido.” Os modos ativos são favorecidos quando as distâncias entre origem e destino são encurtadas, diminuindo a necessidade de veículos motorizados e viabilizando o andar a pé (TORRES et al., 2017).

A caminhabilidade estimula a sustentabilidade urbana que está vinculada às questões de habitabilidade, equidade (social, física, distributiva, entre outras) e meio ambiente, cuja complexidade está ligada aos limites dos recursos naturais de uma cidade. O iCam revela questões muito significativas de uma cidade, entre elas: educação, política, urbanidade, saúde, bem-estar e vários outros aspectos (VIEIRA; PACKER; MENESES, 2016).

A caminhabilidade é um conceito ligado à condição do espaço urbano no que tange ao pedestre e avalia a forma que as características do meio urbano influenciam o caminhar. O iCam envolve as condições das calçadas, a mobilidade, as atrações e a segurança pública e

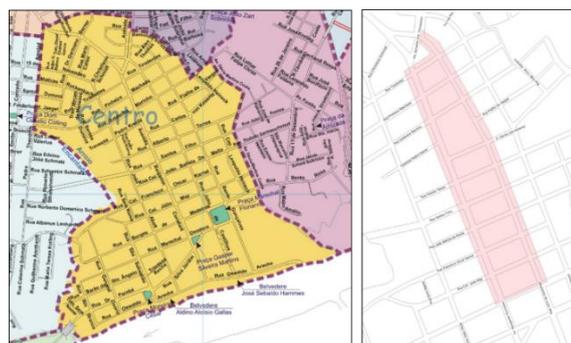
viária. Por ser um índice que abrange diversas características, é utilizado para realizar a avaliação de todos os aspectos que envolvem os deslocamentos a pé (ITDP Brasil; 2018).

De acordo com Vargas (2015), ainda há algumas ambiguidades sobre como medir a caminhabilidade. A determinação do índice engloba ambientes urbanos densos, com edificações compactas próximas umas às outras, ocupadas por atividades comerciais em seus térreos, com calçadas movimentadas, iluminação e tratamento do espaço público e controle do volume de tráfego motorizado. É importante determinar e avaliar o ICam de uma cidade para encontrar as deficiências na infraestrutura, na segurança pública e viária (ITDP BRASIL, 2018). Além disso, quando se tem calçadas em boas condições e com acessibilidade, acaba havendo um incentivo ao seu uso (AMÂNCIO E SANCHES, 2004).

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na área intraurbana, onde há influência do comércio da cidade de Lajeado, RS, conforme Figura 1, compreendida pela Rua Júlio de Castilhos, Avenida Benjamin Constant e as ruas transversais entre elas. A área considerada neste estudo é composta por 59 segmentos de calçada e 89 travessias. A coleta de dados foi realizada por meio de visitas em campo e consultas aos arquivos digitais fornecidos pela Prefeitura Municipal de Lajeado, fazendo análises visuais e uso de trena, luxímetro e decibelímetro para realizar as medições. Esta etapa da pesquisa ocorreu no segundo semestre de 2018 e teve duração de doze semanas.

Figura 1 - Área de estudo



Fonte: Autores baseado no mapa de Lajeado, RS (2018)

A avaliação considerou as seis categorias do índice (segurança viária, atração, calçada, ambiente, mobilidade e segurança pública), subdivididas em 15 indicadores (tipologia da rua, travessias, fachadas fisicamente permeáveis, fachadas visualmente ativas, uso público



diurno e noturno, usos mistos, pavimentação, largura das calçadas, sombra e abrigo, poluição sonora, coleta de lixo e limpeza urbana, dimensão das quadras, distância a pé ao transporte, iluminação e fluxo de pedestres diurno e noturno). Feito isso, os dados coletados foram inseridos na planilha Excel da versão 2.0 do iCAM, ferramenta desenvolvida pelo ITDP Brasil (2018) e disponível para uso geral e gratuito.

Com a planilha já programada pelo ITDP Brasil, foi possível calcular o ICam da região estudada. Por fim, esse índice foi avaliado de acordo com os resultados obtidos e foram sugeridas melhorias aos casos críticos. A pontuação geral ou de cada indicador calculado com auxílio da planilha resultou uma pontuação de zero a três. Sendo três a pontuação considerada ótima. De dois a três pontos é considerado bom, de um a dois pontos é suficiente e quando obtiver menos que um ponto, é considerado insuficiente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS INDICADORES E CATEGORIAS

A tabela 1 apresenta o resultado global dos indicadores e categorias.

Tabela 1 – Resultados dos indicadores e categorias

Indicadores e categorias	Pontuação final (de 0 a 3)	Critério de avaliação e pontuação (Insuficiente - Suficiente - Bom - Ótimo)
Pavimentação	2,44	Bom
Largura	2,36	Bom
<b>Calçada</b>	<b>2,40</b>	<b>Bom</b>
Dimensão das quadras	2,54	Bom
Distância a pé ao transporte	1,61	Suficiente
<b>Mobilidade</b>	<b>2,07</b>	<b>Bom</b>
Fachadas fisicamente permeáveis	2,61	Bom
Fachadas visualmente ativas	1,50	Suficiente
Uso público diurno e noturno	0,68	Insuficiente
Usos Mistos	1,53	Suficiente
<b>Atração</b>	<b>1,58</b>	<b>Suficiente</b>
Tipologia da rua	1,00	Suficiente
Travessias	0,00	Insuficiente
<b>Segurança viária</b>	<b>0,50</b>	<b>Insuficiente</b>
Iluminação	0,36	Insuficiente
Fluxo de pedestres diurno e noturno	1,65	Suficiente
<b>Segurança pública</b>	<b>1,00</b>	<b>Suficiente</b>
Sombra e Abrigo	1,99	Suficiente

Poluição Sonora	0,50	Insuficiente
Coleta de lixo e limpeza	2,66	Bom
<b>Ambiente</b>	<b>1,72</b>	<b>Suficiente</b>
<b>iCam</b>	<b>1,55</b>	<b>Suficiente</b>

Fonte: Autores (2018)

Os resultados do iCam evidenciam que as calçadas e a mobilidade de uma forma geral se apresentam em boas condições, com pontuação de 2,4 e 2,7 respectivamente. Isso porque atualmente a prefeitura municipal vem investindo na revitalização da área intraurbana. Os indicadores, como pavimentação (2,44) e largura das calçadas (2,36) mostram que há infraestrutura suficiente para a caminhada e as dimensões adequadas das quadras (2,54) se apresentam dentro dos limites aceitáveis à caminhada, embora existam também alguns pontos críticos apresentados no conjunto de imagens da Figura 2, que revelam deslocamentos no pavimento, crescimento de vegetação, revestimentos cerâmicos inapropriados para as calçadas e desníveis. Quanto a distância a pé ao transporte (1,61) foi considerada suficiente, evidenciando que há poucas paradas de ônibus ou pontos de embarque e desembarque na área estudada.

Figura 2 – Condições do pavimento das calçadas



Fonte: Autores (2018)

As categorias atração, segurança pública e ambiente foram classificadas como suficientes, resultando valores de 1,58; 1,0 e 1,72 respectivamente. As fachadas fisicamente permeáveis (2,61) foram consideradas boas, constatou-se a existência de entradas e acessos de pedestres em toda extensão de cada segmento. Para o indicador fachadas visualmente ativas (1,5) foi classificado como suficiente.

O uso público diurno e noturno (0,68) foi considerado insuficiente. Por ser uma área de comércio, há muitos estabelecimentos comerciais e de serviços. Mas, de forma geral, são de uso diurno, exceto as farmácias, postos de gasolina, hospital e agências bancárias que têm seus caixas eletrônicos em funcionamento em algum período da noite.

Para a categoria usos mistos (1,53) foi considerado a pontuação suficiente. Verificou-se a quantidade de pavimentos de uso residencial, de uso comercial e de serviços. Contemplando ainda equipamentos públicos, institucionais ou estações de transporte e com uso industrial e logístico.

A iluminação (0,36) foi considerada insuficiente, isso acontece porque, a iluminação pública é voltada apenas para a via dos carros e não para a dos pedestres. O Fluxo de pedestres (1,65) foi suficiente, foram realizadas contagens de pedestres nos dois períodos com maior fluxo no dia. Notou-se que o fluxo de pedestres, em geral, é maior no período das 12h às 14h do que no período da manhã. Entende-se que isso se dá pelo fato de que o horário de abertura da maioria dos estabelecimentos comerciais é às 9h e muitas lojas ficam abertas ao meio-dia. Isso contribui para que as pessoas prefiram o horário entre 12h e 14h para fazer suas compras.

Quanto às categorias sombra e abrigo (1,99) resultou suficiente, a poluição sonora (0,50) foi insuficiente, notou-se que os valores medidos em decibéis aumentam quando há circulação de veículos pesados. A coleta de lixo e limpeza urbana (2,66) foi considerada boa, pois há serviço de limpeza e coleta atendido pela prefeitura local.

A categoria segurança viária (0,5) foi a única que apresentou insuficiência. Nos indicadores tipologia de ruas (1,0) ficou suficiente e travessias (0,0) insuficiente. Devido ao fato de nenhuma travessia estar de acordo com a devida legislação quanto à acessibilidade. A Figura 3 apresenta um conjunto de imagens de rampas e de travessias de pedestres inadequadas, analisadas no estudo.

Figura 3 - Rampas e travessias



Fonte: Autores (2018)

Por fim, o iCam resultou um valor de 1,55 que foi considerado suficiente. Sugere-se a revisão da forma de coleta e avaliação do indicador iluminação, pois é recomendado que a medição seja realizada no ponto mais desfavorável da calçada. Apesar de muitas vezes ele



não representar a real percepção de iluminação, devido ao fato de pequenas sombras, geradas por árvores ou postes da rede elétrica, por exemplo, interferirem nesses resultados. Dessa forma, sugere-se desconsiderar sombras de pequena extensão que não afetem a segurança do pedestre. Além da realização de manutenções nas travessias e rampas, instalação de piso podotátil, implantação de parklets e de medidas de *traffic calming*.

## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa teve por objetivo determinar e avaliar o iCam na área intraurbana de influência comercial da cidade de Lajeado, RS por meio da aplicação da versão 2.0 da ferramenta do ICam, desenvolvida pelo Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP Brasil, 2018). Foram analisados os quinze indicadores, agrupados em seis categorias, que compõem a ferramenta. Dessa forma, determinou-se o ICam na área de estudo e o resultado obtido foi 1,55, valor este considerado suficiente. Para uma análise específica e detalhada, determinou-se o índice por categoria e por indicador.

Sugere-se que sejam realizadas melhorias, para manter ou melhorar os indicadores suficientes a bom, mas que inicialmente seja dada a atenção, com foco principalmente nos quatro indicadores considerados insuficientes, sendo eles: 1) o uso público diurno e noturno - incentivar a abertura de estabelecimentos noturnos; 2) travessias – melhorar a sinalização das travessias e semaforização, bem como as rampas de acessibilidade e sinalização podotátil; 3) iluminação - buscar um projeto de iluminação pública com energia renovável e sustentável voltada para os pedestres; e 4) poluição sonora - buscar desviar o tráfego de veículos pesados da área de estudo.

Tendo em vista o conceito de transporte ativo e a necessidade de incentivá-lo, além dos conceitos de sustentabilidade e acessibilidade, é importante estudar os fatores que interferem nos deslocamentos a pé. A caminhada interfere diretamente na qualidade de vida do pedestre e na mobilidade urbana. Portanto, é fundamental assegurar a segurança e o conforto do pedestre. Além de incentivar os estudos na área da caminhabilidade, a fim de conscientizar a população e órgãos públicos em relação à importância do tema.



## REFERÊNCIAS

AMÂNCIO, M. A.; SANCHES, S. P. (2004) As características do espaço urbano e as viagens a pé, **Anais da I Conferência Latino-Americana de construção sustentável e X Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, São Paulo. Disponível em: <[ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC\\_2004/trabalhos/PA\\_P0947d.pdf](ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PA_P0947d.pdf)>. Acesso em 25 abr. 2018.

ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Relatórios Atualizados - Base de Dados de 2014**. Disponível em: <<http://www.antp.org.br/sistema-de-informacoes-da-mobilidade/apresentacao.html>>. Acesso em 11 abr. 2018.

BRADSHAW, C. A rating system for neighbourhood walkability. In: 14th INTERNATIONAL PEDESTRIAN CONFERENCE, 1993, Ottawa, Canada. Disponível em: <<https://hearthhealth.wordpress.com/about/previously-published-works/feet-first-early/creaing-and-using-a-rating-system-for-neighbourhood-walkability-towards-an-agenda-for-local-heroes-1993/>>. Acesso em 18 abr. de 2018.

FARIA, H. M.; LIMA, C. A. (2016) Andar a pé: Mobilidade urbana e sustentabilidade nas regiões metropolitanas brasileiras. **Revista Rua**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 125-149. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rua/article/view/8646073/13213> >. Acesso em: 12 jun. 2018.

ITDP Brasil. *ICam versão 2.0*. 2018. Disponível em: <[http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2018/01/ITDP\\_TA\\_CAMINHABILIDADE\\_V2\\_ABRIL\\_2018.pdf](http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2018/01/ITDP_TA_CAMINHABILIDADE_V2_ABRIL_2018.pdf) >. Acesso em 11 abr. 2018.

TORRES, T. B.; URIARTE, A. M. L.; DEMORE, C. P.; NODARI, C. T. (2017) Prevalência de fatores associados à severidade dos acidentes em entorno de escolas. **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 102-114. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/174281>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

VARGAS, J. C. B. (2015) **Forma urbana e rotas de pedestres**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

VIEIRA, R.; PACKER, G. Z.; MENESES, R. N. (2016) ICam de Blumenau em Santa Catarina/Brasil: uma análise do Centro e do bairro Badenfurt. **VIII Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo**, Barcelona-Balneário Camboriú, Junio 2016, Barcelona: DUOT.

---

## **EIXO TEMÁTICO: TRANSPORTES SUSTENTÁVEIS**

---

**Relatórios de Pesquisa em Andamento**

---





# DIAGNÓSTICO DA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL NO *CAMPUS* UNIVERSITÁRIO CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR A PARTIR DA APLICAÇÃO DO MÉTODO IMSCAMP

*Renata Emy Kuradomi*<sup>1</sup>; *Diego Fernandes Neris*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universidade Federal do Paraná, renata.kuradomi@gmail.com*

<sup>2</sup> *Universidade Federal do Paraná, diego.neris@ufpr.br*

## RESUMO

O *campus* universitário Centro Politécnico, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), representa um importante Polo Gerador de Viagens (PGV) da capital paranaense devido ao seu número expressivo de viagens diárias. Portanto, é necessário um plano de ação para uma mobilidade eficiente, no qual seu intuito seja promover a segurança, melhorar a qualidade de deslocamento no *campus* e estimular mais viagens sustentáveis. O objetivo do presente trabalho é analisar a atual situação da mobilidade cujo destino é a instituição, além da própria mobilidade interna e nos arredores do *campus*, nos aspectos de conscientização, infraestrutura e gestão e serviços, através de 20 indicadores que resultarão em um índice geral denominado Índice de Mobilidade Sustentável para Campus Universitário (IMSCamp), elaborado por Oliveira (2015). O índice será determinado através de uma abordagem multicritério com as respostas obtidas pela aplicação de questionário e levantamento de dados em campo. Espera-se que o trabalho seja utilizado para possíveis diagnósticos e futuros planejamentos para melhorias na mobilidade do *campus* universitário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade sustentável, campus universitário, índice de mobilidade sustentável..

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados ao transporte urbano são bastante antigos em nossa sociedade e provêm tanto de escolhas históricas, como a falta de planejamento e investimentos, quanto das atuais, decorrentes da extrema dependência dos meios motorizados (SILVA *et al.*, 2008). Esses problemas resultam em congestionamentos, má qualidade do serviço, aumento na acidentalidade, consumo energético excessivo e os impactos ambientais das cidades, principalmente no entorno de locais de grande atração de viagens, também chamados de Polos Geradores de Viagens (PGV's). Sendo possível alguns destes problemas serem transferidos a mobilidade interna desses PGV's, como é o caso dos *campi* universitários.

Oliveira (2015) desenvolveu o Índice de Mobilidade Sustentável para Campus Universitário (IMSCamp) com a finalidade de realizar um diagnóstico da situação de mobilidade nos *campi* universitários. Esta metodologia, elaborada na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), foi replicada em diversos *campi*



de universidades como USP, UNIFEI e UFMA, agora sendo replicada também na UFPR, no campus Centro Politécnico.

O objetivo é analisar a situação atual da sustentabilidade da mobilidade urbana do Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, através do cálculo do IMSCamp elaborado por Oliveira (2015). Com o propósito de auxiliar tanto no diagnóstico quanto em futuros planejamentos de melhorias da mobilidade na instituição.

### **1.1. Justificativa**

É importante que um polo gerador de viagens, como um *campus* universitário, possua ferramentas para diagnósticos e análises da situação de mobilidade, principalmente no que se refere à mobilidade interna. O Centro Politécnico, da Universidade Federal do Paraná, possui problemas visíveis em sua mobilidade, tais como ocupações de grandes áreas por veículos, baixa qualidade na infraestrutura do deslocamento a pé e em bicicleta em determinados trechos, dificuldades na acessibilidade no *campus* e em determinados edifícios, entre outros problemas. Portanto, existe a necessidade de um diagnóstico para possíveis intervenções na infraestrutura e elaboração de ações de conscientização e de gestão.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O Gerenciamento de Mobilidade busca por alternativas de transportes que reduzam os efeitos negativos, estimulando a utilização de formas mais sustentáveis de locomoção como o transporte público, o transporte cicloviário, transporte a pé e a integração entre os diferentes sistemas, utilizando menos recursos financeiros (PEREIRA *et al.*, 2002).

Esse conceito pode ser aplicado internamente em Polos Geradores de Viagens (PGVs), principalmente onde há interação entre diversos modos de transportes, como um *campus* universitário, principalmente por este possuir instalações de distintas naturezas que têm em comum o desenvolvimento de atividades numa escala capaz de produzir um número significativo de viagens. A geração de viagens está relacionada ao uso do solo, descrito em termos de localização, características e intensidade das atividades (POYARES E PORTUGAL, 1999).



Todavia, os *campi* universitários possuem características próprias de espaço e de usuários que possibilitam medidas de Gerenciamento da Mobilidade, pois o conceito é flexível, capaz de se adaptar e atender as necessidades de cada universidade (PARRA, 2006). A aplicação destas medidas tem como objetivo melhorar as atividades de ensino, promover a segurança e estimular viagens sustentáveis (CASTRO, 2006). Bradshaw (1998) considera fundamental que haja o incentivo à mudança de comportamento de usuários e organizações.

### 3. METODOLOGIA

O Índice de Mobilidade Sustentável para Campus Universitário (IMSCamp) é calculado através do levantamento de dados obtidos por meio de uma pesquisa de opinião, de quem frequenta o *campus* (i.e. estudantes de graduação, estudantes de pós graduação, docente, técnico-administrativo e outros), e de levantamento de dados no local. As avaliações são feitas a partir de vinte indicadores, divididos em três domínios e oito temas: domínio “conscientização” (campanhas educativas e modos de transportes), domínio “infraestrutura” (modos não motorizados, modos motorizados e acessibilidade) e domínio “gestão e serviços” (vias e estacionamentos, transporte coletivo e segurança). Cada um dos indicadores possui um *score*, independente se a avaliação seja por medidas quantitativas ou qualitativas, pois Oliveira (2015) propõe uma escala de *scores* para cada indicador, de acordo com o resultado da avaliação.

Em seguida, a partir de critérios de ponderação proposto pela autora do método (OLIVEIRA, 2015) e/ou por outros critérios de ponderação, como entrevista com especialistas da área, é possível obter um índice geral que varia de 0 a 1 para avaliar a qualidade geral da mobilidade sustentável no campus, sendo o índice 1 a melhor situação.

### 4. RESULTADOS PARCIAIS E ESPERADOS

O presente trabalho está na etapa final da pesquisa de opinião, realizada por formulário online, com os usuários do *campus*. Com as 209 respostas obtidas, até o atual momento, foi identificado que cerca de 74% dos entrevistados são estudantes de graduação, a maioria do setor das engenharias, pois é onde o questionário foi distribuído com maior eficiência, apesar do número de estudantes das engenharias ser realmente elevado em relação aos outros



setores do *campus*. Identificou-se, também, que em torno de 77% dos usuários reconhecem que há problemas de acessibilidade no *campus* e, aproximadamente, 85% nunca viram qualquer tipo de ação de educação ou conscientização no trânsito local. Mais da metade dos usuários (61%, aproximadamente) chegam no *campus* de carro, sendo apenas cerca de 9% como carona. Com relação ao transporte coletivo, por volta de 22% dos entrevistados são usuários frequentes deste modo, mas apenas 25% desses usuários se sentem plenamente seguros no deslocamento até o acesso ao ônibus.

Todos os dados apontados anteriormente, junto com os *scores* e o Índice de Mobilidade Sustentável para Campus Universitário (IMSCamp), serão encaminhados para a prefeitura do *campus* para auxiliar na elaboração de planos de ações relativos à mobilidade sustentável.

## REFERÊNCIAS

- BRADSHAW, R. Why do parents drive their children to school? Research report for the Scottish Executive. Cervero, R. **The Transit Metropolis: A Global Inquiry**. Washington, D.C.: Island Press, 1998.
- CASTRO, M. A. G. **Gerenciamento da Mobilidade Uma Contribuição Metodológica para a Definição de uma Política Integrada dos Transportes no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- OLIVEIRA, A. M. **Um índice para o planejamento de mobilidade com foco em grandes Polos Geradores de Viagens – Desenvolvimento e aplicação em um campus universitário**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- PARRA, M. C. **Gerenciamento da Mobilidade em campi Universitários: Problemas, dificuldades e possíveis soluções no caso Ilha do Fundão - UFRJ**. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- PEREIRA, C.M.C.; De ARAÚJO, A.M.; BALASSIANO, R.. “Integração de Sistemas de Transporte como Estratégia de Gerenciamento da Mobilidade”. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte XVI ANPET, **anais do evento**, pp. 313–325, Natal, Brasil, 2002.
- POYARES, C. N., PORTUGAL, L. S. “Elementos de apoio à decisão por políticas de desestímulo ao uso de automóveis em áreas centrais”. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte XIII ANPET, **anais do evento**, São Carlos, SP, Brasil, 1999.
- SILVA, A. N. R.; COSTA, M, S, e MACEDO, M. H. Multiple views of sustainable mobility: The case of Brazil. **Transport Policy**, v. 15, n. 6, p.350-360, 2008.



# SEGURANÇA PÚBLICA E MOBILIDADE ATIVA: RELAÇÃO (IN) VISÍVEL NA CONSOLIDAÇÃO DA BICICLETA EM DESLOCAMENTOS URBANOS

*William Willrich<sup>1</sup>; Márcia de Andrade Pereira Bernardinis<sup>2</sup>;*

<sup>1</sup> *Universidade Federal do Paraná, willrich@ufpr.br*

<sup>2</sup> *Universidade Federal do Paraná, profmarcia.map@gmail.com*

## RESUMO

Modais não-motorizados popularizam-se como alternativa ao elevado índice de motorização e representam uma resposta sustentável para deslocamentos urbanos. Políticas públicas, Planos Diretores, além de Planos Cicloviários colaboram para a difusão da bicicleta como meio de transporte utilitário, atraindo não só usuários das periferias, mas de setores sociais elitizados. A pesquisa investiga que uma maior adesão à ciclomobilidade pode ser influenciada não só pela existência de uma infraestrutura adequada e uma segurança viária satisfatória, mas também pelo nível de segurança pública a que os usuários são expostos. A análise entre Curitiba e São José dos Pinhais-PR configura um recorte que comporta locais de vulnerabilidade socioambiental junto à Bacia do Rio Iguaçu cuja infraestrutura cicloviária está imersa em áreas de lazer e preservação ambiental coincidindo com trechos de ocupações irregulares. Esses espaços permitiriam avaliar a percepção da segurança pública ao se utilizar a bicicleta. Este relatório demonstra as primeiras constatações sobre a problemática exposta, cuja conclusão visa colaborar para políticas e instrumentos mais assertivos, além de explorar a bicicleta como potencial meio de transporte nos deslocamentos metropolitanos, contribuindo para diminuição de modais individuais motorizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modais Ativos, Segurança Pública, Ciclomobilidade, Transporte Metropolitano.

## 1. INTRODUÇÃO

Ciclorrotas sinalizadas e segregadas de veículos motorizados não têm contribuído para utilização efetiva de bicicletas no cenário urbano brasileiro. Estruturas cicloviárias subutilizadas geram questionamentos frente às condições degradadas dos transportes coletivos e do trânsito caótico. Os crescentes crimes contra o cidadão permitem associar a segurança pública à baixa utilização desse modal (LADRÕES..., 2019). Desse modo, compreender tais interações, ainda pouco exploradas na mobilidade urbana, pode contribuir para políticas e instrumentos mais assertivos na consolidação da bicicleta como meio de transporte sustentável e sua aplicação junto ao transporte metropolitano.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A mobilidade brasileira privilegia há décadas veículos individuais automotores promovendo um espaço urbano não-democrático e impactando negativamente na qualidade



de vida da população: expondo-a ao estresse; à poluição atmosférica e sonora e; aos acidentes de trânsito (ARAÚJO et al., 2010). A elevada taxa de motorização é multifatorial: má qualidade e tarifas inflacionadas do transporte coletivo; incentivos fiscais e de crédito para aquisição de automóveis aliados ao crescimento da renda média nos anos 2000 (GOMIDE e GALINDO, 2013) e; o planejamento urbano que separa grupos sociais e atividades por meio de grandes distâncias (CALDEIRA, 2011; MONTE-MÓR, 2008).

Com a Política Nacional de Mobilidade Urbana diretrizes comprometidas com o transporte coletivo e não-motorizado são implementadas (BRASIL, 2013). O modal cicloviário timidamente começa a ser visto como meio de transporte e não como meio de lazer (VASCONCELLOS, 2016).

Com relação à percepção espacial, esta é obtida por um processo cognitivo de interação bilateral entre o usuário e ambiente. Lynch (1997) destaca o processo de leitura espacial que, apesar de individual e variável, possui padrões observáveis: o ambiente construído é mentalmente reconhecível e quando associado a uma iluminação adequada, como coloca Zhang et al. (2007), há uma maior legibilidade oferecendo a sensação de segurança ao usuário. Entretanto, quando os espaços não são conhecidos ou legíveis ocorrem sentimentos de medo e angústia (LYNCH, 1997). Jacobs (2000) coloca que a sensação de segurança provém da maior comunicação visual entre o ambiente público e privado, além de uma rede intrincada de padrões comportamentais. A segregação socioespacial tem se acentuado e é atribuída à justificativa de que, pelo medo do crime, diferentes grupos sociais excluem determinadas parcelas populacionais reorganizando simbolicamente o espaço urbano (CALDEIRA, 2011).

Portanto, investigar os motivos pelos ciclistas serem visados pelo crime é fundamental para o entendimento da percepção de segurança destes usuários. Os estudos de Zhang et al. (2007), Nettle et al. (2012) e Mburu et al. (2016) relacionam variáveis que colocam a bicicleta como alvo para furtos e roubos: disponibilidade, fácil comercialização, crescente demanda, crescente valor agregado, além da dificuldade em se proteger os ciclistas. Gangues especializadas no furto e roubo de bicicletas têm se difundido no Brasil e elevado o nível de violência dos ataques (LADRÕES..., 2019).



### **3. METODOLOGIA**

A pesquisa estrutura-se em uma fase exploratória inicial composta pela revisão bibliográfica mediante uso de fontes primárias e secundárias. No momento o trabalho está na fase descritiva junto ao levantamento de mapas e crimes, além da consulta a órgãos governamentais e instituições relacionadas. Posteriormente, pretende-se aplicar questionários para compreender a percepção dos usuários, bem como levantamentos de campo para subsidiar a leitura do espaço urbano. Com estas análises busca-se identificar elementos-chave na geração de insegurança como: formas construídas; espaço privado; espaço público; tecido urbano; conexões visuais; marcos; áreas de refúgio; iluminação e conservação das ciclorrotas. O objetivo final é subsidiar um embasamento sólido e teórico sobre as percepções dos ciclistas em face da criminalidade nos locais de estudo.

### **4. RESULTADOS PRELIMINARES**

O local de estudo trata-se da divisa entre de Curitiba e São José dos Pinhais: uma região com intenso processo de periferização intensificado nos anos 1990 com a expansão de ocupações irregulares contribuindo para desigualdade territorial e o efeito centro-periferia (SOUZA, 2002; CALDEIRA, 2011). O adensamento populacional dessa área é significativo: a taxa de crescimento urbano de São José dos Pinhais é de 2,60% contra 0,99% de Curitiba (IPARDES, 2019), o que aliado à reestruturação do transporte coletivo metropolitano em 2015 gera aumento na demanda por deslocamentos. A bicicleta é, nesse contexto, cada vez mais utilizada e tem sido um alvo crescente de furtos e roubos. A incompreensão desse fenômeno frente à implantação das ciclorrotas torna-se o motivo de um provável desestímulo para novos usuários do modal.

### **6. CONCLUSÕES**

A bicicleta representa avanços para universalização do transporte urbano. O impacto da segurança pública no modal é pouco explorado impedindo um planejamento adequado. Conhecer o motivo da subutilização de ciclorrotas promoveria não só melhorias nos deslocamentos, mas traria ao debate o uso das ruas e a própria urbanidade.

Futuramente pretende-se ampliar as investigações da relação entre metrópole e metropolitano, o modelo de gestão urbana e, a análise de políticas de mobilidade: tanto em



Curitiba quanto em São José dos Pinhais. A realização das entrevistas é fundamental para compreender a escolha de trajetos e horários, além do estudo da percepção de segurança pública dos usuários nos trechos cicláveis, tornando essa relação visível aos planejadores quando da implantação de sistemas cicloviários.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M.R.M. et al. Andar de Bicicleta: Contribuições de um Estudo Psicológico sobre Mobilidade. **Temas em Psicologia**, Ribeirão Preto, v. 17, n. 2, p.481-495, out. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades (Org.). **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília, 2013. 37 p. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana.

CALDEIRA, T.P.R. **Cidade de Muros: Crime, Segregação e Cidadania em São Paulo**. 3. ed. Sao Paulo: EDUSP, 2011

GOMIDE, A.A.; GALINDO, E.P. A Mobilidade Urbana: Uma Agenda Inconclusa ou o Retorno Daquilo que Não Foi. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 79, p.27-39, out. 2013.

IPARDES. **Caderno Estatístico: Município de São José dos Pinhais**. 2019. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=83000&btOk=ok>  
Acesso em: 27 nov. 2020.

JACOBS, J. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

LADRÕES agridem ciclistas e roubam bicicletas em Curitiba. Curitiba: Globo G1, 2019. (3 min.), son., color. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/videos/t/todos-os-videos/v/ladros-agridem-ciclistas-e-roubam-bicicletas-em-curitiba /5554034> . Acesso em: 21 jul. 2019

LYNCH, K. **A Imagem da Cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

MBURU, L.W. *et al.* Environmental Risk Factors Influencing Bicycle Theft: A Spatial Analysis in London, UK. **Plos One**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1-19, 19 set. 2016.

MONTE-MÓR, R.L.M. **Do Urbanismo à Política Urbana: Notas sobre a Experiência Brasileira**. In: COSTA, G.M.; MENDONÇA, J.G. de. Planejamento Urbano no Brasil: Trajetórias, Avanços e Perspectivas. Belo Horizonte: C/Arte, 2008.

NETTLE, D. *et al.* ‘Cycle Thieves, We Are Watching You’: Impact of a Simple Signage Intervention Against Bicycle Theft. **Plos One**, [S.L.], v. 7, n. 12, p. 1-5, 12 dez. 2012.

SOUZA, M.L. **Mudar a Cidade: Uma Introdução Crítica ao Planejamento Urbano**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 560 p.



VASCONCELLOS, E. A. Mobilidade cotidiana, segregação urbana e exclusão. In: BALBIM, R.; KRAUSE, C.; LINKE, C.C. **Cidade e Movimento: Mobilidades e Interações no Desenvolvimento Urbano**. Brasília: ITDP, 2016. p. 57-79.

ZHANG, L *et al.* Bicycle-Theft Victimization in Contemporary Urban China. **Journal Of Research In Crime And Delinquency**, [S.L.], v. 44, n. 4, p. 406-426, nov. 2007.





# LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIONAL MATRIZ DE CURITIBA

*Gustavo Claudino Clemente<sup>1</sup> ; Carlos Augusto de Sá Ribas Santos<sup>2</sup>; Sergio Tadeu Gonçalves Muniz<sup>3</sup>*

*Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210Jd. das Américas, Curitiba/PR, CEP 81530-000*

*gustavoc.claudino@gmail.com<sup>1</sup>, carlos.saribas@gmail.com<sup>2</sup>, sergio.muniz@ufpr.br<sup>3</sup>*

## RESUMO

A frota de veículos a combustão movidos a combustíveis fósseis será, aos poucos, substituída pelos veículos elétricos, puros ou híbridos. Mas para isso deve haver uma infraestrutura que ampare essa nova tecnologia. Nesse sentido, o presente estudo busca analisar os possíveis pontos de recarga de veículos elétricos na Regional Matriz de Curitiba, otimizando a distribuição dos mesmos na região para que se possa fazer uma transição de frotas de veículos a combustão por frotas de veículos elétricos, de forma segura e eficaz. Para este objetivo, será utilizado o método das p-medianas, buscando uma otimização das distâncias entre pontos de recarga e candidatos a estação de recarga. Para a resolução do problema e otimização das distâncias, será utilizado o método simplex. Como resultados, espera-se uma otimização dos pontos de recarga de veículos na região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade Elétrica; Veículo Elétrico; Postos De Carregamento; Localização/alocação; Curitiba; p-medianas.

## 1. INTRODUÇÃO

Observa-se um crescente aumento da frota de veículos elétricos (VE's) em diversos países, substituindo os carros convencionais, movidos a combustíveis fósseis (AGUIAR et al. 2019). Embora no Brasil a mobilidade elétrica ainda caminha a passos lentos, o cenário é que paulatinamente a frota de veículos à combustão interna sejam substituídos pelos VE's. Contudo, para a implantação de uma tecnologia nova, é necessária uma infraestrutura compatível, e no que tange os VE's, essa infraestrutura está relacionada aos pontos de recarga das baterias empregadas neles (IEA, 2018). Os pontos de recarga acabavam sendo um fator limitador, muito em virtude de falta de estudos pontuais em cada região para sua implantação. Assim, o presente estudo busca analisar os possíveis pontos de recarga de veículos elétricos na Regional Matriz de Curitiba (RMC), otimizando a distribuição dos mesmos na região. O foco do estudo será nas pessoas que trabalham na região e que podem vir a utilizar veículos elétricos num futuro próximo.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Veículos Elétricos

Segundo Castro, B. H. R. D., & Ferreira, T. T. (2010), um veículo elétrico é aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico, sendo classificados simplificadaamente em puros e híbridos. Os veículos puramente elétricos não possuem motor a combustão, são unicamente movidos por energia elétrica (Schwertner, C. D. 2017). Já os veículos híbridos possuem uma combinação, em série ou paralelo, de motor à combustão com elétrico.

### 2.2 Estações de Recarga

Segundo ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2018), estação de recarga é um conjunto de softwares e equipamentos utilizados para fornecer corrente elétrica, contínua ou alternada, para o veículo elétrico. De acordo com Funke et al. (2015), uma forma de subdividir os postos de carregamento com base na necessidade do UVE's, pode ser observada na Tabela 1.

Duração	Tipo de necessidade (geral)	Tipo de posto de carregamento
Carregamento demorado	Sleep&charge (Enquanto o UVE está em casa, durante a noite)	Posto de carregamento normal (lento)
	Work&charge (Enquanto o UVE está no trabalho)	Posto de carregamento normal (lento)
Carregamento curto	Shop&charge (Enquanto o UVE se desloca a um serviço/atividade/lazer)	Posto de carregamento normal (lento ou semirrápido)
	Coffe&charge (Carregamento em pouco tempo, essencialmente durante uma	Posto de carregamento rápido

Tabela 1 – Tipos de carregamento baseado nas necessidades do utilizador  
Fonte: adaptado de funke et al. (2015).

## 3. METODOLOGIA

Existem diversos métodos e abordagens para se analisar a quantidade e a melhor alocação de pontos de recarga de VE, dependendo dos objetivos (Elbanhawy & Dalton, 2015). Para escolher o método que representasse com mais fidedignidade as características de Curitiba, foi preciso entender quais dados e variáveis do problema seriam possíveis ser levantados e analisados, em função dos estudos já existentes com relação ao espaço, trânsito



e rotas no centro da cidade. O local de estudo foi delimitado como sendo a Regional Matriz de Curitiba (RMC)<sup>1</sup>, região central da cidade, mapeada pelo Ippuc.

Sendo assim, a equalização do problema utilizará o método das p-medianas (Krömer e Platoš, 2014), buscando uma otimização das distâncias entre pontos de recarga e candidatos a estação de recarga. Dessa forma a modelagem se dará de acordo com os seguintes parâmetros:  $m$  = Conjunto de usuários de veículo elétrico (UVE's);  $n$  = Conjunto de candidatos a estações de carregamento;  $p$  = Número de estações (medianas);  $k$  = Número de clientes atendidos por cada estação. Serão usadas as equações propostas segundo o estudo de Scheidegger (2016), e para a resolução do problema será utilizado o método *simplex* para otimizar as distâncias.

Serão selecionados 200 possíveis candidatos a estações de carregamento, escolhidos em virtude da sua localização, próxima a grandes centros comerciais e empresariais, e também em função da sua estrutura/tamanho. A escolha de locais próximos a centros comerciais e empresariais se dará por estarem ali os possíveis usuários dos VEs, os quais necessitariam de garantias de que após sua jornada no centro da cidade poderão voltar para suas casas, sem a preocupação recorrente de faltar energia em seus carros.

O público alvo do estudo será pessoas que trabalham dentro da RMC e que utilizam automóveis para seu deslocamento, que podem ser potenciais usuários dos VE's (UVE's). Nesse sentido, para a concepção do estudo, a RMC foi entendida como uma abordagem local comercial, e não residencial. Sendo assim, quando o carro é deixado no estacionamento, assume-se como premissa da pesquisa que fica por todo o horário comercial, sendo generalizado que cada ponto de carregamento dentro de cada estacionamento carregará apenas um carro por dia.

O conjunto de possíveis UVE's estudados serão de 250, 500, 1000 e 3000 clientes. Para fazer a distribuição desses possíveis clientes, será necessário entender quais são os possíveis usuários de veículos elétricos. Nesse estudo, o foco será no tipo de necessidade *Work&charge* (enquanto o UVE está no trabalho), sendo assim, a ponderação de onde seria alocado os UVE's ficará em função da aglomeração de empresas, bem como o porte dessas empresas (em termos de número de funcionários) em cada área.

---

<sup>1</sup> Não deve ser confundido com “Região Metropolitana de Curitiba”, que possui a mesma sigla, porém com uma abrangência muito maior.



Serão tabuladas todas as distâncias reais entre os UVE's e as estações de carregamento, com o auxílio do Google Maps. Dessa forma, variando o número de UVE's ( $m$ ) e o número de estações escolhidas ( $p$ ), teremos como saída a melhor escolha entre toda as possíveis estações de carregamento. Vale destacar que o número de clientes atendidos por cada estação de carregamento  $k$ , varia em função das variáveis  $m$  e  $p$ , como exemplificado na tabela 2. Mas como fator limitador, temos que os estacionamentos comportam no máximo 25 veículos carregados por dia, em virtude de a maioria dos estacionamos estudados serem de pequeno porte.

Número de VE's	Número de estações	Número de clientes atendidos por cada estação
600	200	3
	150	4
	120	5
	50	12
1200	200	6
	150	8
	120	10
	50	24
3000	200	15
	150	20
	120	25
	50	*

Tabela 2 - Número de clientes atendidos em cada caso.

Fonte: os autores (2020)

#### 4. RESULTADOS ESPERADOS

Como resultados, espera-se que, após a tabulação, processamento e análise dos dados, teremos uma otimização dos pontos de recarga de veículos na região. Dessa forma, será mais fácil implementar, aos poucos, a substituição das frotas de veículos a combustão pelos veículos elétricos, dando uma segurança em termos de autonomia para os possíveis usuários de VE's.



## REFERÊNCIAS

ANEEL 2018. Resolução Normativa nº 819, de 19 de junho de 2018. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2020.

AGUIAR, HELDER DE SOUZA et al. O veículo elétrico: estudo da percepção dos brasileiros. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 15, p. 25-25, 2019.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 267-310, 2010.

ELBANHAWY, Eiman; DALTON, Ruth. Spatiotemporal analysis of the e-mobility system in Newcastle-Gateshead area. In: **10th International Space Syntax Symposium, SSS10**. 2015. p. 69.

FUNKE, Simon Árpád; GNANN, Till; PLÖTZ, Patrick. Addressing the different needs for charging infrastructure: An analysis of some criteria for charging infrastructure set-up. In: **E-Mobility in Europe**. Springer, Cham, 2015. p. 73-90.

KRÖMER, Pavel; PLATOŠ, Jan. Solving the p-median problem by a simple differential evolution. In: **2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. IEEE, 2014. p. 3503-3507

SCHEIDEGGER, Wandercleyson Marchiori; MESTRIA, Mário. LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA.

SCHWERTNER, Christoffer Daniel. Uma metodologia para o estudo da eficiência energética em veículos elétricos e estações de recarga em eletropostos. 2017.





## QUALIDADE DE VIDA EM CURITIBA: UMA AVALIAÇÃO SOB A ÓTICA DAS SMART CITIES

*Rodrigo Otávio Fraga Peixoto de Oliveira<sup>1</sup>; Laura Panichi da Motta e Camanducaia<sup>2</sup>; Márcia de Andrade Pereira Bernardinis<sup>3</sup>; Marcus Vinicius Theodoro de Camargo<sup>4</sup>.*

*<sup>1,2,4</sup> Graduando no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, rofpo@hotmail.com; laurapanichi21@gmail.com; marcuscamargo96@gmail.com.*

*<sup>3</sup> Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná; profmarcia.map@gmail.com.*

### RESUMO

Desde a elaboração de seu Plano Diretor, Curitiba recebe diversos prêmios e títulos pela sua organização. Recentemente, foi incluída pelo *Intelligent Community Forum* no ranking *Smart21* (ranking das 21 cidades mais inteligentes) nos anos 2018 e 2019. Cidades Inteligentes, por sua vez, são aquelas que oferecem sistemas e políticas integrados que permitem o crescimento conjunto dos sistemas econômicos e da qualidade de vida da população, com ênfase em tecnologia e sustentabilidade (THE GOVERNMENT SUMMIT, 2015). No entanto, é possível que a seleção, feita com base em uma série de iniciativas públicas e privadas, não seja representativa de como a população interpreta a sua própria qualidade de vida. Sendo assim, esta pesquisa em andamento pretende avaliar através de conceitos e diretrizes de uma cidade inteligente, o caso de Curitiba. Os resultados deste formulário serão compilados de maneira qualitativa e quantitativa, e comparados com índices existentes, para permitir com propriedade analisar criticamente a cidade de Curitiba como cidade modelo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Smart City, Curitiba, Qualidade de Vida

### 1. INTRODUÇÃO

Curitiba é uma cidade bem cultuada no Brasil e no mundo. Seu sistema de transporte público pioneiro, seus bairros arborizados e sua preocupação com a gestão do lixo garantiram à Curitiba o apelido de “Cidade Modelo” e “Capital Ecológica” em décadas passadas (ALBUQUERQUE, 2007). Recentemente, a imagem de cidade desenvolvida foi renovada graças ao *Intelligent Community Forum* (ICF), que reconheceu Curitiba como uma das 21 cidades mais inteligentes do mundo (*Smart21*) em 2018 e 2019 (ICF, 2019).

Chamadas de *Smart Cities* (ou Cidades Inteligentes), essas cidades são capazes de aprimorar a qualidade de vida de seus habitantes através da integração dos seus sistemas e serviços, baseados sobretudo na tecnologia e conectividade (THE GOVERNMENT SUMMIT, 2015).

Uma cidade, no entanto, é formada por pessoas, sendo impossível avaliar qualquer denominação recebida pela mesma sem analisar o impacto disso para a sua população. É



justamente diante desse ponto que este trabalho buscará entender a proximidade entre o conceito de Cidade Inteligente e a realidade de Curitiba, tomando como base a visão de sua população. Ao final deste estudo, pretende-se entender de que forma os cidadãos curitibanos enxergam a cidade e se essa, mesmo com o status de inteligente, é capaz de atender às necessidades e expectativas de seus habitantes.

## **2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DO TRABALHO**

O aumento brusco e desordenado da população e das cidades brasileiras, durante as décadas de 1940 e 1980, foi acompanhado de graves problemas sociais, como superlotações e aumento da criminalidade (SANTOS, 1993). Diante desse panorama, ficou evidente a urgência de uma reforma legislativa que permitisse o crescimento ordenado das cidades. O primeiro passo foi dado em 1988, com a promulgação da Constituição Federal, que estabeleceu bases legais para a reforma urbana no Brasil (FERNANDES, 2007). O processo seguiu evoluindo com a criação do Estatuto da Cidade, em 2001, que trouxe consigo o Plano Diretor, ferramenta base para o planejamento urbano (DALLARI e FERRAZ, 2010). Dois anos depois foi criado o Ministério das Cidades, pasta responsável pela elaboração dos planos nacionais de Habitação e de Mobilidade Urbana (LOPES, 2012). Recentemente, em 2015, foi criado o Estatuto da Metrópole, que estabeleceu novas diretrizes para o desenvolvimento estruturado e homogêneo de regiões metropolitanas. Políticas públicas essas importantes para o futuro de cidades mais sustentáveis e inteligentes.

Cidades inteligentes podem ser definidas como aquelas que, através da tecnologia da informação e comunicação (TIC), possuem desenvolvimento sustentável e econômico e alta qualidade de vida (THE GOVERNMENT SUMMIT, 2015). Elas normalmente envolvem uma enorme quantidade de informações (Big Data), redes em nuvens e comunicação autônoma entre objetos (Internet das Coisas). Giffinger et al. (2007) definiram seis grandes dimensões das cidades inteligentes: economia, mobilidade, meio ambiente, pessoas, governo e qualidade de vida.

Sem desmerecer qualquer uma das dimensões anteriormente citadas, até mesmo entendendo que todas devem aqui trabalharem em paralelo para atenderem aos princípios de uma cidade inteligente, neste trabalho o foco será para a dimensão Qualidade de Vida, afinal, nada mais é do que o resultado dos demais pilares. Ela é o maior objetivo de uma cidade inteligente e envolve não apenas economia, mobilidade, meio ambiente, pessoas e governo,



mas também acesso à educação e à saúde, habitação, segurança, vida social, diversidade cultural etc.

#### 4. METODOLOGIA

Capital do estado do Paraná, Curitiba possui 1,7 milhão de habitantes, um salário médio mensal dos trabalhadores formais de 4 salários mínimos, sua taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade é de 97,6%, seu esgotamento sanitário adequado contempla 96% da população e 76% das vias são arborizadas (IBGE, 2020). A soma de todos esses índices resulta no IDH de 0,823 da cidade, o 10º maior do país (PNUD, 2010). Os números indicam uma boa qualidade de vida na capital paranaense, contudo, de forma isolada, são insuficientes para afirmar se a cidade atende, de fato, aos critérios de uma cidade inteligente. Neste caso, uma análise qualitativa também se faz necessária, sendo a percepção e o olhar da população a melhor fonte de informações. Evidencia-se, neste ponto, que ao estudar qualidade de vida pelo ponto de vista da população serão levadas em consideração vivências anedóticas individuais de pessoas que vivenciam diariamente a cidade e seus sistemas enquanto os índices existentes, juntamente dos rankings formais e premiações de *smart cities*, utilizam critérios numéricos fixos (renda, escolaridade, expectativa de vida, por exemplo) ou pesquisas de opinião dentro de uma comunidade específica (normalmente especializada).

Como forma de avaliar qualitativamente e quantitativamente a percepção popular da qualidade de vida em Curitiba, foi elaborado um formulário na plataforma Google Forms para ser disponibilizado abertamente. O formulário, baseado nos 6 pilares das Smart Cities propostos por Giffinger et. al (2007), consiste de 32 perguntas de múltipla escolha divididas em 10 eixos temáticos que vão desde a caracterização do perfil sociodemográfico das respostas até avaliações específicas. Do ponto de vista estatístico será considerada a distribuição de dados da amostragem como normal. Sendo assim, para um nível de significância de 95% e um intervalo de confiança de  $\pm 5\%$  utilizou-se o cálculo de tamanho de amostra para uma amostra finita, tomando como população base a projeção do IBGE para a população de Curitiba em 2020 de 1.948.626 hab (IBGE, 2020), resultando na consideração de 385 elementos como uma amostra representativa. O questionário foi divulgado virtualmente em espaços abertos, principalmente nas redes sociais e aplicativos de comunicação. Nota-se que esta medida foi adotada como adaptação às limitações



impostas pela pandemia de Covid-19, e considera-se a ressalva de que isto limita o alcance da pesquisa principalmente para as camadas mais vulneráveis da população.

Uma das maneiras de medir objetivamente a qualidade de vida de uma população é seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que consiste em uma avaliação quantitativa das dimensões de saúde, educação e renda. Apesar de Curitiba ter uma posição altíssima em relação às cidades brasileiras, com IDHM de 0,823 (PNUD, 2010), este valor varia de acordo com a região estudada. Desta forma, no formulário elaborado para o presente trabalho serão avaliadas, para cada resposta, a renda e distribuição geográfica das respostas a fim de mapear os valores determinados pelo índice com a percepção dos habitantes da região.

## 7. CONCLUSÕES

Apesar de ainda não haver os resultados completos da pesquisa sobre qualidade de vida em Curitiba, sabe-se que eles serão de grande utilidade para compreender o que a população pensa sobre a cidade e se esta pode ser, de fato, considerada uma cidade inteligente do ponto de vista dos habitantes.

## REFERÊNCIAS

DALLARI, A. A; FERRAZ, S. (Coord.). **Estatuto da Cidade (Comentários à Lei Federal 10.257/2001)**. 3. Ed. São Paulo: Malheiros, 2010.

FERNANDES, E. **Implementing the urban reform agenda in Brazil**. Environment and Urbanization, v. 19, n. 1, p. 177–189, 2007.

GIFFINGER, R. et al. **Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities**. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Curitiba**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>. Acesso em: 2 out. 2020.

ICF - INTELLIGENT COMMUNITY FORUM. **The ICF Method**. [S.I.] [2019?]. Disponível em: <https://www.intelligentcommunity.org/method>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ICF - INTELLIGENT COMMUNITY FORUM. **The Smart21 Communities of the Year**. [S.I.], 2019. Disponível em: <https://www.intelligentcommunity.org/smart21>. Acesso em 15 abr. 2020.



LOPES, Roberta. **Função do Ministério das Cidades é criar políticas urbanas**. Exame, Brasília, 2 fev. 2012. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/brasil/funcao-do-ministerio-das-cidades-e-criar-politicas-urbanas/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (Brasil). **Ranking IDHM Municípios 2010**. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>. Acesso em: 2 out. 2020.

SANTOS, M. A Urbanização Brasileira. São Paulo: Editora Hucitec, 1993.

THE GOVERNMENT SUMMIT. **Smart Cities: Regional Perspectives**. Dubai: 2015.

ALBUQUERQUE, A. F. DE. **A questão habitacional em Curitiba: o enigma da “cidade-modelo”**. p. 157, 2007.

---

# **EIXO TEMÁTICO: INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

---

**Artigos Completos**

---



## APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS BIM E SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO

*Alessandra Costa Gosch<sup>1</sup>; Cristhyano Cavali da Luz<sup>2</sup>; Eduardo Ratton<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Universidade Federal do Paraná, alecgosch@gmail.com, criscluz@hotmail.com, ratton.eduardo@gmail.com.*

### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo da geometria de seções críticas de acidentes em um subtrecho da BR-135/BA entre os municípios de Barreiras e São Desidério na Bahia. Foi utilizado um *software* de Modelagem de Informações da Construção (BIM) que apresenta plataforma conjunta com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para definir a geometria existente no subtrecho e proceder a comparação com normativas de defeitos de traçado. O modelo gerado no *software Infracworks 360* permitiu a identificação dos defeitos de traçado pela visualização de inconsistências tridimensionais, fornecendo informações sobre o traçado existente no subtrecho a partir de bases de dados geográficas parametrizadas para determinação do greide e eixo horizontal. A identificação da tipologia de defeito de traçado permite a determinação das ações corretivas a serem implantadas. Como resultados, verificou-se nos quatro pontos críticos analisados que um necessita ajuste de traçado para concordância de raio de curva horizontal, três apresentam problemas no perfil vertical e dois apresentam falta de concordância entre os alinhamentos vertical e horizontal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Defeitos de traçado rodoviário, Acidentes rodoviários, BIM, SIG.

### ABSTRACT

*This paper presents a research on a section of BR-135/BA, a federal highway in the state of Bahia, Brazil. The accident hotspots found in the area were studied in terms of geometry. A BIM-GIS integrated technology was used to define the road geometry, via the software Infracworks 360. This allowed the identification of design faults, in comparison with technical regulations. The model generated in Infracworks provided information for the identification of design faults in the accident hotspots studied. Thus, it was possible to identify geometry inconsistencies that may be contributing to the accident zones registered. By identifying the locations and characteristics of these faults, corrections can be made to improve the safety of the road. It was found that, of four accident hotspots analyzed, one could be adjusted in the horizontal geometry regarding curve radius. As for the other hotspots, three presented geometry problems in the vertical profile; and two present a three-dimensional concordance fault.*

**KEYWORDS:** Highway design faults, Highway accidents, BIM, GIS.

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto geométrico influencia diretamente na segurança de tráfego de uma rodovia. Quando acidentes repetidamente ocorrem em um determinado local, uma das possíveis causas é a existência de um defeito de traçado no projeto geométrico da via, tornando-a insegura para a velocidade diretriz implantada. Desse modo, faz-se necessária a identificação



dos defeitos de traçado existentes para possibilitar a retificação da via implantada de modo a melhorar a segurança de tráfego. O processo de identificação inicial de tais defeitos requer a análise do projeto utilizado para implantação da via, para posteriormente se realizarem verificações em campo. Entretanto, não é incomum que rodovias implantadas na época não digital não tenham disponíveis os registros do projeto utilizado para sua construção. Nesses casos, há benefícios na utilização de tecnologia de modelagem paramétrica (BIM) integrada a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pois se torna possível a realização de uma análise prévia a partir de um modelo tridimensional georreferenciado da geometria existente.

O termo BIM se refere a Modelagem de Informações da Construção, ou em inglês *Building Information Modeling*. Trata-se de uma tecnologia baseada em modelos paramétricos integrados a bases de dados de diferentes áreas, com o objetivo de gerar modelos e permitir análises e simulações mais representativas da realidade (LONDON et al., 2008). A característica de parametricidade dos componentes dos modelos significa que parâmetros coordenam as informações integrantes dos modelos, podendo ser catalogados, analisados e alterados pelo estabelecimento de critérios (EASTMAN et al., 2008). Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são plataformas que utilizam informações georreferenciadas para visualização, manipulação e análise de dados. Sistemas BIM que incorporam bases de dados SIG são, portanto, capazes de realizar análises espaciais operando com dados georreferenciados dentro de um modelo tridimensional paramétrico (RAFIEE et al., 2014).

Nesse sentido, este estudo objetivou a verificação da utilidade da aplicação de tecnologia BIM com base de dados SIG na determinação de defeitos de traçado de uma rodovia implantada. Tal identificação visa servir de subsídio à elaboração de projetos de recuperação e melhoramento das vias com trechos críticos de acidentes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) possui normativas para elaboração de projetos rodoviários, para garantir o padrão das rodovias a serem implantadas e prevenir projetos geométricos com defeitos de traçados. As instruções de Projeto Básico de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação da Capacidade e Segurança (EB-106) e de Projeto Executivo de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação da Capacidade e Segurança (EB-107) focam



no correto posicionamento do alinhamento horizontal, bem como diminuição dos volumes de terraplenagem (DNIT, 2006).

O Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999) classifica as rodovias em classes, primariamente de acordo com as condições do terrenos e volume de tráfego. Cada classe possui parâmetros de geometria específicos para o atendimento da demanda esperada, bem como uma velocidade diretriz específica. A velocidade diretriz é a máxima velocidade em que se pode trafegar em uma determinada seção da via, respeitando-se as limitações impostas pelas características geométricas empregadas em projeto. A partir da velocidade diretriz se definem os valores mínimos das características físicas a serem utilizadas em projeto, diretamente ligadas à operação e movimentação dos veículos que utilizarão a rodovia (DNER, 1999). No alinhamento horizontal, o raio mínimo de curvas é determinado pela velocidade diretriz. Já a superelevação é a inclinação transversal da pista em uma seção de curva horizontal, que serve para atenuar o efeito da força centrífuga. O raio horizontal mínimo requer a superelevação máxima em um alinhamento. Com relação ao perfil vertical, as rampas influenciam diretamente na capacidade da via, devendo ser coerentes com as demais características técnicas e operacionais do traçado. A delimitação da rampa máxima ocorre pela classe da via e relevo do terreno. O valor  $k$  é um parâmetro que mede a curvatura vertical das curvas, representando o comprimento da curva no plano horizontal em metros para cada 1% de variação na inclinação longitudinal (DNER, 1999; LEE, 2013).

No que tange aos alinhamentos vertical e horizontal, a distância de visibilidade é a distância percorrida por um veículo desde a percepção de um obstáculo por seu motorista até a parada total do veículo, considerando a geometria da via. Em relação à concordância tridimensional no alinhamento, a combinação inadequada de elementos geométricos resulta em um projeto que não oferece condições satisfatórias de segurança e conforto para os usuários, desestabilizando a fluidez para o tráfego de veículos (LEE, 2013). Além disso, o efeito tridimensional da combinação de elementos de traçado deve ter como objetivo harmonizar a rodovia com a paisagem e proporcionar condições operacionais e de segurança adequadas, levando em consideração fatores dinâmicos, psicológicos dos motoristas e estéticos, ainda se prezando pela viabilidade econômica do projeto (DER-SP, 2005).

Um regulamento alemão para a concepção de rodovias apresenta um compêndio de defeitos de traçado que exemplifica a fluidez tridimensional da estrada do ponto de vista do motorista, conforme exemplos apresentados na Figura 1 (FGSV, 1995).

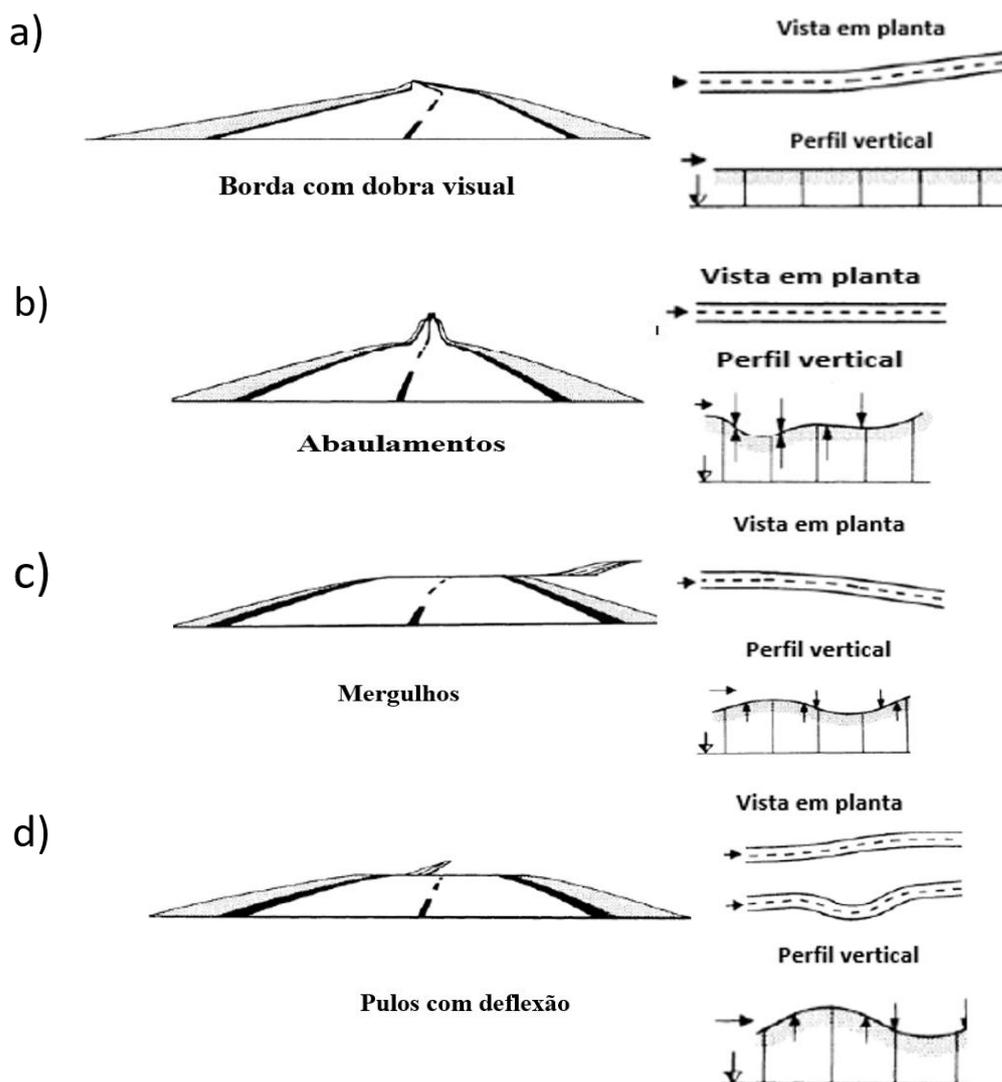


Figura 22 – Exemplos de modelos esquemáticos de defeitos de concordância de alinhamentos

Fonte: Adaptado de FGSV (1995).

A imagem a apresenta um defeito de traçado relativo a falta de visibilidade causada por uma curva de pequeno raio em região de perfil em rampa. A imagem b apresenta defeito de traçado decorrente de sucessivas curvas verticais em região de alinhamento horizontal em tangente. A figura c apresenta defeito de traçado resultante de curvas verticais opostas em

região de curva horizontal. A figura d apresenta condição similar, com curvas verticais e horizontais causando perda de visibilidade e estabilidade.

### 3. METODOLOGIA

O objeto de estudo empregado foi um subtrecho da rodovia federal BR-135/BA no estado da Bahia, entre os municípios de Barreiras e São Desidério (km 179,9 a 205,8). Inicialmente foram obtidos os dados de pontos críticos de acidentes na região estudada. Em sequência, o alinhamento vertical e perfil vertical da via foram obtidos com o uso do *software* de tecnologias BIM e SIG *Infravorks 360* (Autodesk). Por fim, a geometria e os pontos críticos foram analisados em conjunto para identificação de possíveis defeitos de traçado que pudessem ser resolvidos por meio de um projeto de recuperação e melhoramento.

#### 3.1. Dados de acidentes

A quantidade de ocorrências e a localização precisa dos acidentes registrados no subtrecho estudado foram obtidos pelo banco de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Foram coletados e analisados dados de abril de 2007 a dezembro de 2017, excluindo-se os anos de 2008 e 2009 (devido à ausência de registros). O gráfico da Figura 2 apresenta a quantidade de acidentes registrados por quilômetro na região de estudo.

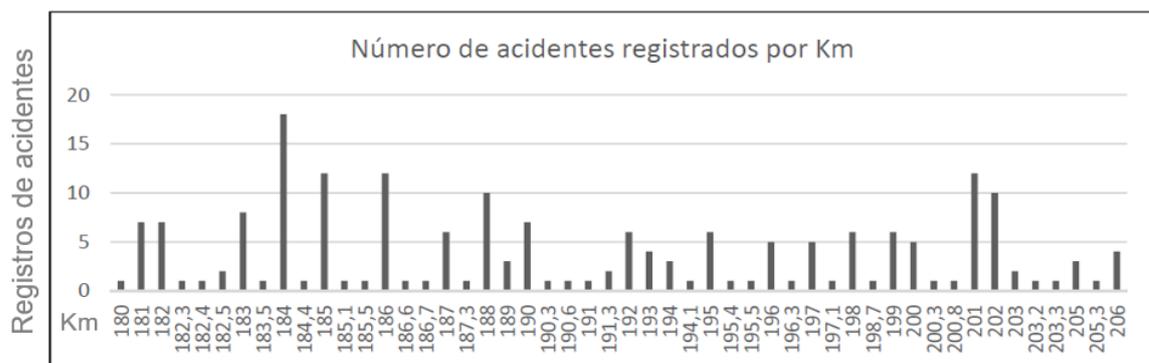


Figura 23 - Acidentes entre os km 179,9 a 205,8 da BR-135/BA

Fonte: Adaptado de PRF (2019).

Em relação aos pontos críticos de ocorrência de acidentes entre os quilômetros analisados, os 4 pontos com maior índice de acidentes foram considerados *hotspots* para esta análise. A Tabela 1 apresenta os pontos escolhidos para verificação da geometria.

Tabela 16 - *Hotspots* de acidentes

<i>Hotspot</i>	Ponto	Quantidade de acidentes	Representatividade	Tipologia de acidente mais recorrente
1	Km 184	18	9,23%	Saída de pista
2	Km 185	12	6,15%	Saída de pista
3	Km 186	12	6,15%	Capotamento
4	Km 201	12	6,15%	Saída de pista
	Total	54	27,69%	-

### 3.2. Características da via implantada

A rodovia BR-135/BA, na região de estudo, se classifica como Classe IB para atender a demanda de tráfego local. O relevo da área é moderadamente montanhoso, o que para a Classe IB determina a velocidade de projeto em 80km / h. A geometria da rodovia deve obedecer a essa velocidade de projeto, respeitando, entre outros parâmetros, o raio horizontal mínimo de 210 metros, para o qual seria necessária a superelevação máxima para a classe, que é de 8%. Em relação ao perfil vertical, o gradiente vertical máximo para a rodovia é de 4,5%, o valor mínimo de k para curvas de crista é 48 e o valor mínimo de k para curvas de afundamento 32. A distância mínima de visibilidade de parada é de 85 metros (DNIT, 1999).

Em sequência, o *software* de tecnologias BIM e SIG foi utilizado para determinação das características geométricas efetivamente ocorrentes no segmento implantado em estudo. Utilizou-se por base um modelo digital do terreno georreferenciado, em conjunto com informações relativas às características das vias existentes. A versão do *software* utilizada neste estudo foi a 18.1.36.0 (Autodesk Inc., 2018), a qual baseia-se nas normativas da *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Assim, quando se gera um modelo é possível a determinação de algumas características como alinhamento, velocidade diretriz e valores estimados para os raios de curvas horizontais e perfil vertical, conforme exemplo apresentado na Figura 3.

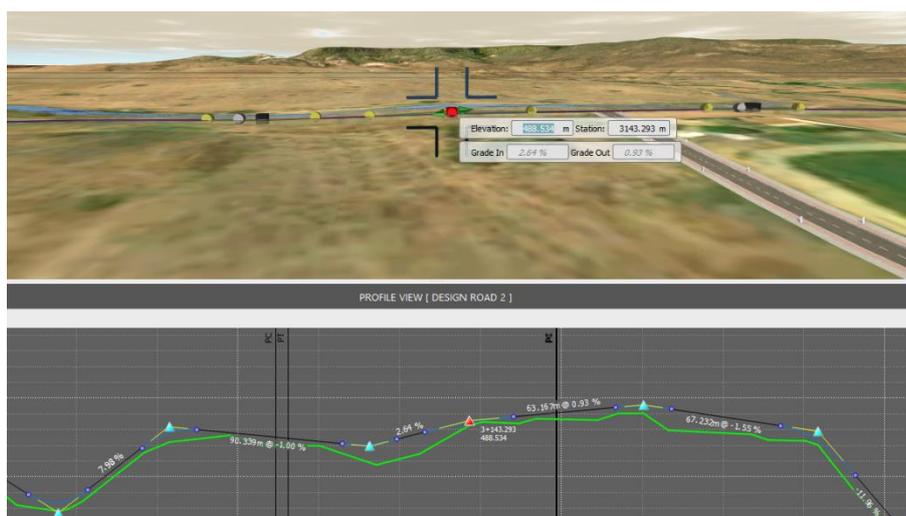


Figura 24 - Detalhe de alinhamento e perfil no *software* InRoads

Adicionalmente, se conduziu uma análise de distâncias de visibilidade na totalidade do segmento estudado, para distâncias de parada em ambas as direções da via. Com relação a distâncias de ultrapassagem, uma vez que a colisão frontal não se verificou como um acidente recorrente nos *hotspots* analisados, a mesma não foi simulada nos pontos específicos estudados. Existem dois algoritmos no *software* para a realização da análise de visibilidade: abrangendo toda a seção da estrada ou analisando cada ponto localizado individualmente. Em teoria, se existente, o *software* também mostraria zonas de acidentes em qualquer lugar na seção da estrada selecionada. Inicialmente, todo o segmento foi analisado para distâncias de parada, seguido de uma análise para cada *hotspot* de acidentes.

A concordância tridimensional foi analisada no modelo 3D pela comparação das geometrias horizontal e vertical com os exemplos de defeitos de traçado apresentados na Tabela 1.

#### 4. RESULTADOS

Com relação ao alinhamento horizontal, os raios de curvas foram verificados por meio do alinhamento fornecido pelo *software* a partir do modelo digital do terreno, utilizando as ferramentas de criação de traçado para conferência da geometria. Verificou-se que o primeiro *hotspot* está localizado em uma tangente, assim como o terceiro. O segundo *hotspot*, embora localizado no início de uma curva, possui um raio maior que o mínimo exigido pela classe de projeto. O quarto *hotspot* está localizado no início de curvas conjuntas,



das quais o raio da segunda curva é ligeiramente menor do que o raio mínimo requerido para a classe.

Com relação ao perfil vertical, a partir do alinhamento vertical gerado a partir do modelo foi possível analisar a linha de greide implantada. Verificou-se que os três primeiros *hotspots* estão localizados em um segmento homogêneo, com 7 falhas de projeto relacionadas à linha de greide em perfil vertical, ao longo de 3 quilômetros consecutivos (os elementos específicos são apresentados na Tabela 2). No quarto *hotspot*, no km 201, não se verificaram problemas no perfil vertical, apresentando uma linha de greide com pequena declividade e seguida por uma curva com parâmetro k elevado.

Tabela 17 - Detalhamento de defeitos de traçado no alinhamento horizontal da BR-135/BA

Elemento	Início		Km de inflexão	Final		Ext. (m)	Defeito
	Km	Declividade		Km	Declividade		
Aclive	183,8	4,66%	-	184,22	4,66%	420	Declividade >4,5%
Curva convexa	184,22	4,66%	184,34	184,46	0,54%	240	Valor de k < 48
Curva côncava	184,68	0,54%	184,78	184,88	4,39%	200	Valor de k < 32
Declive	184,88	4,59%	-	185,1	4,59%	220	Declividade >4,5%
Curva convexa	185,1	4,59%	185,34	185,56	-3,99%	460	Valor de k < 48

Elemento	Início		Km de inflexão	Final		Ext. (m)	Defeito
	Km	Declividade		Km	Declividade		
Declive	185,56	-3,99%	-	185,92	-3,99%	360	Declividade >4,5%
Curva côncava	185,92	-3,99%	185,96	186	-3,16%	80	Valor de k < 32

A simulação de distâncias de visibilidade de parada do segmento como um todo resultaram em diversos pontos de falha de visibilidade e zonas de acidentes. Para os *hostspots* de acidentes verificados pela base de dados da PRF, verificou-se que há falha de visibilidade no entorno do primeiro *hotspot*, no km 184. As distâncias de visibilidade para cada *hotspot* estão apresentadas na Tabela 3, para ambos os sentidos de tráfego.

Tabela 18 - Resultados da análise de visibilidade para os Hotspots de acidentes

Hotspot	Sentido Barreiras – São Desidério		Sentido São Desidério - Barreiras	
	Visibilidade	Distância	Visibilidade	Distância
1	Falha de visibilidade	29,6 m	Zona de acidente	30,0 m
2	Visibilidade livre	1790,9 m	Visibilidade livre	1791,6 m
3	Visibilidade livre	205,9 m	Visibilidade livre	202,85 m
4	Visibilidade livre	35,1 m	Visibilidade livre	329,2 m

Em relação à concordância tridimensional, nem o primeiro nem o segundo *hotspots* correspondem aos defeitos de traçado listados na Tabela 1, nem se encontram em região com grande alteração das características do ambiente implantado, apresentando taludes reduzidos. Já o terceiro *hotspot* está localizado em tangente com variações no perfil vertical, defeito de traçado denominado de “Abaulamentos”. A Figura 4 mostra o modelo 3D do local, em comparação com o exemplo de defeito de traçado apresentado pela FGSV.



Figura 25 - Defeito de concordância tridimensional de “Abaulamento” no Km 186

O quarto *hotspot* apresenta curva horizontal iniciando em região elevada, seguida por uma curva horizontal com afundamento vertical, defeito de concordância tridimensional denominado de “Mergulho raso”. A Figura 5 mostra o modelo 3D do ponto, em comparação com o exemplo de defeito de traçado apresentado pela FGSV.



Figura 26 - Defeito de concordância tridimensional de “Mergulho raso” no Km 201



#### 4.1. Discussões

O modelo gerado pelo Infracworks a partir de superfície do terreno apresentou diversas características para o segmento estudado. Inicialmente, o sistema classificou a velocidade diretriz do segmento como 45km/h em função da geometria implantada. Sendo a BR-135/BA no subtrecho estudado uma rodovia de Classe IB, a velocidade compatível com o tráfego de usuários da via deveria ser 80 km/h.. Embora o programa utilize normativas de projeto americanas da AASHTO, as quais diferem das normalizadas pelo DNIT, nota-se uma diferença de quase 50% entre a velocidade diretriz encontrada pelo programa e a esperada para a classificação da via.

No que tange à geometria horizontal, o alinhamento fornecido pelo Infracworks resultou em valores estimados para o raio da curva muito abaixo do raio mínimo exigido para a Classe IB. Em uma análise detalhada do alinhamento, verificou-se que os parâmetros do *software* simplificam o eixo em curvas circulares de pequeno raio, aplicando tangentes entre as curvas de raio maior. Dessa forma, os raios fornecidos pelo *software* não são confiáveis. Tal erro explica o fato de a classificação da velocidade diretriz fornecida pelo *software* apresentar tão significativa diferença da velocidade diretriz esperada, apontando um erro de sensibilidade do *software* ao vetorizar as curvas horizontais. Numa análise visual não paramétrica da imagem de satélite, pôde-se constatar que embora nem todas as curvas estejam acima do raio mínimo para a velocidade diretriz de 80km / h, a maioria se encontra de acordo. Quanto aos *hotspots* analisados, aparentemente o de número quatro, no km 201 pode apresentar um problema com a geometria horizontal, pois sua próxima curva parece ter um raio menor que 210 metros. Entretanto, para confirmação do raio exato se faz necessário medição topográfica.

No que se refere ao perfil vertical, apesar da imprecisão do modelo digital de elevação da base de dados cartográfica, a linha de greide estimada pelo *software* permitiu uma análise razoavelmente detalhada dos parâmetros geométricos da via existente. Os *hotspots* 1, 2 e 3 encontram-se em local onde o perfil vertical não atende à normalização prevista pelo DNIT, em relação à declividade de rampas. No *hotspot* número 4 não foram encontrados defeitos de projeto no perfil vertical apresentado.

Em relação à análise de visibilidade, pode-se perceber que o *hotspot* com maior quantidade de acidentes, o *hotspot* de número 1 no km 184, se encontra em uma região classificada como zona de acidente devido à pequena distância de parada. Nenhum dos



outros *hotspots* retornou problemas de visibilidade na análise. Esse resultado pode significar que o algoritmo não encontrou o problema nesses pontos ou que a falta de visibilidade não é a causa dos acidentes ocorridos nesses pontos.

## 5. CONCLUSÕES

O modelo gerado no *software* Infracore forneceu informações suficientes para a identificação de defeitos de traçado nos pontos críticos de acidentes estudados. Foi possível a identificação de inconsistências geométricas que podem estar contribuindo para a recorrência de acidentes nos pontos estudados. No que diz respeito à análise da geometria, as estimativas horizontais para o raio da curva não se mostraram precisas, entretanto verificou-se que as contribuições mais relevantes do Infracore nesta análise foram a vetorização de alinhamento e o perfil vertical a partir do modelo de terreno e informações paramétricas das vias locais. Embora se reconheça que qualquer *software* de tecnologia SIG poderia fornecer as informações relativas ao terreno, os parâmetros estimados da linha de inclinação do perfil vertical, assim como o alinhamento predefinido editável, demonstraram ser úteis na análise e puderam ser convenientemente obtidos devido ao design paramétrico fornecido pela associação com o BIM. Na análise das distâncias de visibilidade, nota-se que as zonas de acidente obtidas pelo algoritmo do Infracore não correspondem inteiramente aos pontos de acesso de acidente. Como muitos fatores podem afetar a ocorrência de acidentes, a análise não foi conclusiva, uma vez que a distância de visibilidade pode não ser um fator causador de acidentes nos pontos analisados. Já para a avaliação da concordância, a visualização simultânea dos perfis horizontais e verticais, juntamente com o modelo tridimensional, permitiu um melhor entendimento da geometria, facilitando o processo de identificação de falhas de projeto.

No entanto, deve-se notar que, embora o objeto deste estudo seja uma rodovia brasileira, o *software* utilizado classifica as estradas de acordo com os parâmetros americanos da AASHTO, ao invés das instruções do DNIT. Essa diferença pode ocasionar divergências leves nos resultados, que não foram considerados neste estudo devido às semelhanças nas duas regulamentações. Seria interessante, entretanto, que novos estudos abordassem essa questão.



## REFERÊNCIAS

DER-SP, Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Secretaria de Transporte. **Instrução de Projeto IP-DE-F00 / 001**, São Paulo, 2006.

DNER, Departamento Nacional de Tecnologia Rodoviária. **Manual da Junta de Desenvolvimento de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais, IPR-706**, Rio de Janeiro 1999.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes do Brasil. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, Escopo Básico / Instruções de Serviço**. Departamento Nacional de Tecnologia Rodoviária, IPR-726, Rio de Janeiro, 2006.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. e Liston, K., 2008. **Manual BIM: Um guia para modelagem de informações de construção para proprietários, gerentes, designers**. ISBN: 978-0-470-18528-5

FGSV, **Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAS), Teil: Linienführung (RAS - L)**, Ausgabe 1995.

Inc., **Autodesk. (2018). Infracore 360. Software** versão 2018.

Lee, Shu Han. **Introdução ao Projeto de Estradas Geométricas**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2013.

Londres, Kerry; Singh, Vishal; Taylor, Claudelle; Gu, Ning; Brankovic, Ljiljana. **Estrutura de suporte à decisão de projeto de modelagem de informações de construção**. Association of Construction Management Researchers (ARCOM), 2008, Cardiff, Reino Unido.

PRF, **Polícia Rodoviária Federal Brasileira**, URL: <<https://www.prf.gov.br/portal/acesso-a-informacao/servico-de-informacao-ao-cidadao-sic>>. Acesso em 15 set 2019

Rafiee, A., Dias, E., Fruijtjer, S. e Scholten, H., 2014. **Do BIM à geo-análise: Visualização da cobertura e análise de sombra pela integração BIM / GIS**. Procedia Environmental Sciences, 22, pp.397-402.

Van Deursen W.P.A. 1995. **Sistemas de Informação Geográfica e Modelos Dinâmicos**. Ph.D. tese, Utrecht University, NGS Publication 190, 198 pp.



# ELABORAÇÃO DO DESAFIO RODOVIÁRIO - FASE 1: ESTUDO E VIABILIDADE DA ADAPTAÇÃO DO PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS EM ESCALA REDUZIDA

*M. Michelini<sup>1</sup>; F. Janissek<sup>2</sup>; L. Masso<sup>3</sup>; M. Souza<sup>4</sup>; D. Vicentini<sup>5</sup>*

*<sup>1-4</sup>GET, Setor de Tecnologia, UFPR. E-mail: getufpr@gmail.com*

*<sup>5</sup>GPDAl, Depto. de Transportes, Setor de Tecnologia, UFPR. E-mail: vicentini@ufpr.br*

## RESUMO

Sendo o maior e mais importante sistema de transporte no país, o sistema rodoviário requer grande atenção e especialização nos seus projetos. Por conta disso, é essencial buscar formas criativas de ensinar os futuros engenheiros, garantindo a durabilidade e qualidade desse sistema. Nesse trabalho, são estudados o uso de modelos reduzidos e um desafio universitário como forma de introduzir aos estudantes situações próximas da realidade e obter maior eficiência no aprendizado. A fase inicial deste projeto, e à qual corresponde este artigo, consiste em verificar a viabilidade de produção de um modelo reduzido de rodovia. Para isso, foram determinados, a partir de testes e análises, os veículos de projeto e os materiais a serem utilizados no modelo. A partir dessas análises, foi concluído que é possível realizar, *a priori*, um modelo reduzido, seguindo um limite de declividade longitudinal de 20° no plano do modelo, uma escala média de 1:65 para os parâmetros de dimensões do veículo de projeto e um valor de escala de 1:37300 para a conversão de parâmetros influenciados pela gravidade e massa.

**PALAVRAS-CHAVE:** rodovia, ensino, modelo reduzido, competição, projeto geométrico de estradas.

## ABSTRACT

*As the largest and most important transportation system in the country, the road system requires great attention and specialization in its projects. Because of this, it is essential to seek creative ways to teach future engineers, ensuring the durability and quality of the system. In this work, the use of reduced models and university challenge are proposed as a way of introducing students to situations closer to reality. This would allow to achieve greater efficiency in learning. The initial phase of this project, i.e. the one to which this article corresponds, consists of verifying the feasibility of producing a reduced model of a highway. For this purpose, tests and analyzes were performed in order to establish the project vehicles and model materials. From these experiments, it can be concluded preliminarily that is possible to perform a reduced model, with a 20° longitudinal slope limit in the model plane. Also, an average scale of 1:65 for the dimensions' parameters of the project vehicle and a scale value of 1: 37300 for the conversion of parameters influenced by gravity and mass can be adopted.*

**KEYWORDS:** highway, education, reduced model, competition, geometric design of roadways.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de sua importância, foi apenas a partir dos anos 40 que o transporte rodoviário começou a ganhar força no Brasil. A Lei Joppert de 1945 (BRASIL, 1945) concedeu autonomia técnica e financeira ao DNER (criado em 1937), impulsionando a construção de rodovias federais, que passou de 423 km de extensão em 1940 para 968 km em 1950 (DNIT,



2020). Desde então o sistema rodoviário passou a ser o maior e de mais importância no país, sendo hoje responsável por 61,1% do transporte de carga no Brasil (CNT, 2019). A primeira normativa para o projeto de rodovias rurais surgiu em 1979. Baseada nas diretrizes da AASHTO, foi atualizada em 1999, sendo a norma vigente utilizada até hoje (DNER, 1999).

Por outro lado, pode-se dizer, de modo geral, que o ensino de engenharia no país é tradicionalista. Em 2008, Ribeiro (2008) constatou que esse pode ser um dos fatores a gerar evasão de alunos, principalmente durante o chamado “ciclo básico”.

Para tornar o ensino da engenharia mais interessante, algumas alternativas vêm sendo propostas. Amorim (2006) destacou a relevância do uso de bancadas experimentais no ensino da engenharia, utilizando modelos em escala reduzida para testar e validar conceitos e aplicações teóricas em vibrações, facilitando o entendimento de modelos matemáticos muitas vezes abstratos. Esse tipo de iniciativa tem se mostrado importante para estimular o interesse dos alunos, além de aumentar a eficiência no aprendizado. Além disso, o uso de modelos reduzidos é particularmente vantajoso, pois permite representar os fenômenos e ações da escala real em uma escala menor, exequível em espaço restrito e com demanda menor de recursos.

No âmbito de projetos geométricos de rodovias, cabe destacar o Projeto Ponto de Partida (GARCÍA, 2017), em que os alunos formam empresas fictícias responsáveis pela elaboração de um projeto de infraestrutura viária, e no decorrer das atividades conseguem ter contato com as principais etapas de um projeto real.

As competições ou desafios universitários têm sido outra vertente interessante no aprendizado de engenharia. Segundo De Moura e Costa (2014), equipes extracurriculares para a formulação de projetos e competições são importantes para o aluno ter contato com problemas práticos, além de permitir o aprendizado de habilidades que proporcionarão um ganho na qualificação profissional.

Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), um dos primeiros recursos orientados a este estilo foi a Competição de Pontes de Papel, criada em 2011 e desenvolvida pelo Programa de Educação Tutorial (PET, 2020). Nesta competição, realizada anualmente, os alunos devem fazer um projeto de uma ponte treliçada, confeccionando seu modelo reduzido, utilizando apenas papel e cola. O objetivo principal, no entanto, é suportar uma determinada carga com a menor quantidade de papel possível (PET, 2016). Outras



competições similares a esta são realizadas no país e mundialmente (CENTAMORI, 2019; JUSTINO, 2018; TEACHENGINEERING, 2020).

Outro trabalho de destaque no âmbito da UFPR é o Desafio Intermodal de Curitiba, promovido pelo programa Ciclovida da Universidade Federal do Paraná (UFPR, 2020). O objetivo é encontrar o modal mais eficiente para fazer um percurso de aproximadamente 10km durante o horário de pico, avaliando o tempo de deslocamento, custo e emissão de poluentes. Soma-se a este, também na área de Transportes, a criação da Competição de Microssimulação, proposta pelo Grupo de Estudos em Transportes (GET, 2020), com o objetivo de aprofundar conhecimentos de engenharia através do uso de software específico. Neste desafio, o objetivo é otimizar o desempenho de uma parcela da malha urbana pré-estabelecida, aprimorando os conhecimentos dos participantes na área de microssimulação de tráfego.

Em parceria com o Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO, 2020), o PET Engenharia Civil, da UFPR também criou, mais recentemente, o Desafio de Taludes. O objetivo é o desenvolvimento de um modelo reduzido de terra armada com papel, cola e areia. Essa atividade requer a compreensão dos fenômenos, realizar o dimensionamento, detalhamento, execução e gerenciamento de tempo.

O objetivo do presente trabalho (Fase 1) é verificar a viabilidade de adaptação de uma rodovia genérica para um modelo reduzido, utilizando materiais acessíveis. Para isso, será realizado um estudo (ainda em fase preliminar) para a adequação das diretrizes de projeto contidas na norma (DNER, 1999) para a escala do modelo. Em uma fase posterior, caso seja verificada a viabilidade deste projeto, será criado o Desafio Rodoviário (competição), onde as equipes de alunos deverão produzir um modelo reduzido de uma rodovia, a partir de normas próprias adaptadas, materiais e critérios de avaliação previamente definidos. O veículo em miniatura deverá então percorrer uma determinada rota, calculada com parâmetros de projeto adaptados, sujeito somente às forças da gravidade. Estas etapas são melhor explicadas a seguir.

## **2. METODOLOGIA**

O Projeto de Elaboração do Desafio Rodoviário foi dividido em um total de seis fases, sendo: a) a primeira para a pesquisa de materiais da estrutura do modelo reduzido (levantamento dos materiais, recursos, disponibilidade e suas propriedades mecânicas),



determinação do veículo de projeto (suas propriedades, determinação da velocidade do protótipo); b) a segunda consiste na análise e estudo das normas vigentes com o intuito de adaptar conceitos, formulações e requisitos de projeto real para a escala reduzida do protótipo (projeto básico preliminar); c) a terceira consiste no estudo de viabilidade da execução do projeto utilizando software específico da área de projetos de Infraestruturas, aquisição dos materiais e a confecção da pista protótipo. Verificadas as limitações de projeto e execução, a quarta, quinta e sexta etapas estarão centralizadas na realização do Desafio Rodoviário propriamente dito (estabelecimento das regras, sistema de pontuação, premiação, número de participantes e de equipes, publicações e difusão, busca de patrocínio). O presente trabalho está centrado nos avanços relativos à Fase 1 do Projeto.

Para isso foi necessário um estudo preliminar da norma (DNER, 1999), estudo dos materiais e dos equipamentos existentes que poderiam tornar a proposta factível para alunos do curso de Engenharia Civil. Alguns testes também foram efetuados, os quais serão detalhados a seguir.

## **2.1. Pesquisa de materiais**

Para a pesquisa qualitativa de materiais, foram realizadas reuniões periódicas para levantamento dos principais requisitos técnicos e econômicos, a fim de tornar viável a execução do desafio, posteriormente, aos alunos da graduação. Foram definidas dimensões mínimas e máximas do protótipo e os materiais avaliados foram escolhidos em função da facilidade no manuseio, peso e custos.

A Figura 1 contém um esboço ilustrativo em 3D da maquete idealizada, onde é possível observar: a base (plataforma que dará sustentação à toda a estrutura), o relevo (moldável, a nível criativo, responsável por gerar desníveis e a força gravitacional atuando sobre o veículo) e a rodovia (contendo diversos elementos de projeto).

Após diversas discussões, foram definidas as dimensões mínimas da base (40x70cm), que seriam as correspondentes, a aproximadamente, um tampo de carteira escolar (considerando que as equipes futuras possam preferir transportar o trabalho para maior comodidade e também evitar revelar seu projeto às demais equipes). A pesquisa de preços para os materiais da base não mostrou diferenças significativas entre si, de modo a inviabilizar o trabalho. Porém, mais tarde o projeto recebeu algumas placas, em estado

relativo de conservação, a partir dos inservíveis da UFPR. Assim, as placas foram recicladas e poderão ser cortadas nas dimensões especificadas para o projeto.

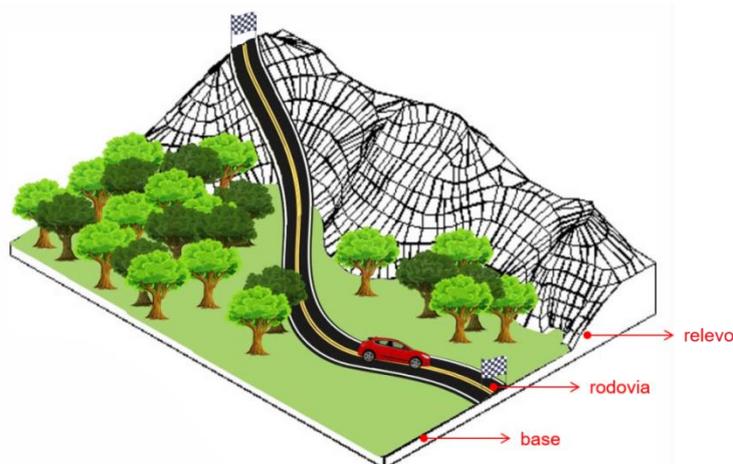


Figura 1 – Esboço orientativo da maquete em 3D idealizada.

Para o relevo, foram definidos os materiais papelão, isopor e argila, de acordo com a acessibilidade, custo, tamanho, facilidade no manuseio e plasticidade destes materiais.

Para a superfície da rodovia, foram definidos *a priori* materiais como emulsão asfáltica e areia fina em função do custo e rugosidade. Entretanto, este último requisito técnico deverá ser melhor avaliado futuramente, uma vez que testes preliminares indicaram uma maior propensão à utilização de superfícies lisas, que produzem pouco atrito dinâmico (testes com o plano inclinado, apresentados na seção 2.3).

## 2.2. Veículo de projeto

Segundo DNIT (2005), um veículo teórico consiste em um veículo de uma certa categoria, “cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existentes nessa categoria. A predominância de uma certa categoria de veículos define o veículo de projeto a ser escolhido para condicionar as características da via.”

Tendo em vista essa definição, e sabendo que nos projetos de rodovias rurais e de interseções os veículos teóricos normalmente adotados são os caminhões e ônibus comerciais rígidos (designação CO) ou os caminhões articulados compostos por uma unidade tratora e um semi-reboque (designação SR) (DNER, 1999), foi definido que o uso

de um veículo articulado, não pilotado remotamente tornaria impraticável a realização do projeto na escala reduzida, uma vez que a ideia do desafio consiste em aproveitar a força da gravidade.

É importante conhecer as dimensões do veículo de projeto pois, no protótipo em escala reduzida, estas influenciarão diretamente a formulação e limitações em termos de curvaturas, raios de giro, dimensões da pista de rodagem e altura do relevo a ser considerado. Em projetos de rodovias reais, a escolha é feita em função do veículo com maior representatividade na frota. Para a escolha do veículo de projeto na escala reduzida, foram pesquisados veículos recreativos (brinquedos) com durabilidade razoável, econômicos, sem tração e que não demandassem o uso de controle remoto ou fricção (permitindo estar, portanto, sujeito somente à ação da gravidade para percorrer a rota). Nesta categoria, foram estudados os veículos *Ford Focus RS nº16* (Figura 2a) e *Ford Fiesta nº12* (Figura 2b), ambos da marca *Hot Wheels®* da Mattel, sendo brinquedos relativamente fáceis de encontrar no mercado.



Figura 2 – Modelos de veículos de brinquedo considerados no estudo  
Fonte: Mercado Livre (imagens ilustrativas)

Foi também adquirido um caminhão da mesma marca (*Hitch N'Haul*, Figura 2c), porém testes realizados mostraram a inviabilidade de utilizá-lo como veículo de projeto no protótipo. Isso será apresentado e melhor discutido na sequência.

### 2.3. Testes de velocidade no plano inclinado

De posse dos veículos e as placas disponíveis, foram ainda realizados testes de velocidade e aderência para avaliação preliminar das dificuldades futuras e dos limitantes dinâmicos do projeto em escala reduzida. Os testes foram realizados na Sala de Permanência do Departamento de Transportes da UFPR, com auxílio de materiais simples como régua

escolar de 30 cm, esquadro 45°/45°, nível, cronômetro, mesa de apoio e calculadora (Figura 3).



a) Organização do experimento

b) Obtenção da velocidade para o ângulo de 30°

Figura 3 – Testes de velocidade no plano inclinado

A Figura 3a) mostra a organização do experimento. A inclinação da base variou de 5° a 30° (em incrementos de 5°), com dois alunos posicionados nas extremidades da placa (Figura 3b), medindo com esquadro e régua a inclinação da superfície. Um terceiro aluno liberava o veículo da extremidade da placa e um quarto, posicionado na extremidade oposta, marcava o tempo com um cronômetro. O teste de velocidade consistiu na cronometragem do tempo necessário para que o veículo em miniatura percorresse uma determinada distância na placa, em uma média de quatro repetições.

Não houve influência de forças além da gravitacional, para que o veículo se deslocasse (em um primeiro momento, o atrito foi desprezado para simplificação do estudo, mas os valores poderão ser corrigidos mais tarde, caso necessário). Por simplificação, a velocidade média  $V$ , de acordo com os conceitos do movimento retilíneo uniforme, pode então ser



calculada por  $V = \Delta S / \Delta t$ , onde  $\Delta S$  é o deslocamento do veículo entre dois pontos fixos, num determinado intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Além dos testes realizados com os *Ford Focus* (Figura 2a) e *Fiesta* (Figura 2b), foram feitas diversas tentativas com o caminhão *Hitch N'Haul* (Figura 2c), porém o mesmo precisou ser descartado como veículo de projeto, dada sua incapacidade de percorrer em linha reta o trajeto estabelecido (o caminhão, articulado, rotacionava em 90° conforme se deslocava no plano).

### 3. RESULTADOS

Para efeitos de comparação, foi realizada adicionalmente uma análise das especificações técnicas entre os modelos escolhidos e as versões reais correspondentes dos veículos (Ford Focus e Ford Fiesta). Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

#### 3.1. Dimensões dos modelos

A Tabela 1 a seguir contém as dimensões tanto dos modelos em escala real quanto em escala reduzida dos veículos selecionados.

Tabela 1 – Comparação entre veículo Ford Focus SE 1.6 (veículo real) e Ford Focus RS nº16 (miniatura)/ Ford Fiesta SEL1.6 da categoria hatchback (veículo real) e Ford Fiesta nº12 (miniatura)

Características	Veículo Real	Miniatura	Escala Relativa
Altura H (mm)	1469/1487	22/22	66,77/67,59
Largura L (mm)	1823/1765	25/25	72,92/70,6
Comprimento (mm)	4360/3935	65/65	67,08/60,5
Peso (Kg)	1310/1084	0,034/0,03	38529,4/36133,3
Largura entre eixos (mm)	2648/2488	41/41	64,58/60,68

Fonte: adaptado de FORD (2020a,2020b).

A partir da análise dos valores levantados na Tabela 1, foi obtida a escala relativa média das dimensões, que para o Ford Focus foi 67,19, enquanto que para o Ford Fiesta foi 66,07. No entanto, para fins de padronização, foi adotada a escala média arredondada de



1:65 para ambos os veículos analisados, para os parâmetros de projeto relativos às dimensões. Para a massa, foi adotado um valor diferenciado por ser muito discrepante da escala das dimensões. Assim, a média arredondada de 1:37300 foi adotada para a conversão de valores e parâmetros que serão influenciados pela gravidade. Pode-se observar ainda que ambos os veículos analisados possuem dimensões ligeiramente menores que as do veículo padrão VP (DNIT, 2005).

Após a análise detalhada dos modelos em escala real e reduzida, é necessário relacioná-los com os veículos de projeto teóricos considerados no projeto geométrico de estradas. A principal função do projeto geométrico é garantir que o trajeto realizado pelos veículos seja confortável e, ainda mais importante, seguro. Para isso, há inúmeras variáveis a serem consideradas, entre elas a topografia do local, velocidade máxima da via e dimensões dos veículos. Comparando os dados obtidos até o momento com os dados dos veículos CO e SR, observa-se que a escala adotada pode ser transferida a qualquer uma destas categorias, sem perda da generalidade, uma vez que um projeto para veículo CO ou SR atenderá com sobras, às especificações de veículos VP.

Adicionalmente, a fim de dar maior suporte à decisão da escala reduzida a ser adotada, foi feito um estudo comparativo entre um caminhão da marca Hot Wheels®, modelo *Hitch N' Haul*, cuja escala já é fornecida pelo fabricante no rótulo do produto (1:64).

O caminhão em miniatura guarda correspondência com o caminhão padrão SR, o qual consiste em um caminhão trator na configuração cavalo mecânico e um semirreboque do tipo plataforma. O peso do primeiro é de 77 gramas, sendo que não possui correspondência direta com nenhum modelo de veículo real (é apenas uma miniatura criada pela empresa).

### **3.2. Resultados dos testes de velocidade no plano inclinado**

Realizados os testes de velocidade de acordo com a descrição na Seção 2, foi possível elaborar gráficos contendo quatro medições de velocidade (V1, V2, V3 e V4) por inclinação. Na Figura 4 os gráficos são apresentados para ambos os modelos avaliados.

Observa-se que as medidas apresentaram resultados satisfatórios, com valores médios bastante próximos entre si para as inclinações consideradas. Em geral, ângulos mais elevados produzem maior velocidade. No entanto, uma pequena variação na velocidade foi observada nas curvas entre 20° e 30°, mas dada que a variância ( $\sigma^2$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da amostra

foram de 0,050 e 0,223 respectivamente, para o caso mais crítico (curva de 20°, na Fig. 4b), não houve ganho significativo, em termos de velocidade, para ângulos superiores a 20°.

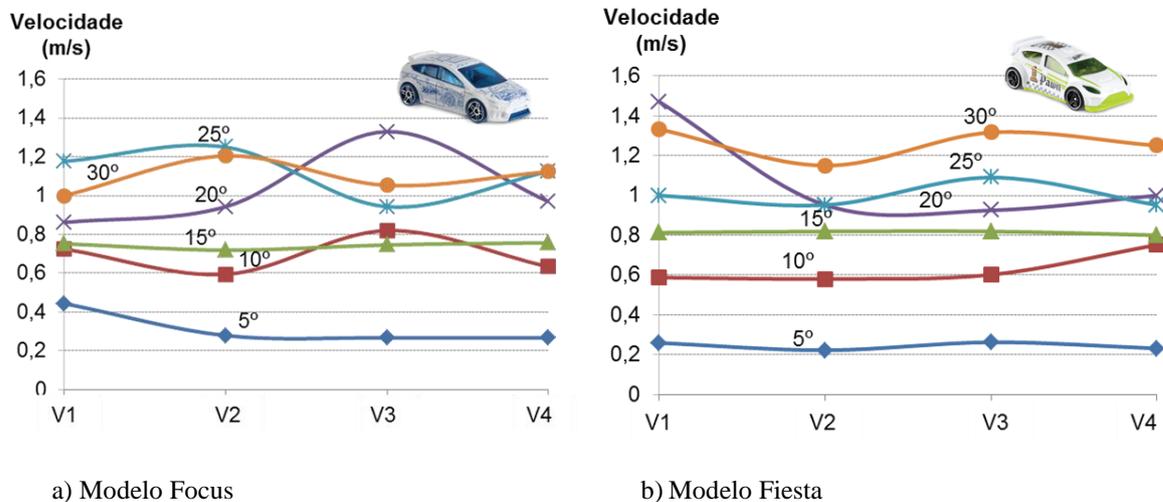


Figura 4 – Medidas de velocidade no plano inclinado

Deste modo, foi possível identificar que declividades máximas da ordem de 20° sejam suficientemente aceitáveis para os objetivos deste trabalho (já que ângulos superiores produzem praticamente os mesmos efeitos práticos, mas implicarão necessariamente em maiores gastos em termos de recursos).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa primeira fase de desenvolvimento do projeto Desafio Rodoviário, a pesquisa de materiais e os testes com os possíveis veículos de projeto mostraram que é possível construir um modelo reduzido de uma rodovia genérica de forma acessível para os alunos.

Como detalhado na Seção 3, os principais resultados obtidos dos veículos de projeto foram a escala média para adaptação das dimensões reais (1:65), a escala para conversão da massa e dos parâmetros influenciados pela gravidade (1:37300) e a inclinação máxima longitudinal do projeto (20°), para que o mesmo seja viável do ponto de vista técnico e econômico.

Essa fase é de extrema importância para o desenvolvimento do projeto. Com a intenção de trazer aos alunos uma situação mais próxima do real e maior conhecimento em projetos geométricos de rodovias, numa forma prática de aprendizado, o ideal é que a produção dos modelos reduzidos não seja uma limitação para a participação dos alunos, mas sim um



incentivo. Logo, colocar em prática a produção do modelo tornará o desafio mais fácil e convidativo aos alunos, contribuindo para uma maior participação e aprendizado.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, M. J. **Desenvolvimento de bancada didático-experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. 2006.

CENTAMORI, V. Alunos de engenharia ganham concurso de construção de pontes com macarrão. **Revista Galileu**, **27/08/19**. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2019/08/alunos-de-engenharia-ganham-concurso-de-construcao-de-pontes-com-macarrao.html>>. Acesso em 21 set. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins Técnicos**, **2019**. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/Boletim%20unificado/Fevereiro/BOLETINS%20T%C3%89CNICOS%20DA%20CNT%20-%20FEVEREIRO.pdf>>. Acesso em 11 set. 2020.

DE MOURA, C. H.; COSTA, A. G. **Competições de engenharia incentivam conhecimento prático**, **09/09/14**. ONG Porvir. Disponível em: <<https://porvir.org/competicoes-de-engenharia-incentivam-pratica-de-alunos/20140909/>>. Acesso em 05 set. 2020.

DECRETO-LEI Nº 8.463, DE 27 DE DEZEMBRO DE 1945 (BRASIL). Presidência da República. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Decreto-Lei/1937-1946/Del8463.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/1937-1946/Del8463.htm)>. Acesso em 16 set. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (BRASIL). **Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: IPR 706, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (BRASIL). **Breve Histórico do Rodoviarismo Federal no Brasil**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>>. Acesso em 11 set. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (BRASIL). **Manual de Projeto de Interseções**. 2 ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 718, 2005.

FORD COMPANY BRASIL LTDA. **Ford Fiesta Manual do Proprietário**. Disponível em: <[https://www.ford.com.br/content/dam/Ford/website-assets/latam/br/servico-ao-cliente/manuais/2019/manuais-do-proprietario/New\\_Fiesta\\_MP\\_D3B519A321EA\\_MY2019.pdf](https://www.ford.com.br/content/dam/Ford/website-assets/latam/br/servico-ao-cliente/manuais/2019/manuais-do-proprietario/New_Fiesta_MP_D3B519A321EA_MY2019.pdf)>. Acesso em 30 set. 2020a.

FORD COMPANY BRASIL LTDA. **Ford Focus Manual do Proprietário**. Disponível em: <[https://www.ford.com.br/content/dam/Ford/website-assets/latam/br/servico-ao-cliente/manuais/2019/manuais-do-proprietario/New\\_Focus\\_MP\\_D3B519A321EA\\_MY2019.pdf](https://www.ford.com.br/content/dam/Ford/website-assets/latam/br/servico-ao-cliente/manuais/2019/manuais-do-proprietario/New_Focus_MP_D3B519A321EA_MY2019.pdf)>. Acesso em 30 set. 2020b.



cliente/manuais/2019/manuais-do-proprietario/Manual\_Proprietario\_Focus\_2019.pdf>. Acesso em 30 set. 2020b.

GARCÍA, D. S. P. **Projeto ponto de partida: o ensino de projetos de rodovias através de uma abordagem lúdico-real-didática.** TRANSPORTES, v. 25, n. 3, p. 135-165, 2017.

GRUPO DE ESTUDOS EM GEOTECNIA (GEGEO). **Desafio de Taludes.** Disponível em: <<https://geotecnia.wixsite.com/gegeoufpr/desafio-de-taludes>>. Acesso em 11 set. 2020.

GRUPO DE ESTUDOS EM TRANSPORTES (GET). **I Competição de Microsimulação.** Disponível em: <<https://getufpr.wixsite.com/getufpr/post/i-competi%C3%A7%C3%A3o-de-microsimula%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 16 set. 2020.

JUSTINO, G. Qual ponte de espaguete aguenta o maior peso sem quebrar? Competição na UFRGS desafia alunos. **Revista Gaúcha ZH.** Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/educacao-e-emprego/noticia/2018/11/qual-ponte-de-espaguete-aguenta-o-maior-peso-sem-quebrar-competicao-na-ufrgs-desafia-alunos-cjouiknw10ga101pizk4ypc17.html>>. Acesso em 21 set. 2020.

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL (PET) ENGENHARIA CIVIL UFPR. **VI Competição de Pontes de Papel.** Disponível em: <<http://petcivil.blogspot.com/2016/11/vi-competicao-de-pontes-de-papel.html>>. Acesso em 11 set. 2020.

RIBEIRO, L. R. C., Luis Roberto. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia.** Revista de Ensino de Engenharia, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.

TEACHENGINEERING. **Hands-on Activity: Spaghetti Bridges.** University of Colorado. Disponível em: <[https://www.teachengineering.org/activities/view/wpi\\_spag\\_act\\_joy](https://www.teachengineering.org/activities/view/wpi_spag_act_joy)>. Acesso em 21 set. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Desafio Intermodal de Curitiba avalia forma mais eficiente de se locomover pela cidade.** Disponível em: <<https://www.ufpr.br/portalfufr/noticias/nesta-sexta-feira-23-desafio-intermodal-de-curitiba-avalia-forma-mais-eficiente-de-se-locomover-pela-cidade/>>. Acesso em: 11 set. 2020.



## CONFLITOS FERROVIÁRIOS EM PASSAGENS EM NÍVEL: UMA ABORDAGEM DOS CASOS CRÍTICOS EM CURITIBA, PR

Júlia Balen<sup>1</sup>; Maria Eduarda Saquetto Michelini<sup>2</sup>; Luis Henrique Menuci<sup>3</sup>; Anelise Schmitz<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes

<sup>1</sup> juliabalen@ufpr.br, <sup>2</sup> saquetto@ufpr.br, <sup>3</sup> luis.menuci@ufpr.br, <sup>4</sup> anelise.schmitz@ufpr.br

### RESUMO

As passagens em nível constituem-se pelo cruzamento no mesmo nível entre uma ferrovia e uma rodovia. O conflito entre modal rodoviário e ferroviário representa um potencial risco de acidentes, que apesar da baixa probabilidade de ocorrência, possuem elevada severidade e impacto econômico. Assim, propôs-se com este artigo, o estudo de características que influenciam na acidentalidade e a avaliação do risco de acidentes de uma passagem em nível, através de dados da literatura internacional, além da análise do cenário brasileiro de segurança viária nos cruzamentos rodoferroviários, com foco na cidade de Curitiba, a partir dos dados do Anuário CNT do Transporte e do Relatório de Atualizações e Informações do PROSEFER. Como resultado, constatou-se que existem 80 passagens em nível na cidade, destacando-se cinco em estado crítico, de acordo com o Relatório de Preposições para a Solução de Conflitos Ferroviários. A partir de uma avaliação multicritério, a resolução desses conflitos é prioritária para uma melhoria no quadro nacional e, portanto, é proposto a implantação de um contorno ferroviário para mitigação do problema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Passagens em Nível, Ferrovias, Conflitos Ferroviários.

### ABSTRACT

Level crossings are formed by the intersection between a railroad and a highway. The conflict between the highway and the railway modal represents a potential risk of accidents, that despite the low probability of occurrence, has a high severity and economical impact. Therefore, this article aims to study the characteristics that influences in the accident rate and the evaluation of the accident's risks of a level crossing, through international literature data, besides the analisys of the brazilian scenario in road safety in the highway and railroad intersections, with focus on Curitiba city, using data from CNT Yearbook of Transport and from the Update and Information Report of PROSEFER. As a result, it was concluded that exists 80 level crossings in the city, emphasizing five in critical state, according to the Report of Prepositions for the Solution of Railroad Conflicts. Through a multicriteria evaluation, the solution to this conflict is a priority for an improvement on a national picture and, therefore, it is propose the implementation of a rail outline for the mitigation of the problem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Level Crossing, Railroad, Railway Conflict

## 1. INTRODUÇÃO

As ferrovias chegaram ao Brasil impulsionando o desenvolvimento das cidades. Com a expansão urbana e o crescente uso de veículos sobre rodas, acabaram surgindo conflitos entre as vias dos modais rodoviário e ferroviário, além do gradativo abandono do modal ferroviário. Em resposta a esses conflitos e visando a segurança viária, o art. 10 do Decreto nº1.832, de 4 de março de 1996 (BRASIL, 1996), passou a assegurar a travessia das linhas



férreas por outras vias, dando preferência para a realização das passagens em nível (PN's) diferentes, admitindo o cruzamento no mesmo nível da linha férrea em casos excepcionais.

Além disso, o decreto define a necessidade da gradativa eliminação das interseções rodoferroviárias em nível, e estabelece que o responsável pela via mais recente deve garantir as obras e instalações necessárias ao cruzamento, para a segurança no local. Entretanto, o que se observa na prática é um expressivo número de cruzamentos rodoferroviários ainda com PN's, o que faz destes locais potenciais geradores de acidentes. Segundo Castorino (2014), na resolução destes conflitos é necessário “um investimento de caráter marcadamente social”, pois tem como finalidade proteger a população urbana que vive em áreas adjacentes.

Em 2011, haviam 1856 PN's urbanas ao longo da malha ferroviária brasileira (CNT, 2011), sendo 279 delas consideradas críticas, com alta ocorrência de acidentes, localização imprópria, sinalização deficiente ou inadequada, e/ou clandestinas (VILAÇA, 2008). No relatório realizado em 2019 (PROSEFER, 2019), foram propostos 83 empreendimentos para mitigação dos conflitos relacionados às interseções rodoferroviárias, dentre os quais estão a construção de viadutos, passarelas de pedestres e contornos ferroviários. Um exemplo de sucesso ocorreu na Austrália, no estado de Victoria, em que, com a finalidade de aumentar a segurança viária, o número de PN's foi reduzido cerca de 30% entre os anos de 1970 e 2000, diminuindo 73% o número de colisões e 85% no número de mortes nas PN's (EDQUIST *et. al.*, 2009).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Sinalização de PN's**

A sinalização das PN's pode ser de dois tipos: ativa ou passiva. A ativa, considerada dinâmica, é aquela que fornece um sinal aos veículos de que o trem está se aproximando através de semáforos, cancelas ou luzes intermitentes. A sinalização passiva, por outro lado, é estática, indicando ao motorista apenas que há uma passagem em nível e cabe a ele perceber se há movimento próximo na via férrea, como por exemplo, o uso de placas que orientam a parada dos veículos ou a Cruz de Santo André. Dessa forma, por demandar energia para funcionar, que pode advir das redes de distribuição de energia elétrica ou de



baterias solares, a sinalização ativa tem um custo de implantação e operação maior que a sinalização passiva (DNIT, 2015).

Sobre a efetividade dos dispositivos de segurança, alguns estudos indicam que PN's com sinalização apenas passiva estão associadas a uma maior acidentalidade e violações, em comparação às que estão equipadas com sinalização ativa. O Centro de Pesquisas de Acidentes da Universidade Monash, na Austrália, realizou um estudo de simulação com 25 australianos, com o objetivo de comparar a eficácia e percepção subjetiva dos motoristas em relação aos dispositivos de controle de PN's: luzes intermitentes associadas às cancelas, semáforo ou apenas placa de parada de veículos. A pesquisa mostrou que das 25 violações observadas, 14 foram no cruzamento com sinalização passiva (RUDIN-BROWN *et. al.*, 2012). Estes dados são consistentes com os resultados de outra simulação onde 40% dos motoristas violaram PN's controladas apenas por sinal de parada (LENNÉ *et. al.*, 2011) e que segundo Raub (2006), estão associadas a uma maior taxa de fatalidade nos acidentes.

Na investigação sobre 87 colisões fatais em passagens em nível da Austrália apontou que o erro não intencional (falha humana) foi a causa mais comum dos acidentes, e é provável que a proeminência, clara visibilidade e facilidade de compreensão dos dispositivos de controle do local estejam fortemente relacionados com o erro não intencional dos motoristas (SAFETY, 2002).

Visto as evidências que indicam que sinalização ativa é mais eficiente que a passiva, para a primeira ser realmente efetiva é necessário que os motoristas compreendam bem qual o comportamento adequado frente a estes dispositivos, quando devem parar de fato ou se podem prosseguir a viagem em segurança, já que uma possível causa de acidentes é a condução imprudente de motoristas em PN's (RUDIN-BROWN *et. al.*, 2012).

Na sinalização semafórica, Kobosil e Novák (2017) destacam problemas como a não percepção do motorista ao sinal (devido as obstruções ou até mesmo a incidência do sol) e o comprometimento do dispositivo. Porém, somado ao fato de que o cruzamento do trem pela PN demanda um tempo consideravelmente longo, ressalta-se que a situação mais perigosa é o cruzamento de motoristas imediatamente após o sinal ficar vermelho, ou seja, quando há fila na interseção. Este comportamento é especialmente prejudicial aos motoristas, pois pode passar a falsa impressão de que os veículos terão tempo suficiente para



passar o cruzamento. Uma opção para mitigar este problema seria a instalação de cancelas junto ao semáforo e o aumento da intensidade das luzes (Kobosil e Novák, 2017).

Segundo Kobosil e Novák (2017), os principais problemas da sinalização passiva são a obstrução da visão pela vegetação, os objetos próximos ao cruzamento e a não percepção do motorista às placas. Uma possível melhoria seria colocar o aviso de PARE na estrada, onde o motorista concentra sua atenção. No Brasil, essa sinalização horizontal é assegurada junto à obrigatoriedade de pavimentação asfáltica em pelo menos 40 m antes e depois da linha férrea. Além disso, deve ser verificado o triângulo de visibilidade para o veículo parado e em movimento, além de obras de corte e alargamento (DNIT, 2015).

O DNIT (2015) estabelece especificações quanto à distância de visibilidade obrigatória para cada velocidade, facilitando o cálculo para o triângulo de visibilidade, que é calculado por meio da distância percorrida durante o tempo de percepção e reação, a distância de frenagem e a distância entre os olhos do motorista e a linha férrea, relacionados com a distância necessária para o veículo atravessar o cruzamento com segurança. O intuito é garantir a visibilidade de áreas laterais à linha férrea, para que o motorista possa tomar a decisão de parar ou não (DO CARMO, 2006). Para Kobosil e Novák (2017), a maioria das causas de acidentes em PN's são atreladas ao erro humano, porém é preciso avaliar outros fatores, como a geometria, sinalização, fatores veiculares, entre outros, que podem interferir na segurança viária junto às PN's.

## **2.2. Métodos de avaliação de segurança de uma PN**

Devido a numerosa quantidade de PN's no Brasil, dificilmente é possível propor estudos de ocorrências de acidentes e dispor de capital para realizar melhorias em todas elas. Por esse motivo, é preciso designar uma atuação prioritária, considerando e correlacionando as condições físicas com os riscos de acidentes, a ser determinado por equações matemáticas, das PN's (Carmo e Campos, 2009).

Segundo Carmo e Campos (2009), os parâmetros, como o Fator Ponderante de Acidentes (FPA), pertinente à quantidade de acidentes em determinada PN, fatores físicos, de operação, o Índice de Criticidade (IC) e o Indicador de Nível de Segurança (INS), buscam analisar o nível global de segurança de uma determinada PN. O IC usufrui concepções de Grau de Importância e Momento de Circulação. O IC tem por desígnio instruir a proteção, fundamentada em situações reais de tráfego e definir a melhor maneira para as intervenções.



O Indicador de Nível de Segurança (INS) dimensiona o grau de risco de uma travessia em uma PN e dá prioridade à manutenção de acordo com tal grau, considerando a natureza física e de operação obtidas com IC e com as características de risco de acidente. Nesse sentido, “estabelecer uma prioridade de intervenção é importante na medida em que não se tem recursos suficientes para atuar em todas as PN ao mesmo tempo”. (Carmo e Campos, 2009). Segundo os mesmos autores, para se escolher da melhor forma na PN a ser restaurada deve-se inspecionar e avaliar dados da PN, calcular IC, e assim definir a sinalização adequada. Simultaneamente, deve-se coletar e analisar dados dos acidentes nos últimos t anos, calcular FPA<sub>t</sub>, INS e enfim definir qual PN tem prioridade para intervenção.

Para Hoel, Garber e Sadek (2012) os fatores de riscos nas PN's são relacionados às condições de pavimento, volume de tráfego, trânsito de pedestres, iluminação, distância de visibilidade, volume de tráfego ferroviário, rampa, histórico de acidentes e número de vias férreas. Além disso, conforme Pontes, Faria e Schmitz (2020) há convivência e conflitos entre ferrovia e áreas consolidadas com os mais diversos aproveitamentos, especialmente quando as vias estão localizadas em perímetros urbanos, com alta densidade.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica e exploratória onde objetivou estudar as PN's, com ênfase em Curitiba-PR, e a influência delas nos acidentes com vítimas nas ferrovias. Cabe salientar que Curitiba, a capital do Paraná, possui uma área total de 434,892 km<sup>2</sup> e uma população estimada para 2020 de 1.948.626 pessoas (IBGE, 2020).

Dividida em uma etapa inicial com foco nos aspectos teóricos do tema e uma segunda etapa focada na análise prática de cenários. A revisão da literatura foi realizada de modo não-sistemático (narrativo), tendo como base o problema de pesquisa, avaliando como são tratadas e inseridas as variáveis que influenciam nas PN's, sinalização e métodos de avaliação de segurança de uma PN. Em virtude de o tema ainda ser incipiente nas pesquisas acadêmicas brasileiras, o delineamento da pesquisa e seu desenvolvimento ocorreu com o foco em apontar as PN's críticas e seus fatores que podem ser analisados quando da implantação e critérios de melhorias, em PN's de Curitiba, PR.

Os dados a respeito do número total de acidentes e número de acidentes com vítimas foram retirados do Anuário CNT do Transporte (2019), a relação das PN's foram retiradas



do relatório de Preposições para a Solução de Conflitos Ferroviários (Castorino, 2014) e do Relatório de Atualizações e Informações do Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas (PROSEFER). Enquanto o mapeamento foi feito pelo software QGIS e as fotos retiradas do Google Earth e Street View.

Por fim foram apontados os Índices de Priorização do PROSEFER (IPP). Ressalta-se que quanto maior for o IPP, maior prioridade de execução do empreendimento. O sistema levou em conta a avaliação matricial multicritérios das quatro áreas de priorização: Potencialidade de Acidentes, Mobilidade Urbana, Operação Ferroviária e Avaliação Estratégica, as áreas foram divididas em itens de avaliação com seus respectivos critérios e pesos com base no PROSEFER (2019).

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Análise global dos acidentes nas ferrovias brasileiras**

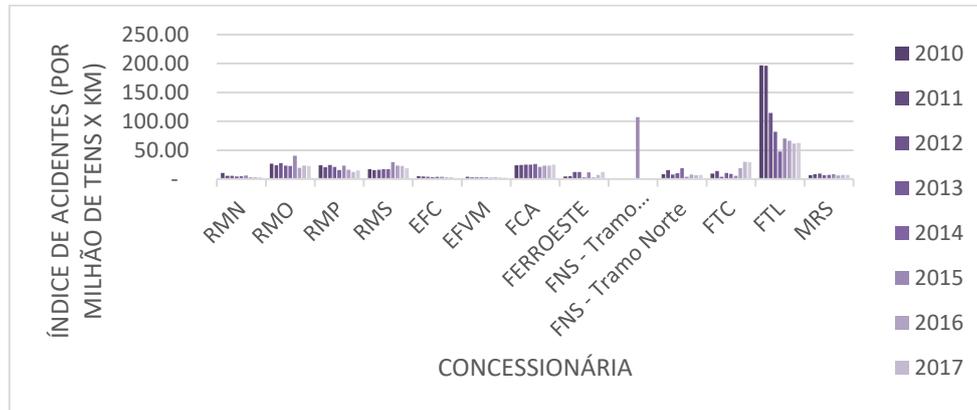
O Brasil tem um total de 30485 km de extensão de ferrovias, entre linhas principais e ramais, ao longo de seu território (CNT, 2019), operados por 12 principais concessionárias, reguladas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. O total de acidentes do último relatório divulgado pela CNT, ano de 2018, foi de 207,63 milhões de trens por quilômetro e, dentre todos os anos, o pior índice (entre 2010 a 2018) foi em 2010, com 336,37, e mais recentemente, em 2015, com 333,37 milhões de trens por quilômetro. Sendo que os piores índices ocorreram na Ferrovia Transnordestina Logística – FTL S/A, com exceção de 2015, em que se destaca a Ferrovia Norte-Sul Tramo Central. Na figura 1 está representado o gráfico que relaciona o índice de acidentes por concessionária e ano.

Outro relatório divulgado pela CNT, esse com informações de 2009 até 2013 apenas, é quanto a evolução do número de vítimas envolvidas em acidentes com trens de carga (Figura 2). No ano de 2012, foram registrados um total de 345 casos, foi o ano de maior número de vítimas, com 128 casos a mais que o ano com menor número, 2010, dentre os 5 anos analisados. A MRS é a que mais se destaca com acidentes com vítimas.

No total, entre os anos de 2009 e 2013, foram registradas 1.460 vítimas envolvidas em acidentes com trens de carga, sendo que foram 337 vítimas no último ano de registro, o segundo maior número entre os observados. Nesse ano, como nos 5 outros, a concessionária com os piores valores foi a MRS Logística, mesmo estando em 6º lugar quanto a extensão

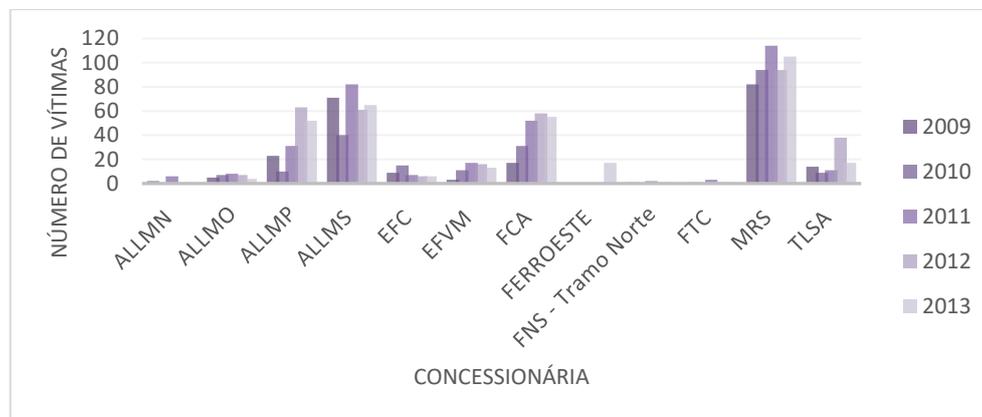
de linhas férreas. Lembrando que a América Latina Logística (ALL) e a RUMO se fundiram em 2015, sobre o nome RUMO. Ressalta-se que não existem informações disponíveis para estudo sobre a Ferrovia Norte-Sul Tramo Central.

Figura 2 - Evolução no índice de acidentes por concessionária



Fonte: Feito pelos autores, baseado na pesquisa de dados dos relatórios da CNT por ano

Figura 3 - Evolução do número de vítimas envolvidas em acidentes com trens de carga por concessionária



Fonte: Feito pelos autores, baseado na pesquisa de dados dos relatórios da CNT por ano

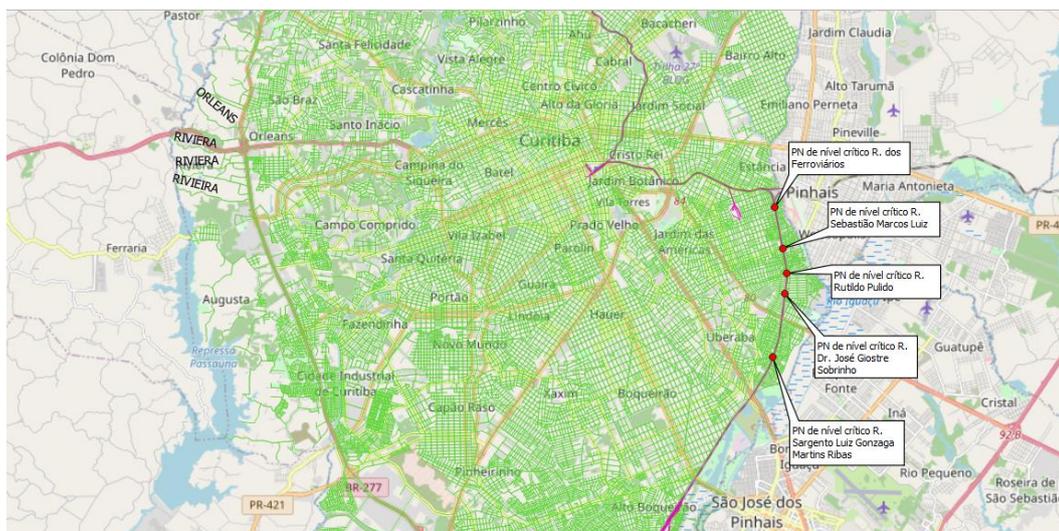
A ferrovia RUMO Malha Sul está compreendida nos estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina com uma extensão total de 7223 km em bitola métrica (ANTT). Portanto, compreendendo a cidade objeto de estudo, Curitiba, PR, onde, de acordo com a PROSEFER (2019), é necessário solucionar 19,50 km do total de 85,77 km de extensão da malha que passa pelo município devido aos conflitos entre a ferrovia e a rodovia. Foram registradas 80 PN's que interferem no tráfego causando uma obstrução de, em média,

0,98 horas por dia. Além disso, passa uma média de 11,92 trens por dia pelo local, com uma taxa de ocupação de 74,82% das linhas (PROSEFER, 2019).

#### 4.2. PN's críticas em Curitiba

Na capital paranaense existem atualmente, num total de 80 PN's, 5 PN's em estado crítico de acordo com o PROSEFER (2011 *apud* Castorino, 2014). Na figura 3 está um recorte da cidade de Curitiba com destaque às ruas (em *layer* verde) e ao traçado da ferrovia (em *layer* rosa), também estão marcados os cinco pontos de passagem em nível críticos (em vermelho), que se situam entre a malha ferroviária e seguintes ruas: 1) Rua dos Ferroviários; 2) Rua Sebastião Marcos Luiz; 3) Rua Rutildo Pulido; 4) Rua Dr. José Giostre Sobrinho; e 5) Rua Sargento Luiz Gonzaga Martins Ribas.

Figura 3 - Recorte da cidade de Curitiba com destaque às PN's críticas



Fonte: Feito pelos autores/ escala 1:120427

Todas as passagens mencionadas possuem sinalização passiva, ou seja, há apenas indicação de que existe uma ferrovia cortando a rua, deixando a decisão de passar ou esperar a cargo do motorista. A única exceção é na Rua Sargento Luiz Gonzaga Martins Ribas, em que não há sinalização alguma, justificando sua classificação como PN crítica (Figura 4).

Destaca-se também a PN da Rua José Giostre Sobrinho (Figura 5), onde há grande adensamento vegetal em um dos lados da rua, o que pode causar a obstrução da visibilidade da sinalização, fazendo com que os motoristas contem apenas com a própria audição para identificação da aproximação do trem e tomada de decisão.

Figura 4 – Fotografias locais das PN's críticas em Curitiba



Onde: a) R. Rutildo Pulido b) R. Sargento Luiz Gonzaga Martins Ribas, c) R. Sebastião Marcos Luiz. d) R. dos Ferroviários

Fonte: Google Earth

Figura 5 - R. José Giostre Sobrinho



Fonte: Google Earth

### 4.3. Possíveis intervenções nas PN's de Curitiba

O ideal, para o caso de Curitiba, seria a implementação de um contorno ferroviário para resolver os problemas da cidade (PROSEFER, 2011 *apud* Castorino, 2014). Esse empreendimento ficou em primeiro lugar na classificação de prioridade do PROSEFER com um valor de Índice de Priorização (IPP) 0,739. Para se ter um parâmetro, o segundo colocado foi Paranaguá com um IPP de 0,626. Nos parâmetros para essa classificação foi considerado: potencialidade de acidente (Curitiba recebeu nota 0,406), mobilidade urbana (Curitiba recebeu nota 0,168), operação ferroviária (Curitiba recebeu nota 0,140) e avaliação estratégica (Curitiba recebeu nota 0,024). O índice varia de 0,000 a 1,000 e quanto maior o for, maior será a preeminência da realização do empreendimento (Quadro 1).



Quadro 1 - Avaliação multicritério para IPP de um contorno ferroviário em Curitiba, PR

<b>Avaliação do critério</b>	<b>Priorizações avaliadas</b>	<b>IPP – 0 a1</b>
Potencialidade de Acidentes	Grau de importância total, transporte de passageiros, transporte de produtos perigosos e invasões	0,406
Mobilidade Urbana	Número de PN's eliminadas (80 PN's), hierarquia do centro urbano (Metrópole), tempo de obstrução diário (0,98 horas/dia) e pátios e instalações ferroviárias (inexistente).	0,168
Ocupações Ferroviárias	Taxa de Ocupação da linha (74,82%), carga transportada (13.065.954 TU), velocidade média comercial (17 km/h), curva ferroviária (curva mínima de 117,36 m) e rampa ferroviária (rampa máxima de 1,68%).	0,140
Avaliação Estratégica	Custo de implantação (R\$ 2.318.018,85), complexidade da solução indicada, análise de sensibilidade (B/C = 0,18), ganho operacional (145.400.613,41 TU), fase de implantação de empreendimento e distância do porto (93 km).	0,024
<b>Índice de Prioridade total</b>		<b>0,739</b>

Fonte: Adaptada de PROSEFER (2019)

## 5. CONCLUSÕES

A exemplo de outros países e para obedecer ao Decreto nº1.832 (BRASIL, 1996), é necessário que o Brasil dispenda maiores esforços na diminuição e erradicação dos cruzamentos rodoferroviários em nível. Com 1856 PN's urbanas, sendo 279 críticas (CNT, 2011), e uma média de 292 vítimas por ano envolvidas em acidentes com trens de carga entre os anos de 2009 e 2013, o cenário ferroviário brasileiro demonstra que ainda há muito o que ser feito em relação à segurança viária.

Por meio da análise a nível regional no município Curitiba, PR, constatou-se que a cidade é atravessada pela ferrovia RUMO Malha Sul, onde consta 80 PN's, sendo 5 delas (6,25%) críticas, e dessas, 4 delas contemplam sinalização passiva e 1 não contém algum tipo de sinalização, todas estão situadas em regiões periféricas da cidade, à sudeste. A proposta atual e preferencial para mitigar o problema é a implementação de um contorno ferroviário que deslocaria parte ou toda a ferrovia para fora do perímetro urbano. A revisão da localização da ferrovia deve ser estudada e ponderada junto a análise de viabilidade técnica e ambiental, registros de acidentes, medidas de segurança na operação e ações compartilhadas que gerem aspectos positivos quanto à urbanização e ao transporte.



## REFERÊNCIAS

BRASIL. DECRETO-LEI Nº1.832, DE 4 DE MARÇO DE 1996. Presidência da República. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1996/D1832.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/D1832.htm)>. Acesso em: 26 set. 2020

CARMO E CAMPOS. **Indicadores de nível de segurança para PN's**. 2009.

CASTORINO, A. B. **Proposições para solução de conflitos ferroviários**. Brasília, DF: Agência Nacional de Transportes Terrestres, ANTT, 2014.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT de Transportes. 2019.** Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/Ferroviano/2-1-/Principais-dados>, Acesso em: 16 set. 2020.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2011**. Brasília, 2011

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **ISF-221: Projeto de Passagem em Nível**. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios/isf-221-projeto-de-passagem-em-nivel.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2020

DO CARMO, R. C. **PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE PN'S**. Rio de Janeiro, 2006.

EDQUIST, J., STEPHAN, K., WIGGLESWORTH, E., LENNÉ, M.G. **A Literature Review of Human Factors Safety Issues at Australian Level Crossings**. Monash University, Clayton, VIC. 2009.

HOEL, L. A.; GARBER N. J.; SADEK A.W. **Engenharia de infraestrutura de transportes - Uma integração multimodal**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2020). **Dados sobre o município de Curitiba, PR**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama> >. Acesso em: 16 set. 2020

KOBOSIL, M.; NOVÁK, J. Level Crossing Safety in the Czech Republic. Vol. 11 (2017): **Modernization of Railway - IRICoN** . 2017.

LENNÉ, Michael G. *et al.* Driver behaviour at rail level crossings: Responses to flashing lights, traffic signals and stop signs in simulated rural driving. **Applied ergonomics**, v. 42, n. 4, p. 548-554, 2011.

PONTES, D. R.; FARIA, J.R. V. de; SCHMITZ, A. Ferrovias e Remoções: Uma Análise do Tratamento da Moradia Urbana em Faixas de Domínio. **Remoções Forçadas e a Administração Pública**. Imprensa Universitária da UFMG. Organizador: Daniel Gaio. Belo Horizonte. 2020.



PROSEFER - DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA. **Relatório de Atualização do PROSEFER TOMO I e II**. 2019. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/prosefer/rel\\_consolidado\\_tomo-ii.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/ferrovias/prosefer/rel_consolidado_tomo-ii.pdf) >. Acesso em: 16 set. 2020

RAUB, Richard A. Examination of Highway-Rail Grade Crossing Collisions Over 10 Years in Seven Midwestern States. **ITE journal**, v. 76, n. 4, p. 16-26, 2006.

RUDIN-BROWN, Christina M. *et al.* Effectiveness of traffic light vs. boom barrier controls at road–rail level crossings: A simulator study. **Accident Analysis & Prevention**, v. 45, p. 187-194, 2012.

SAFETY, Australian Transport Safety Bureau Transport; UNIT, Statistics. Level crossing accidents: fatal crashes at level crossings. In: **7th International Symposium on Railroad-Highway Grade Crossing Research and Safety, Melbourne, Victoria, Australia, Monash University**. 2002.

VILAÇA, R. **Infraestrutura e Logística no Brasil: Transporte Ferroviário de Carga**. Brasília, 2008.



## MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO PMF E CA: UMA AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA COMPARATIVA

*Breno Salgado Barra<sup>1</sup>, Yader Alfonso Guerrero Pérez<sup>2</sup>, Alexandre Mikowski<sup>3</sup>, Marcelo Heidemann<sup>4</sup>, Helena Paula Nierwinski<sup>5</sup>*

*<sup>1-5</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville,  
breno.barra@ufsc.br, yagcivil@gmail.com, alexandre.mikowski@ufsc.br,  
marcelo.heidemann@ufsc.br, helena.paula@ufsc.br*

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar comparativamente os parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas e semidensas do tipo Pré Misturado a Frio (PMF), em relação a uma formulação densa de referência em Concreto Asfáltico (CA), baseada em pesquisa previamente realizada. Para tanto, foram caracterizados os materiais usados nas misturas PMF, como as frações pétreas gnáissicas e Emulsão a Asfáltica de Petróleo (EAP) RL-1C. A composição granulométrica de todas as misturas foi concebida a partir do método racional, com o uso da equação de Füller-Talbot. A determinação dos parâmetros de dosagem foi estabelecida pela metodologia Marshall. Os resultados obtidos indicam, para PMF, que as misturas semidensas tiveram caracterização mecânica ligeiramente melhor quando comparadas às densas, enquanto a estabilidade das misturas CA de referência são de 3,0 a 2,7 vezes maior, quando comparado às misturas densa e semidensa, respectivamente, do tipo PMF. Ainda, notou-se forte influência do período de ruptura da emulsão asfáltica no método de compactação utilizado, refletindo nos resultados do ensaio. As misturas PMF são viáveis para utilização em obras de pavimentação, porém devem ser utilizadas considerando tráfegos pouco volumosos e intensos.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto asfáltico, Marshall, parâmetros de dosagem, PMF.

### ABSTRACT

*The main aim of this paper is to comparatively assess dosage parameters of dense and semi-dense cold asphalt mixes, in relation to a dense hot asphalt mix formulation taken as reference, based on former research. For cold asphalt mixes, they were characterized crushed gneissic rock particles provided by a quarry placed in the metropolitan region of Joinville/SC, as well as the asphaltic emulsion RL-1C supplied by distributor from Curitiba/PR. The granulometric formulation of all mixes were conceived through rational methodology, with use of Füller-Talbot equation. Dosage parameters were determined by the Marshall method. The results obtained indicate, for cold asphalt mixes, that semi-dense gradations had performances slightly better than those denses, whereas the stability of hot asphalt mixes were from 2,7 to 3,0 times higher, when compared to the dense and semi-dense cold asphalt mixes. Furthermore, it was noted a strong influence of the emulsion rupture time with regards the compaction mode used, influencing on the test results. Finally, cold asphalt mixes are feasible for being used in pavement works, however, they must be designed considering traffic with low volumes and intensities.*

**KEYWORDS:** asphalt concrete, Marshall, dosage parameters, cold asphalt mix.



## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019), apesar da importância do modal rodoviário para a economia do Brasil, as rodovias somam 1.720.756 km, e desses, apenas 12,3% são pavimentadas. Entre os principais tipos de camadas asfálticas utilizadas no Brasil estão o Concreto Asfáltico (CA) e o Pré-Misturado a Frio (PMF).

O PMF é produto, em usina, de granulares minerais – graúdo e miúdo – e asfalto diluído ou emulsão asfáltica, espalhado e comprimido a frio e as misturas de CA são produtos da mistura convenientemente proporcionada de granulares de vários tamanhos e cimento asfáltico de petróleo (CAP). Os materiais devem ser aquecidos em temperatura previamente definidas, em função das características de viscosidade do ligante betuminoso (SENÇO, 200; BERNUCCI *et al.*, 2010).

Quando comparado ao CA, o PMF possui inúmeras vantagens, como menor custo dos equipamentos, a possibilidade de armazenamento da mistura e o menor impacto ambiental do processo produtivo. O menor custo se dá por não ser empregado energia para aquecimento dos materiais, bem como pela emulsão asfáltica de petróleo (EAP) possuir valor comercial inferior ao CAP (SANTOS, 2002).

Apesar de possuir vantagem ambiental e financeira, em estudo comparativo realizado por Guimarães e Loures (2015), foi observado que o PMF possui uma grande variabilidade no comportamento mecânico das formulações concebidas, concluindo-se pela sua viabilidade apenas para solicitações de tráfego leve a médio.

Dado o exposto, este trabalho consiste na realização de uma análise dos parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas e semidensas do tipo PMF, em laboratório, a partir da metodologia Marshall, para fins de contribuição quanto ao tema relacionado à viabilidade técnica de sua utilização, em comparação com uma mistura densa em CA convencionalmente utilizada em obras de pavimentação.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material pétreo utilizado neste trabalho é oriundo de jazida localizada na zona de transição do Complexo Granulítico Santa Catarina e o Granito Pirai (MEURER, 2015), mais



especificamente na região metropolitana de Joinville/SC. Os resultados de caracterização deste material são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do agregado pétreo  
Fonte: Autores (2020)

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultados</b>	<b>Limites normativos</b>
Abrasão Los Angeles (%)	DNER-ME 035 (1998)	17,5%	Máximo 50%
Equivalente de areia	DNER-ME 054 (1997)	78,0%	-
Absorção	-	0,5%	-
Adesividade ao ligante betuminoso	DNER-ME 078 (1994)	Má	-
Durabilidade (%)	DNER-ME 089 (1994)	5,30%	Máximo 12%
Índice de Forma	ABNT NBR 7809 (2006)	0,60	Mínimo 0,5
Absorção (%)	DNER-ME 081 (1998)	0,36	-

Cabe ressaltar a má adesividade da matriz granular com o ligante betuminoso, em razão de ambos os materiais possuírem carga elétrica predominantemente eletronegativa (SIROMA, 2018). Para solucionar este problema, geralmente são utilizados melhoradores de adesividade nas misturas asfálticas. No entanto, nesta pesquisa não foi utilizado nenhum tipo de aditivo ou adição com esta finalidade, para assim poder verificar o real efeito do potencial de aplicação dos materiais em suas condições naturais de uso.

Para a moldagem dos corpos de prova das misturas pré-misturadas a frio (PMF) foi utilizada a Emulsão Asfáltica Catiônica RL-1C, oriunda de distribuidora localizada em Curitiba/PR, cuja caracterização é apresentada na Tabela 3, enquanto a mistura asfáltica densa de referência estudada por Eing (2018), denominada convencional, foi formulada com ligante asfáltico 30/45 em sua forma pura, proveniente de refinaria com sede em Paulínia/PR (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado dos ensaios de caracterização da emulsão asfáltica RL-1C (EING, 2018)

<b>Ensaio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Métodos de ensaio (referências apud EING, 2018)</b>	<b>Características</b>	
			<b>Resultados</b>	<b>Limites</b>
Ponto de amolecimento	°C	ABNT NBR 6560	53,5	52 (mín.)
Penetração, 100g, 5s, 25°C	0,1mm	ABNT NBR 6576	34	30-45
Viscosidade Saybolt-Furol	135°C	ABNT NBR 14950	220	192 (mín)
	150°C		92	90 (mín)
	177°C		58	40-150



Tabela 3 – Resultado dos ensaios de caracterização da emulsão asfáltica RL-1C

<b>Ensaio</b>	<b>Métodos de Ensaio</b>	<b>Resultados</b>	<b>Limites normativos</b>
Resíduo Asfáltico % (m/m)	ABNT NBR 14376 (2007)	60,9	Mínimo 60,0
Viscosidade Saybolt Furol, 25°C (ssf)	ABNT NBR 14491 (2007)	16,0	Máximo 90,0
Peneiramento, retido na peneira 0,84mm % (m/m)	ABNT NBR 14393 (2006)	0,0	Máximo 0,1
Sedimentação, 5 dias, diferença do resíduo entre topo e fundo % (m/m)	ABNT NBR 6570 (2016)	2,3	Máximo 5,0
Carga de Partícula	ABNT NBR 6567 (2015)	Positiva	Positiva
Mistura com Cimento (%)	ABNT NBR 6297 (2012)	1,8	Máximo 2,0

Fonte: Autores (2020)

A utilização de emulsão asfáltica catiônica RL-1C para esta pesquisa foi definida a partir de estudo conduzido por Santana (1992), em que recomenda a emulsão de ruptura lenta para misturas PMF com graduação densa e semidensa, devido à presença não negligenciável do teor de finos na composição granulométrica.

Para esta pesquisa, as curvas granulométricas foram formuladas pelo método racional, baseado na equação de Fuller-Talbot. O método permite a determinação de curvas granulométricas bem definidas e com preenchimento gradual dos vazios formados pelas partículas de maior dimensão, baseando-se na fixação dos diâmetros máximo e do percentual passante na menor abertura de malha da série de peneiras utilizadas na composição da mistura (Equação 1).

$$\%p = a.(d/D)^n \quad (1)$$

Em que ‘%p’ é o percentual em peso que passa na peneira de menor diâmetro da curva; ‘a’ é constante, tomada igual a 100; ‘d’ abertura de uma dada peneira (mm); ‘D’ diâmetro máximo, abertura em que passa 100% das frações; ‘n’ expoente indicador da graduação da curva granulométrica (nesta pesquisa  $n = 0,51$  para as curvas densas e  $n = 0,58$  para a curva semi-densa).

As curvas granulométricas utilizadas são apresentadas na Figura 1, tendo recebido as seguintes nomenclaturas: curva teórica densa (CT densa), curva teórica semidensa (CT semidensa) e curva teórica convencional (CT convencional), esta última proveniente de

pesquisa realizada por Eing (2018) e tomada como referência no trabalho para a composição das misturas asfálticas usinadas a quente (CA).

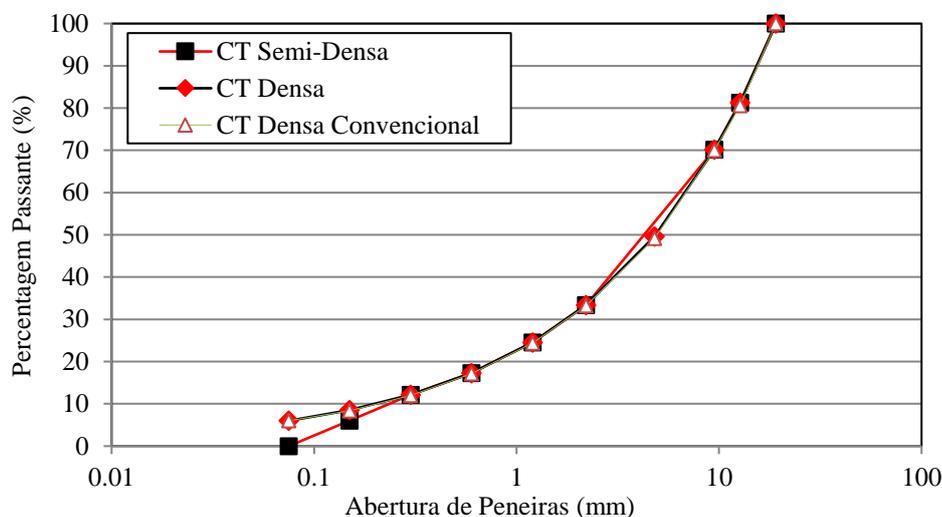


Figura 1 – Curvas granulométricas formuladas

Fonte: Autores (2020)

É importante escalerecer que as misturas CT convencional e CT densa foram formuladas com a mesma curva granulométrica, alterando apenas o tipo de ligante betuminoso utilizado na dosagem, sendo CAP 30/45 e emulsão asfáltica RL-1C, respectivamente. No caso da mistura CT semidensa, a curva granulométrica possui distinções, em relação à CT densa, a saber: brecha no intervalo de frações 2,2/9,5mm e 0% de finos passante na peneira de abertura 0,075mm e 6,0% na peneira 0,15mm.

O procedimento da metodologia Marshall foi adotado para o estudo da dosagem das misturas asfálticas a frio (DNER-ME 107/94), em razão de ser oficialmente homologado no Brasil pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e também para permitir a comparação dos resultados obtidos pelas dosagens do PMF com os obtidos para a mistura convencional a quente tomada como referência.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O período de ruptura da emulsão asfáltica para as misturas estudadas foi definido pela análise visual da coloração das misturas, que evoluíram de marrom para preto, ao passo que a ruptura acontecia, fato que ocorreu em até 120h após a moldagem dos corpos de prova. A especificação de serviço DNIT-ES 153 (2010) estabelece os limites para o teor de vazios (%V), estabilidade mínima e fluência para as misturas a frio (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros de verificação das dosagens de misturas PMF

<b>Percentagem de Vazios (%)</b>	5 a 30
<b>Estabilidade mínima (kgf)</b>	250 (75 golpes)
<b>Fluência (mm)</b>	2,0 a 4,5

Fonte: DNIT-ES 153 (2010)

As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados obtidos nos ensaios Marshall, em que os pontos em vermelho indicam os valores médios obtidos a cada caso.

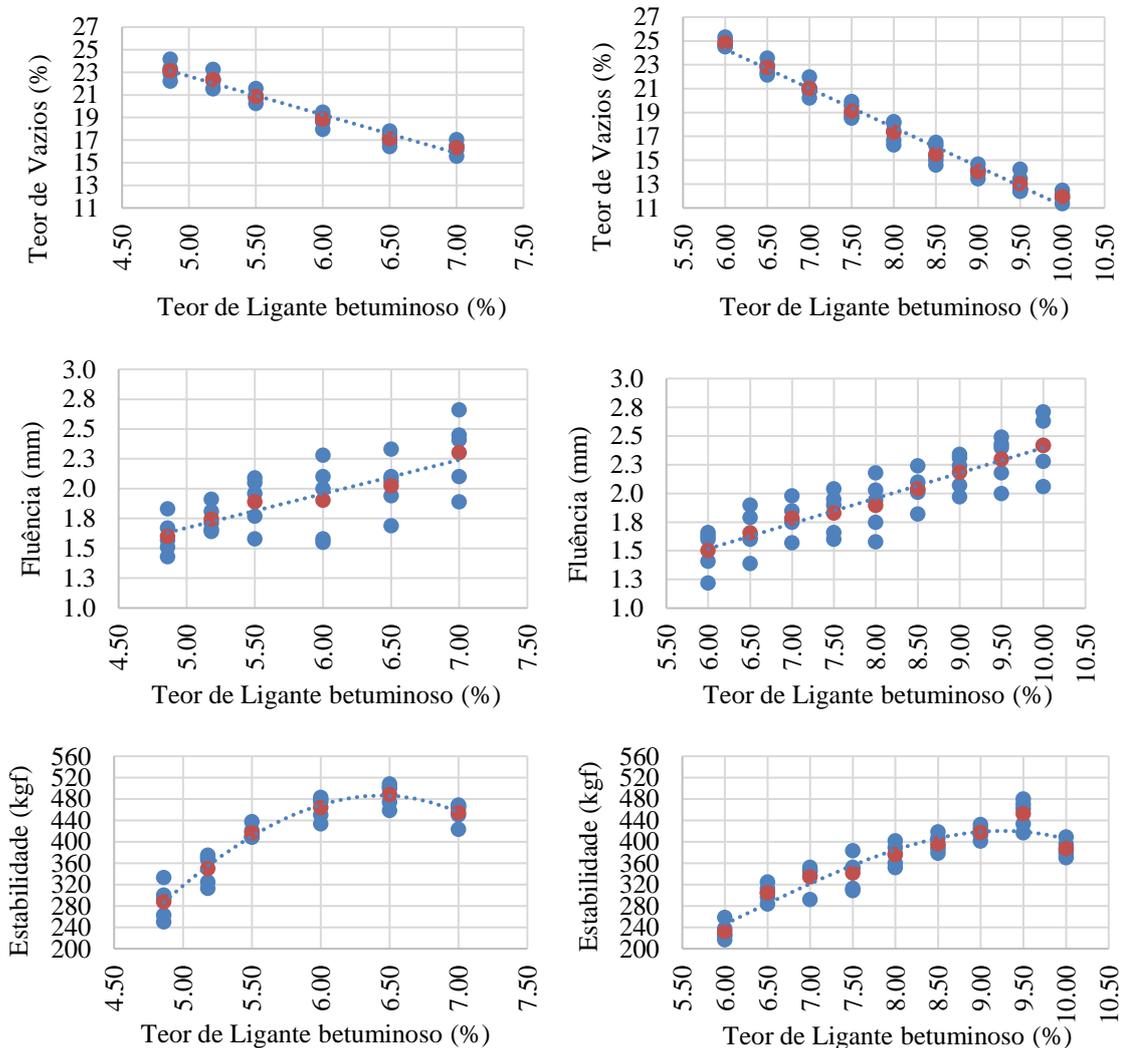


Figura 2 – Parâmetros de dosagem das misturas PMF CT semidensa (esquerda) e CT densa (direita)

Fonte: Autores (2020)

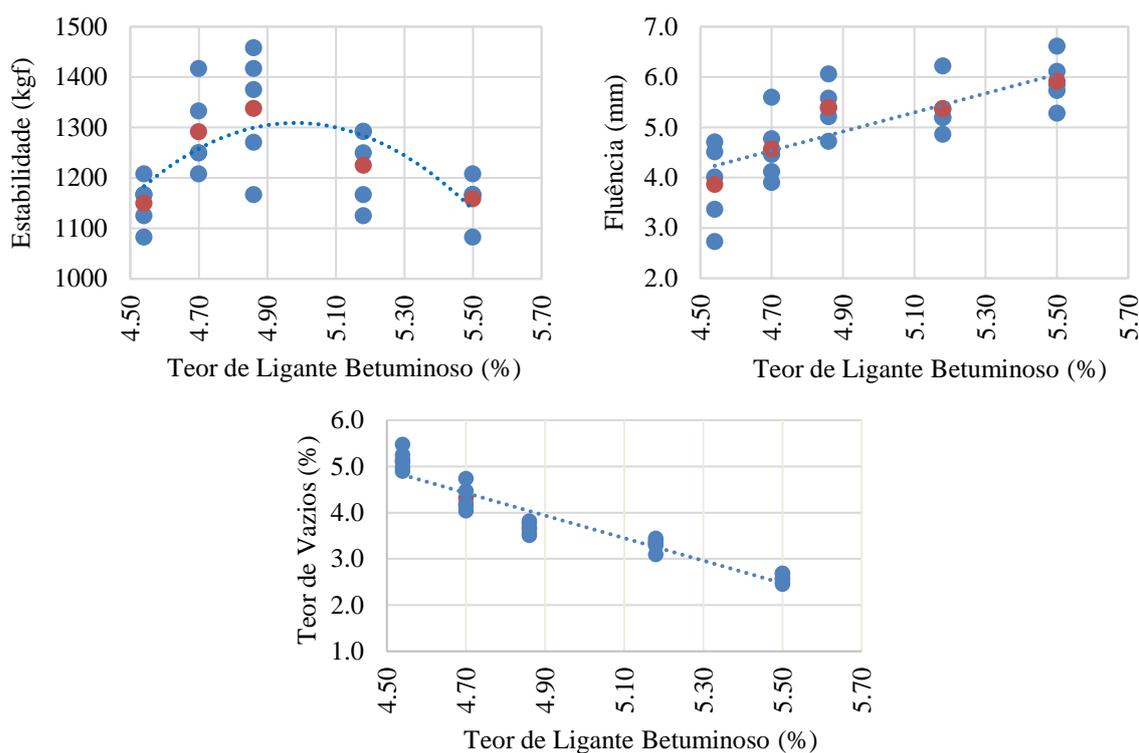


Figura 3 – Parâmetros de dosagem da misturas a quente CT convencional

Fonte: Eing (2018)

A partir da análise dos gráficos das figuras 2 e 3, foram determinados os teores ótimos de ligante, o teor de vazios, a estabilidade e fluência Marshall para as misturas estudadas, e comparados com a mistura convencional de referência em CA. Os resultados estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Compilação da média dos resultados obtidos nos ensaios Marshall

Parâmetros de Dosagem	PMF		CT Convencional (Eing, 2018)
	CT Semidensa	CT Densa	
Estabilidade (kgf)	500	450	1350
Fluência (mm)	2,10 a 2,15	2,25	5,50
Teor de vazios (%)	17,0 a 18,0	13,0	3,70
Teor ótimo de ligante betuminoso (%)	6,50	9,50	4,86

Fonte: Autores (2020)



Com base na análise dos gráficos das Figuras 2 e 3, e na compilação dos resultados apresentados na Tabela 5, tem-se que os teores ótimos de ligante betuminoso para as misturas PMF CT semidensa e CT densa são 6,50% e 9,50%, respectivamente. Vale ressaltar que os teores foram definidos não somente pela análise gráfica, mas também observando aspectos complementares como a trabalhabilidade no ato da mistura, integridade dos corpos de prova em relação à desagregação após o procedimento de desmoldagem e quantidade de ligante absorvida pelo papel-filtro após a compactação. Quanto à mistura a quente CT convencional, o teor de ligante definido por Eing (2018) foi de 4,86%.

Ainda, ao comparar os limites normativos da Tabela 4 com os dados da Figura 2, tem-se que os teores de 4,86% a 5,50% da mistura CT semidensa, apresentaram valores de fluência menores que o mínimo estabelecido por norma (DNIT-ES 153, 2010), e por esta razão foram desconsiderados como prováveis teores ótimos nas análises efetuadas.

Analisando os teores de vazios das misturas PMF, nota-se que nos primeiros teores de dosagem das misturas densas os valores são maiores, se comparado aos primeiros teores dosados para as misturas semidensas, pois em observações durante a pesquisa, verificou-se que a quantidade de emulsão utilizada inicialmente nas misturas densas foi insuficiente para promover o envolvimento completo dos granulares.

Portanto, os teores de vazios encontrados estão relacionados aos próprios vazios do granular mineral e não aos vazios resultantes da mistura asfáltica, devido o intertravamento das partículas ser mais proeminente que o efeito do envolvimento pela emulsão asfáltica, em razão dos baixos teores iniciais utilizados. A insuficiência de emulsão asfáltica nesses teores refletiu na trabalhabilidade da mistura, resultando em um aspecto “esfarelado”, e também nos resultados de fluência.

Ao aproximar-se dos teores ótimos de trabalho, a condição de vazios das misturas apresenta os valores esperados, ou seja, menores teores de vazios nas misturas densas e maiores nas misturas semidensas. Em geral, todos os teores de ligante betuminoso apresentaram teores de vazios dentro da faixa de trabalho preconizado na norma DNIT-ES 153 (2010), para ambas as misturas PMF (Tabelas 4 e 5).

De acordo com Santana (1992), ao apresentar limites classificatórios para os PMFs quanto ao teor de vazios, alerta que há grande evolução destes valores no decorrer da ruptura, estabelecendo o intervalo de 9,0% a 15,0%, para as misturas densas e de 15,0% a 22,0% para



as semidensas, ou seja, os resultados obtidos nesta pesquisa compreendem também esta parametrização (Tabela 5).

Uma observação importante deve ser feita a respeito dos teores de vazios, que de acordo com os resultados obtidos apresentaram valores elevados, tanto nas misturas semidensas como nas densas, quando comparados aos valores da mistura convencional estudada por Eing (2018). Este fato se deve à natureza do ligante utilizado nesta pesquisa, a emulsão asfáltica, apresentar menor viscosidade que o ligante convencional (CAP). Por esta razão, há maior dificuldade no preenchimento dos vazios da composição granulométrica e, por consequência, há necessidade de maior aporte de teores de emulsão, a fim e que se propicie bom envolvimento dos granulares minerais no ato da mistura. Esta constatação fica evidente quando comparados os resultados das misturas densas, pois tanto o PMF quanto a de referência possuem a mesma distribuição granulométrica (Figura 1).

Além da viscosidade do ligante, o processo de ruptura da emulsão asfáltica influencia nos teores de vazios resultantes das misturas, uma vez que se dá pela evaporação da água presente em sua composição, no contato com a superfície do granular mineral. Neste contexto, foi observado durante esta pesquisa que houve perda de massa das amostras, em razão da evaporação da água, durante o período de 48h até 120h nos teores das misturas densas, o que contribuiu para o aumento dos vazios nas misturas PMF semidensas e densas.

Vale ressaltar que os altos teores de vazios obtidos não caracterizam as misturas PMF como drenantes, pois, não são significativos para que se estabeleça este tipo de classificação, em razão de estarem abaixo de 18%, conforme preconiza a norma DNER-ES 386 (1999).

Análise em vias pavimentadas com PMF denso utilizando emulsão asfáltica catiônica RL-1C concluíram que após a evaporação da água e com a compactação executada pelo tráfego de veículos, o teor de vazios diminuiu, atingindo valores próximos aos de misturas a quente (SANTOS, 2002).

Em relação aos resultados referentes à estabilidade e fluência, nas misturas PMF semidensas notou-se valores ligeiramente maiores que nas misturas PMF densas, comparando os mesmos teores de ligante. Este resultado é justificado, pois a ruptura por compressão diametral, como é o caso da metodologia Marshall, favorece misturas que possuam granulometria mais robusta em sua composição, ou seja, no processo de ruptura



por compressão, as composições com maior predominância de granulares graúdos oferecem maior resistência à ruptura e menor deslocamento em relação à fluência.

Ainda, referente à estabilidade dos teores ótimos das misturas PMF, os resultados obtidos são da ordem de até três vezes menos aos determinados por Eing (2018) para a mistura a quente CA convencional, sendo que esta última apresenta teor de vazios em 3,7% e fluência 5,5 mm (Tabela 5), em razão da maior viscosidade do CAP 30/45 em relação à emulsão RL-1C (Tabelas 1 e 2).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados da presente pesquisa comprovam e corroboram com as tendências já existentes sobre a utilização do PMF em obras de pavimentação asfáltica, ou seja, de acordo com os resultados obtidos, as misturas asfálticas a frio formuladas com emulsão asfáltica, em que pese atenderem às especificações normativas de trabalho do DNIT, nos teores ótimos, e poderem ser utilizadas como camadas de base e de revestimento em estruturas de pavimentos, possuem grande defasagem de resistência quando comparadas com as misturas a quente convencionais.

Nesta pesquisa, por exemplo, as misturas a frio obtiveram valores de estabilidade da ordem de três vezes menor quando comparados com a mistura a quente de referência.

Deve-se, portanto, em razão de todos os indicadores analisados neste trabalho, tomar precaução ao especificar misturas do tipo PMF para obras de pavimentação, devendo serem preferencialmente utilizadas em ocasiões de tráfego com pouco volume, aliado à intensidade minorada das cargas solicitantes.



## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7809, **Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14736, **Emulsões asfálticas – determinação do resíduo asfáltico por evaporação – método expedito**, 2007. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14491, **Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol**, 2007. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14393. **Emulsões asfálticas - Determinação da peneiração**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 6570, **Ligantes asfálticos - Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas**, 2016. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 6567, **Ligantes asfálticos - Emulsões asfálticas - Determinação da carga de partícula**, 2015. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 6297, **Emulsão asfáltica de ruptura lenta - Determinação da ruptura - Método da mistura com cimento**, 2012. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BERNUCCI, L. L. B., CERATTI, J. A. P, MOTTA, L. M. G. da, SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª. ed., 504 p. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2010.

CNT, **Anuário CNT dos Transportes: Estatísticas consolidadas – 2019**. Confederação Nacional dos Transportes. Brasília, DF. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/>. Acesso em setembro de 2020.

DNER-ME 35/98, **Agregado – determinação da Abrasão “Los Angeles”**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 54/97, **Equivalente de areia**, 1997. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 78/94, **Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 89/94, **Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 81/98, **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.



DNER-ES 386/99, **Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito**, 1999. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 107/94, **Misturas betuminosas a frio com emulsão asfáltica – ensaio Marshall**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ES 153/2010. **Pavimentação asfáltica - Pré misturado a frio com emulsão catiônica convencional**, 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

EING, M. A., **Análise da incorporação de cinza volante e pesada em dosagens de misturas asfálticas densas**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina. 71 p., 2018. Joinville, SC.

GUIMARÃES, A. C. R.; LOURES, R. de C. B. A., **Utilização de misturas asfálticas usinadas à frio**. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Ouro Preto, MG. Anais... pp. 1-10, 2015, Rio de Janeiro, RJ.

MEURER, P., **Caracterização de Materiais Rochosos do Norte de Santa Catarina para fins de Aplicação em Obras de Pavimentação**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 92 p., 2015, Joinville/SC.

SANTANA, H., **Manual de pré-misturado a frio**. Instituto Brasileiro de Petróleo - Comissão de asfalto. 298 p., 1992. Rio de Janeiro, RJ.

SANTOS, M. A. dos, **Avaliação do comportamento mecânico de misturas betuminosas a frio via ensaios de laboratórios**. Dissertação de Mestrado PPGEC da Universidade Federal de Viçosa (UFV). 84 p., 2002, Viçosa, MG.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: PINI, 2001. v. 2.

SIROMA, R. S. **Avaliação da deformação permanente em misturas asfálticas densas formuladas com areia descartada de fundição (ADF)**. Dissertação de Mestrado Pós-ECM Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 196 p., 2018, Joinville, SC.



## IMPACTO DE DIFERENTES MATRIZES BETUMINOSAS NOS PARÂMETROS VOLUMÉTRICOS E MECÂNICOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS

*Breno Salgado Barra<sup>1</sup>, Yader Alfonso Guerrero Pérez<sup>2</sup>, Daniel Hastenpflug<sup>3</sup>, Lilian Kethelyn Brum Maciel Rodrigues<sup>4</sup>, Ruan Marcos Xavier<sup>5</sup>*

*<sup>1-5</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville,  
breno.barra@ufsc.br, yagcivil@gmail.com, daniel.h@ufsc.br,  
lilian\_kethelyn@hotmail.com, ruanmx97@gmail.com*

### RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o impacto de diferentes matrizes betuminosas no comportamento mecânico de misturas asfálticas densas. Os agregados utilizados são provenientes de jazida localizada na região metropolitana de Joinville. Os ligantes considerados são Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) classificados por penetração como: 10/20, 30/45 e 50/70. A caracterização dos materiais foi realizada. A curva granulométrica foi calculada pela equação de Fuller-Talbot. Para a dosagem das misturas asfálticas foi utilizada a metodologia Marshall, oficialmente homologada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Com base na campanha experimental realizada, os resultados obtidos indicam que as características intrínsecas de cada ligante asfáltico são preponderantes quanto à influência na dosagem e no desempenho mecânico das misturas asfálticas, em que quanto menor a classificação por penetração dos ligantes betuminosos testados, melhores foram os resultados obtidos quanto às propriedades volumétricas e mecânicas dos materiais. Além disso, verificou-se que o ensaio Marshall mostra-se muito deficiente do ponto de vista técnico como metodologia a ser utilizada na determinação paramétrica dos teores ótimos de dosagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** ligantes asfálticos, metodologia Marshall, dosagem, misturas asfálticas densas.

### ABSTRACT

*The main aim of this paper is to assess the impact of different bituminous matrixes on the mechanical behavior of dense asphalt mixes. The granular fractions are provided from a quarry located in the metropolitan region of Joinville. The bituminous binders are classified by penetration as 10/20, 30/45 and 50/70. The characterization of the materials was carried out. The granulometric curve was formulated with use of Fuller-Talbot's equations. The dosages of the asphalt mixes were determined taking into account the parameters of the Marshall methodology, officially homologated by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Based on the experimental campaign carried out, the results obtained indicate that the intrinsic characteristics of each asphalt binder are decisive on the dosage parameters and on the volumetric and mechanical performance of the asphalt mixes, in which the lower the penetration of the asphalt binder, the better the results obtained regarding the mechanical properties of the materials. Furthermore, it was verified that Marshall test is very deficient from technical point of view as a methodology to be used to parametrically determine optimum binder contents.*

**KEYWORDS:** asphalt binders, Marshall methodology, dosage, dense asphalt mixes.



## 1. INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário brasileiro é atualmente o principal meio de transporte no país, tanto para pessoas quanto mercadorias. Sua ampla flexibilidade e acessibilidade traz comodidade aos usuários, garantindo o ir e vir de onde e para onde quiserem. Porém, o crescimento acelerado da demanda das rodovias não foi acompanhado pelos investimentos necessários para sua ampliação, manutenção e aporte tecnológico, resultando em uma malha degradada e tecnicamente defasada em diversas regiões do país (QUINTERO, 2016; BARRA, 2009; MOMM, 1998).

Os pavimentos são, na maior parte das vezes, a principal problemática percebida pelos usuários ao trafegar nas rodovias. Quando mal dimensionados ou dosados, no caso das misturas asfálticas, podem causar desconforto e insegurança, gerando situações mais suscetíveis a acidentes. A má execução ou concepção do projeto das misturas asfálticas reflete diretamente na qualidade da superfície das camadas de revestimento, a partir do surgimento de buracos, fissuras, deformações, entre outros defeitos. Dessa forma, fazem-se necessários estudos mais aprofundados das propriedades físicas e mecânicas das misturas asfálticas, para que se possa então dimensionar pavimentos de melhor qualidade (BERNUCCI *et al.*, 2006; MOTTA, 2011).

No caso das misturas asfálticas, o conjunto de uma matriz granulométrica bem formulada aliada a um ligante betuminoso dosado na proporção correta e com boas características viscoelásticas constituem os componentes principais capazes de resistir aos esforços mecânicos solicitantes ao longo da vida útil dos pavimentos (BARRA, 2005). Quando se tem qualidade, controle e o correto conhecimento das propriedades dos materiais durante a produção das misturas asfálticas, garante-se o bom comportamento mecânico dos pavimentos (ZAGOLIN, 2016).

A metodologia Marshall (DNER-ME 043, 1995) é a utilizada no Brasil para a dosagem de misturas asfálticas, a qual é oficialmente homologada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Neste contexto, a presente pesquisa consiste na avaliação de misturas asfálticas densas formuladas com diferentes matrizes betuminosas, de acordo com os princípios da metodologia Marshall. Manteve-se em cada um dos traços a mesma curva granulométrica e, assim, a análise teve enfoque unicamente na influência de cada tipo de cimento asfáltico de



petróleo utilizado (CAP – 10/20, 30/45 e 50/70) nos parâmetros volumétricos e mecânicos de dosagem.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais pétreos selecionados foram obtidos da britagem de maciço rochoso granítico, em jazida localizada na região metropolitana de Joinville, em que os ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do material pétreo

Ensaio	Norma	Resultados	Limites normativos
Abrasão Los Angeles (%)	DNER-ME 035 (1998)	17,5%	Máximo 50%
Equivalente de areia	DNER-ME 054 (1997)	78,0%	-
Absorção	-	0,5%	-
Adesividade ao ligante betuminoso	DNER-ME 078 (1994)	Má	-
Durabilidade (%)	DNER-ME 089 (1994)	5,30%	Máximo 12%
Índice de Forma	ABNT NBR 7809 (2006)	0,60	Mínimo 0,5
Absorção (%)	DNER-ME 081 (1998)	0,36	-

Fonte: Autores (2020)

Para a composição da curva granulométrica utilizou-se a curva proposta por Barra (2009) (Figura 1), com base no método teórico, também denominado racional, a partir das equações (1) e (2) de Fuller-Talbot, fixando-se os parâmetros característicos da curva granulométrica que se deseja formular (diâmetro máximo ‘D’ – 19,1mm, percentual passante de partículas na malha de menor abertura da série ‘%p<sub>200</sub>’ - 0,075mm) em 6,0%, e expoente de graduação ‘n’ – 0,51), levando em conta a produção de frações individuais correspondentes a cada malha da série de peneiras escolhida pelo projetista, sem a necessidade de utilização de faixa granulométrica.

$$\%p = a.(d/D)^n \quad (1)$$

$$n = \log (\%p_{200}) - \log (100) / \log (0,075/D) \quad (2)$$

Em que ‘a’ é constante, tomada igual a 100 e ‘d’ abertura de uma dada peneira (mm).

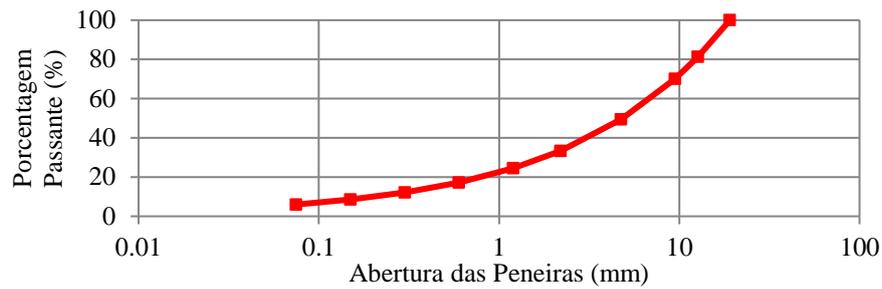


Figura 1 – Curva granulométrica utilizada na formulação das misturas asfálticas

Fonte: Barra (2009)

Os ligantes betuminosos, também denominados Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), utilizados nas formulações das misturas asfálticas possuem as seguintes classificações determinadas no ensaio de penetração (DNIT-ME 155, 2010): 10/20 (0,1mm), 30/45 (0,1mm) e 50/70 (0,1mm), todos em suas formas puras, em que o primeiro foi obtido de refinaria localizada em Araucária/PR, e os demais são provenientes de Paulínia/SP. A Tabela 2 apresenta os dados de caracterização das amostras estudadas, bem como a Figura 2 ilustra as curvas de viscosidade determinadas pelo método Saybolt-Furol (ABNT NBR 14950, 2003).

Tabela 2. Caracterização dos ligantes betuminosos

Ensaio	Ligante Betuminoso				Norma				
	10/20		30/45			50/70			
Penetração (0,1mm)	10		37		52	DNIT-ME 155 (2010)			
Ponto de Amolecimento (°C)	67		53		49	DNIT-ME 131(2010)			
IP Susceptibilidade Térmica	-0,8		-1,2		-1,5	ANP (2005)			
Viscosidade Saybolt-Furol	Temperaturas (°C)		Intervalo		Intervalo	ABNT NBR 14950 (2003)			
	Usinagem		171	177	152		158	148	153
	Compactação		160	165	139		145	137	142

Fonte: Autores (2020)

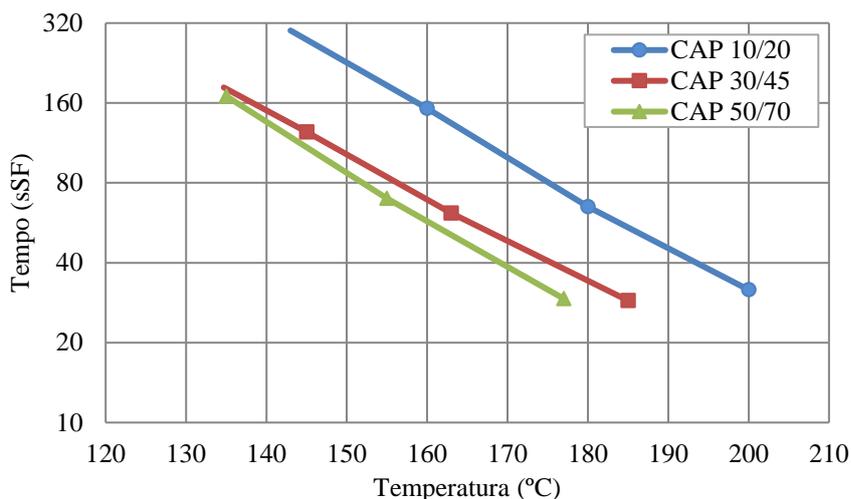


Figura 2 – Curvas de viscosidade dos ligantes betuminosos

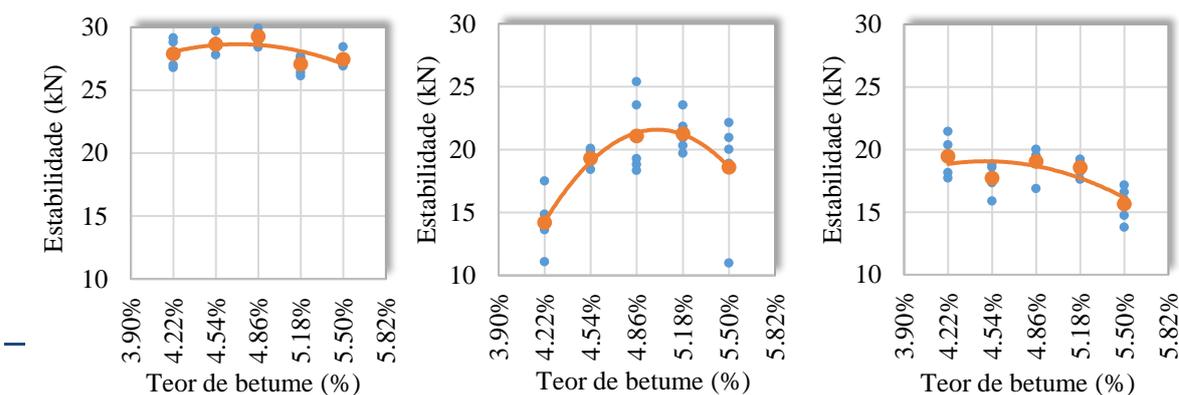
Fonte: Autores (2020)

Os teores ótimos de ligante das misturas asfálticas formuladas foram determinados com base na metodologia Marshall (DNER-ME 043, 1995), em que foram produzidos 25 corpos de prova para cada formulação, subdivididos em 5 unidades para cada teor testado, totalizando 75 corpos de prova analisados durante a pesquisa.

Para cada mistura asfáltica manteve-se a matriz granulométrica e variou-se apenas o tipo de ligante incorporado na formulação, a fim de que apenas esta variável fosse tomada em conta na avaliação dos resultados, em que os seguintes teores de betume foram testados em todos os casos, tendo como parâmetro o estudo desenvolvido por Barra (2009), a partir da utilização da mesma curva granulométrica: 4,22%, 4,54%, 4,86%, 5,18 % e 5,50%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos estão compilados nos gráficos ilustrados no transcurso da Figura 3, em que à esquerda encontram-se os valores correspondentes ao CAP 10/20, ao centro o CAP 30/45, e à direita o CAP 50/70.



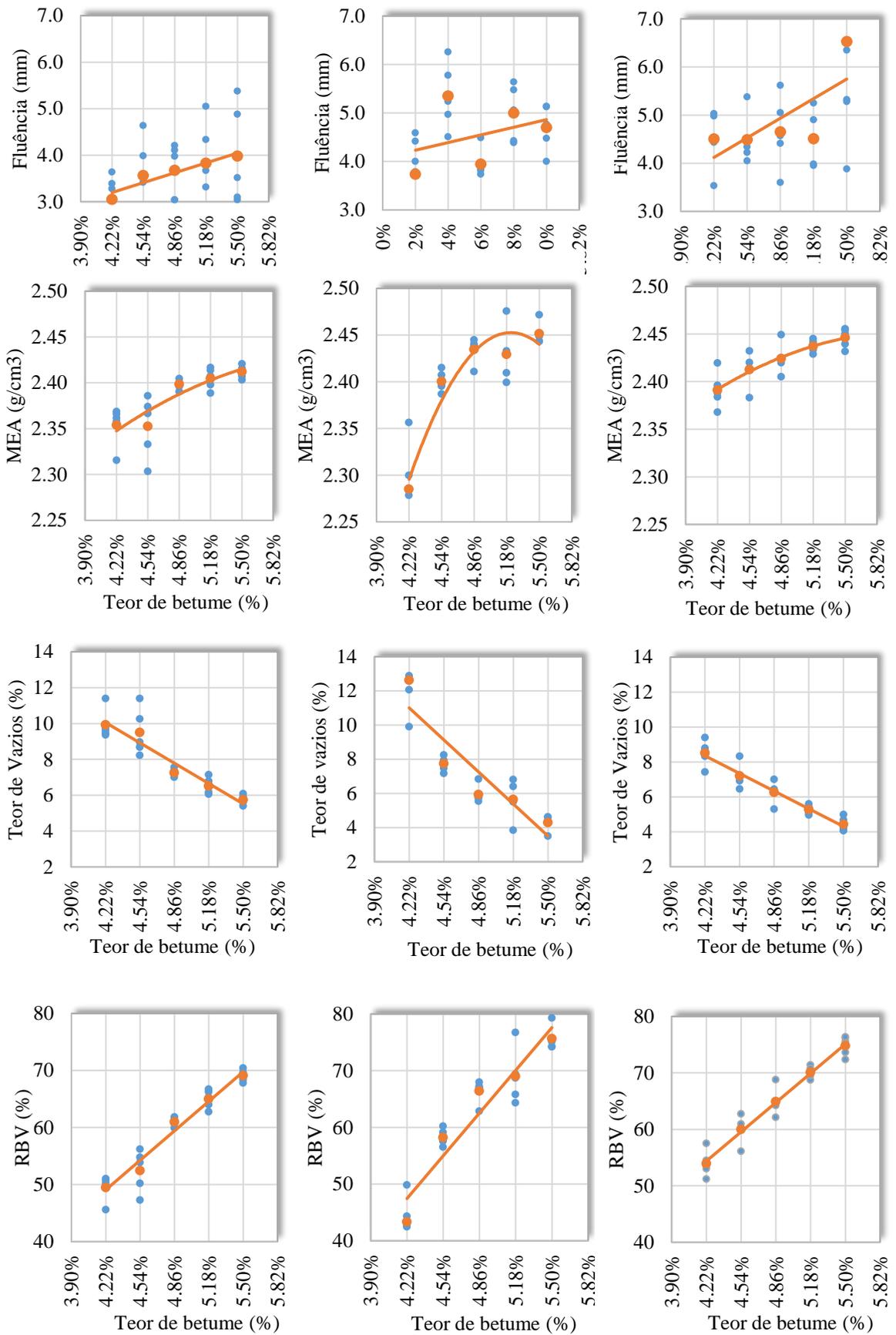


Figura 3 – Resultados dos parâmetros da dosagem Marshall para as formulações com:  
(esquerda) CAP 10/20, (centro) CAP 30/45 e (direita) CAP 50/70

Fonte: Autores (2020)

A curva de estabilidade do CAP 10/20 mostra valores máximos que tendem à faixa de teores de 4,54% a 5,18%. No entanto, durante o processo de produção das misturas, pôde-se perceber que aquela com 5,18% mostrou-se demasiadamente brilhosa, sendo um indicativo da presença de excesso de ligante.

Analisando-se a evolução do parâmetro de fluência, observa-se que pelo fato de ser uma reta de caráter crescente, tem-se que quanto menos ligante presente na mistura menor será este valor, denotando caráter menos deformável à formulação, a princípio, o que é desejável para pavimentos asfálticos.

Todavia, o teor de vazios encontrado para 4,54% de CAP 10/20 mostra-se muito próximo de 9%, considerado elevado para misturas densas. Dessa forma, optou-se pela adoção do teor ótimo de ligante como sendo 4,86%, onde a fluência observada é pouco superior àquela encontrada para 4,54% (3,7 mm e 3,6 mm, respectivamente), ao passo que o teor de vazios encontra-se próximo a 7,0%, o qual é tido como limítrofe para misturas densas, de acordo com DNIT (2006).

Já para as misturas formuladas a partir do CAP 30/45 tem-se, em um primeiro momento, durante a análise dos gráficos, o teor ótimo de 4,86% como a melhor escolha a ser feita, pois a estabilidade se aproxima do valor máximo, a fluência está em torno de 4,0 mm e o teor de vazios situado em torno de 6,0%. Fato este corroborado durante o procedimento de mistura do ligante com a matriz granular, em que pôde-se observar um bom envolvimento dos grãos, com boa trabalhabilidade, ao contrário da situação que compreendeu o teor de 4,54%, tendo sido percebido um procedimento de envolvimento dos grãos bastante trabalhoso, apresentando falhas de recobrimento em alguns pontos, indicando insuficiência de ligante na dosagem. Para os teores mais elevados, verificou-se além de um brilho excessivo na superfície, o escorrimento de ligante, denotando dosagem excessiva.

No caso do CAP 50/70, os comportamentos das curvas observadas nos gráficos apontam para um teor ótimo de 4,54%, onde se tem o valor máximo na curva de estabilidade, fluência com tendência ao valor de 4,6 mm e teor de vazios próximo a 7,0%.

Como efeito de comparação, Búrigo (2015) em sua pesquisa com misturas formuladas a partir de amostras dosadas com CAP 50/70, utilizando igual curva granulométrica à deste



trabalho, porém, variando a natureza dos agregados (rocha diabásica), obteve resultados finais que apontaram também o teor ótimo de ligante de 4,54%.

Para as formulações com CAP 30/45, o estudo desenvolvido por Eing (2018) utilizando a mesma curva granulométrica, natureza de materiais granulares (gnáissicos) e ligante betuminoso ao desta pesquisa, corroborou também o teor ótimo de 4,86%.

Neste contexto, a Tabela 3 a seguir resume os parâmetros físicos e mecânicos da metodologia Marshall para a determinação do teor ótimo de cada formulação testada.

Tabela 3 – Parâmetros de análise do ensaio Marshall

<b>Tipo de CAP</b>	<b>Estabilidade (kN)</b>	<b>Fluência (mm)</b>	<b>MEA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de Vazios (%)</b>	<b>RBV (%)</b>	<b>Teor Ótimo de Betume (%)</b>
10/20	29,29	3,7	2,398	7,3	61,0	4,86
30/45	19,31	4,0	2,400	6,0	58,2	4,86
50/70	17,72	4,6	2,412	7,2	60,0	4,54

Fonte: Autores (2020)

Ao realizar-se a comparação dos comportamentos mecânicos das misturas, dados os referidos teores ótimos de ligante determinados, pode-se perceber a influência exercida pelas suas propriedades. A estabilidade tem valores muito superiores nas amostras formuladas a partir do CAP 10/20. Esse fato pode ser explicado devido a sua elevada rigidez, motivada pela importante viscosidade que possui (Figura 2), situação confirmada pelos baixos valores apresentados de penetração e elevado ponto de amolecimento anel e bola, quando comparado aos demais tipos testados (Tabela 2), contribuindo decisivamente para maior resistência aos esforços solicitantes.

Em relação à característica de deformabilidade dos materiais, relacionados à fluência, observa-se que as formulações com o CAP 10/20 possuem menores níveis que aquelas dosadas com o CAP 30/45, que por sua vez deformam menos que as concebidas a partir do CAP 50/70. Esta tendência pode ser comprovada, além dos comparativos quanto às propriedades apresentadas na Tabela 2, pela observação da Figura 4, que apresenta corpos de prova dosados com o teor ótimo de ligante determinado nas análises realizadas, logo após o procedimento de ruptura, onde a formulação preparada com CAP 10/20 mostra-se com formato circular mais preservado que os demais.



Figura 4 – Corpos de prova após rompimento na prensa Marshall: (esquerda) CAP 10/20, (centro) CAP 30/45 e (direita) CAP 50/70

Fonte: Autores (2020)

Os gráficos da Figura 3 evidenciam ainda que a viscosidade tem forte influência sobre os vazios presentes nas misturas. Ligantes mais viscosos, como o CAP 10/20 e 30/45 tendem a apresentar maior dificuldade no envolvimento das partículas granulares, quando comparados ao CAP 50/70 no decorrer do processo de mistura durante a usinagem para um mesmo teor de ligante, influenciando assim diretamente as propriedades de teor de vazios e massa específica aparente (MEA). Esse fato corrobora com a escolha dos teores ótimos de ligante, em que o valor determinado para a mistura dosada com CAP 10/20 e CAP 30/45 (4,86%) é superior ao escolhido para o CAP 50/70 (4,54%), a fim de que possa garantir o completo envolvimento dos agregados.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa comprovam que o ligante betuminoso a ser utilizado na formulação de misturas asfálticas tem influência decisiva nas propriedades físicas e mecânicas destes materiais e, conseqüentemente, na determinação dos teores ótimos em cada caso, demonstrando que o trabalho atingiu o seu objetivo principal.

Desta forma, verifica-se que as misturas asfálticas herdam, de fato, o comportamento viscoelástico do ligante betuminoso que contêm, e de forma particular a cada matriz utilizada em sua formulação.

É importante ressaltar também que os resultados da metodologia Marshall não traduzem fielmente as condições de trabalho observadas na prática, sendo conseqüência da ausência de sensibilidade e empirismo do método quanto à análise acurada do comportamento viscoelástico das misturas asfálticas, onde o modo de compactação e ruptura dos corpos de prova e as condições operacionais do processo exercem são importantes na escolha do teor ótimo de trabalho, induzindo na maior parte das situações à indicação de quantidades maiores que as necessárias, devendo-se ter atenção por parte do operador quanto



à observação do aspecto do material nos procedimentos de mistura o que exige experiência e perspicácia, fatores randômicos e que não permitem uma determinação acurada pela referida metodologia.

Assim, sugere-se para pesquisas futuras que as mesmas formulações concebidas para esta pesquisa tenham seus resultados comparados com ensaios de estreita relação campo/laboratório, encontrados na metodologia francesa, por exemplo, a fim de que se estabeleçam análises em condições mais próximas às situações observadas na prática.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7809, **Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14950. **Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol**, 2003. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANP, **Especificações de Produtos Derivados de Petróleo**. Resolução nº 19, 2005. Agência Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro, RJ.

BARRA, B. S., **Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 329 p., 2009. Florianópolis, SC, Brasil.

BARRA, B. S., **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas utilizando materiais do estado do pará com o emprego de pó calcário**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 177 p., 2005. Florianópolis, SC, Brasil.

BERNUCCI, L. L. B.; CERATTI, J. A. P.; MOTTA, L. M. G. da; SOARES, J. B., **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª. Ed., 2006. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA.

BÚRIGO, A.S., **Influência da formulação de esqueletos minerais no comportamento mecânico de misturas de concreto asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 74 p., 2015. Joinville, SC, Brasil.

DNER-ME 043/95, **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**, 1995. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 089/94, **Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.



DNER-ME 035/98, **Agregado – determinação da Abrasão “Los Angeles”**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 054/97, **Equivalente de areia**, 1997. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 078/94, **Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 081/98, **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT, **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR – 719, 2006. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ME 155/2010, **Material asfáltico - Determinação da penetração**, 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ME 131/2010, **Materiais asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola**, 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

EING, M. A., **Análise da incorporação de cinza volante e pesada em dosagens de misturas asfálticas densas**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina. 71 p., 2018. Joinville, SC.

MOMM, L., **Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 289 p., 1998. São Paulo, SP, Brasil.

MOTTA, R. dos S., **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético**. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). 229 p., 2011. São Paulo, SP, Brasil.

QUINTERO, C. F. Q., **Influência da temperatura e da consistência do ligante na fadiga e no módulo complexo de misturas asfálticas**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 264 p., 2019. Florianópolis, SC, Brasil.

ZAGOLIN, P. A., **Influência do tipo de ligante betuminoso na dosagem e no comportamento mecânico de misturas asfálticas densas**. Relatório Final PIBIC/UFSC Voluntário, 54 p., 2016. Joinville, SC, Brasil.





## **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DAS CINZAS DE TERMELÉTRICA APLICADAS EM MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS**

*Estéfani Clara<sup>1</sup>; Breno Salgado Barra<sup>2</sup>; Leto Momm<sup>3</sup>; Alexandre Mikowski<sup>4</sup> e Adriana Goulart dos Santos<sup>5</sup>*

*1,2,3,4 Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM), Joinville/SC/Brasil, e-mail: estefani.clara@hotmail.com/ breno.barra@ufsc.br/ leto.momm@gmail.com/ alexandre.mikowski@ufsc.br.*

*5 Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville/SC/Brasil. e-mail: adriana.santos@udesc.br.*

### **RESUMO**

O principal objetivo deste artigo é avaliar o efeito da incorporação de cinzas oriundas da queima do carvão mineral nas propriedades físico-químicas e mecânicas das misturas asfálticas densas. Para tanto, foram analisadas as matrizes denominadas Fly Ash (cinza volante), Bottom Ash (cinza pesada) e uma composição com 50% de ambas as ocorrências, as quais foram comparadas com frações convencionais de granulares gnáissicos britados, todos utilizados como material de enchimento (fíler) a 6,0% passante na malha de abertura 0,075mm, nas curvas granulométricas das misturas asfálticas, o ligante utilizado é o ligante betuminoso de penetração 30/45 (0,1mm). Os fíleres foram submetidos à análise química, mineralógica, física e morfológica. As misturas asfálticas formuladas foram submetidas à avaliações baseadas na metodologia francesa de formulação, compreendendo os aspectos de habilidade de compactação com a prensa de compactação giratória (PCG), ensaio de Duriez a 18°C e deformação permanente. Diante dos resultados obtidos e das análises efetuadas, é possível concluir que as matrizes estudadas são viáveis tecnicamente para utilização em misturas asfálticas, abrindo-se inclusive a possibilidade de um mercado para a utilização em larga escala da Bottom Ash, atualmente sem destinação alguma aos serviços de beneficiamento de insumos, notadamente na região sul do Estado de Santa Catarina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cinzas de carvão mineral; Misturas asfálticas densas; Metodologia francesa de formulação.

### **ABSTRACT**

*The main objective of this article is to evaluate the effect of the incorporation of ash from the burning of coal on the physical-chemical and mechanical properties of dense asphalt mixtures. For this purpose, the matrices denominated Fly Ash (fly ash), Bottom Ash (heavy ash) and a composition with 50% of both occurrences were analyzed, which were compared with conventional fractions of crushed gneiss granules, all used as filling material (filler) 6.0% through the 0.075mm aperture mesh, in the granulometric curves of asphalt mixtures, the binder used is the 30/45 bituminous penetration binder (0.1mm). The fillers were submitted to chemical, mineralogical, physical and morphological analysis. The formulated asphalt mixtures were subjected to evaluations based on the French formulation methodology, comprising aspects of compaction ability with the giratory shear compacting press (PCG), Duriez test at 18°C and permanent deformation. In view of the results obtained and the analyzes carried out, it is possible to conclude that the matrices studied are technically feasible for use in asphalt mixtures, even opening up the possibility of a market for the large-scale use of Bottom Ash, currently without any destination for services processing, notably in the southern region of the State of Santa Catarina.*

**KEYWORDS:** Mineral coal ash; Dense asphalt mixtures; French formulation methodology.



## **1. INTRODUÇÃO**

O carvão mineral é o mais abundante dos combustíveis fósseis, com reservas ultrapassando a ordem de 1 trilhão de toneladas, o suficiente para atender à demanda atual por mais de cento e trinta anos de acordo com BP Statistical Review of World Energy (2019). Abundância das reservas e o desenvolvimento de tecnologias de limpeza e combustão eficiente, conjugadas à necessidade de expansão dos sistemas elétricos e restrições ao uso de outras fontes, indicam que o carvão mineral continuará sendo, por muitas décadas, uma das principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2005).

Além dos aspectos técnicos e funcionais, hoje a sociedade exige não só um bom desempenho dos materiais ou da construção, mas também das interações com o meio ambiente, em busca daqueles cuja obtenção ou realizações se materializam com menor impacto ecológico e menor ônus energético (ISAIA apud POZZOBON, 1999).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial dos granulares gnáissicos britados pelas cinzas oriundas da queima do carvão mineral para a geração de energia, visando a redução dos problemas ambientais causados pelas mesmas e contribuindo na discussão sobre o assunto, visando um melhor emprego das cinzas supracitadas essa pesquisa destaca a cinza leve (Fly Ash), já bastante explorada pela indústria cimenteira, e a cinza pesada (Bottom Ash), que não possui atualmente aplicações ou mercados conhecidos para utilização em larga escala.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Os métodos de formulação das misturas asfálticas têm evoluído nessas últimas décadas, visando corresponder o constante crescimento do tráfego. Esse cenário resultou na necessidade cada vez maior da obtenção de misturas asfálticas mais complexas, que além de resistir aos carregamentos e aos números de solicitações cada vez maiores durante todo o período previsto de serviço, deve fornecer para seus usuários conforto, segurança e economia (MANUEL LPC, 2007).

Para uma previsão mais precisa do comportamento de misturas asfálticas em campo, é imprescindível que os ensaios laboratoriais sejam capazes de simular, com a maior fidelidade possível, os esforços de solicitações e os fenômenos observados nas estruturas rodoviárias em campo (BARRA, 2009).

A qualidade e a pertinência dos métodos de formulação das misturas asfálticas condicionam, em grande parte, a segurança no uso das infraestruturas, a durabilidade e os custos conservação. São ainda, ferramentas preciosas para a inovação no fornecimento de diretrizes à elaboração e ao melhoramento de materiais experimentais e de meios de avaliação de seus desempenhos. A elaboração de um método de avaliação resulta de um processo longo e complexo, necessitando de uma numerosa quantidade de comparações entre os resultados de campo e laboratório durante a vida útil do material e que esteja amplamente de acordo com o contexto dos métodos de dimensionamento dos pavimentos, bem como de classificação e normalização dos materiais (MANUEL LPC, 2007).

O manual do *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, estabelece uma sequência de ensaios para a metodologia Francesa de formulação de misturas asfálticas, divididos em 5 níveis de formulação que, por sua vez, são subdivididos em empíricos (em que não existe uma modelação matemática, sendo compreendido pelos níveis 0, 1 e 2) e fundamentais (compreendido pelos níveis 3 e 4), conforme demonstrado na Figura 1.

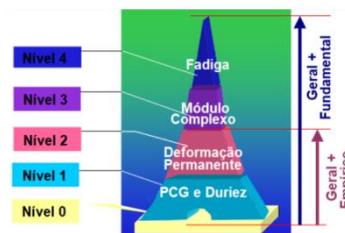


Figura 1 - Níveis de ensaios para a formulação de misturas asfálticas.

Fonte: Manuel LPC (2007).

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho encontra-se limitado ao nível empírico da metodologia Francesa para formulações de misturas asfálticas. O desenvolvimento desta pesquisa iniciou-se com a seleção das jazidas para a coleta das amostras dos materiais de estudo e na sequência foram executados os ensaios de caracterização desses materiais e definidas as respectivas classificações geológicas, mineralógicas, químicas e físicas das suas ocorrências.

#### 3.1. Caracterização dos agregados pétreos

A campanha experimental desta pesquisa se iniciou no Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav) do Campus de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os agregados pétreos utilizado são oriundo



de britagem de maciço rochoso gnáissico e foram fornecidos pela empresa Rudnick Minérios S.A., localizada no distrito de Pirabeirada, na cidade de Joinville/SC. O ligante betuminoso de penetração 30/45 (0,1mm) é oriundo da distribuidora CBB Asfaltos, localizada na região metropolitana de Curitiba/PR.

Os ensaios de desgaste por abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/1998 e DNER-ME 037/1997), Índice de forma (ABNT NBR 7809/2006), Resistência ao ataque químico (DNER-ME 089/1994 e DNER-ME 037/1997), Equivalência de areia (DNER-ME 54/1997), Teor de material pulverulento (DNER-ME 266/1997 e DNER-ME 37/1997) e Absorção, se demonstraram dentro dos limites impostos pelas normativas apresentadas e, dessa maneira, são passíveis de utilização em mistura asfálticas. Já o ensaio de Adesividade ao ligante betuminoso (DNER-ME 078/1994) não demonstrou um parâmetro de adesividade adequado, que em situações práticas de obras, o mesmo deve ser corrigido com a inserção de aditivos melhoradores de adesividade ou pela substituição de adições granulares com natureza eletropositiva, que permitam a formação de um dipolo de atração química com a matriz eletronegativa dos materiais hidrocarbonetos. Importante destacar que nesta pesquisa não foram utilizados aditivos melhoradores de adesividade, com o intuito de preservar as características originais dos insumos, para que não tivessem qualquer influência nos resultados da campanha experimental e, portanto, permitindo a verificação do real efeito da utilização das cinzas oriundas da queima do carvão mineral nas misturas asfálticas.

### **3.2. Caracterização das cinzas**

As propriedades físico-químicas das cinzas oriundas da combustão do carvão mineral em usinas termelétricas são influenciadas por diversos fatores, tais como a composição do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e manuseio das cinzas. Devido a estes fatores, as cinzas apresentarão variação na sua composição e propriedades físico-químicas, não só de usina para usina, mas de caldeira para caldeira na mesma usina e até numa mesma caldeira em tempos diferentes. (GOETHE, 1990 *apud* CAMARA, 2011).

Ao iniciar as caracterizações foi necessário o reconhecimento das frações granulométricas representativas das cinzas para que assim resulta-se em uma reutilização mais eficiente desse resíduo sólido. Em análise a morfologia dos grãos, pode-se observar um

aspecto esponjoso ou estrutura vesicular, isto ocorre devido os argilominerais fundidos gerarem partículas vítreas, ricas em inclusões gasosas que além de gerar um aspecto esponjoso causam fragilidade aos grãos de dimensões maiores, em frações situadas entre as peneiras de abertura 0,60 mm a 0,15 mm. Em análise as frações mais representativas para ambas as cinzas e em consonância ao percentual máximo para a substituição dos finos para que não ocorra risco de perda de resistência, convencionou a limitação da utilização das frações de cinzas em 6,0% em substituição as frações de fundo ( $<0,075\text{mm}$ ), observadas a percentagem desta fração é de 17,8% para as cinzas *Bottom Ash* e 52,6% para as cinzas *Fly Ash*, conforme Figura 2.

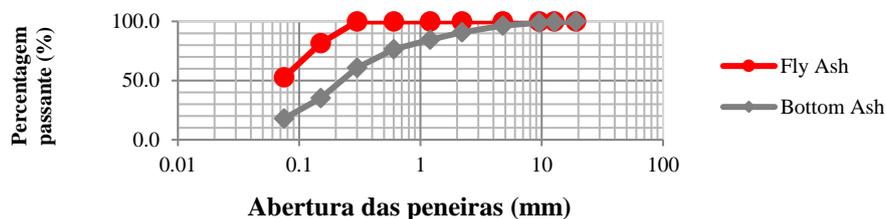


Figura 2 - Distribuição granulométrica das cinzas.

Fonte: Clara (2020).

A análise morfológica dos fíleres em estudo como Pó de brita, cinzas *Bottom ash* e *Fly ash*, foram realizadas a partir da análise das imagens produzidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) conforme demonstrada na Figura 3.

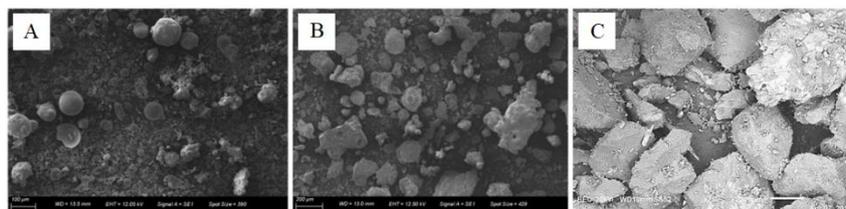


Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura (A) *Fly Ash*, (B) *Bottom Ash*, (C) Agregado granítico.

Fonte: A-B: Aquino *et al.* (2017). C: Siroma (2018).

Nessa análise é possível observar que as cinzas de carvão possuem formas esféricas de diferentes diâmetros e partículas irregulares de tamanhos variados. Isso é possível devido aos diferentes estados físicos da sílica presente em amostras de cinzas de carvão são responsáveis pela forma das partículas de tamanhos irregulares. A morfologia do pó de pedra se demonstra com formato predominante subangular e a textura se mostra bem rugosa. Essas características tendem a favorecer o intertravamento granular, resultando em misturas asfálticas mais estáveis.

Para análise das características físico-químicas dos fíleres utilizados na presente pesquisa foi realizada uma parceria técnica entre o Centro Tecnológico da SATC (CT-SATC), pertencente à Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), tendo como base, estudos já desenvolvidos pela SATC em relação às aplicações das cinzas.

Os resultados das análises mineralógicas encontra-se demonstrados nas Figuras 4 e 5, observa-se a presença de anortita, biotita, albita e quartzo, no fíler Pó de pedra.

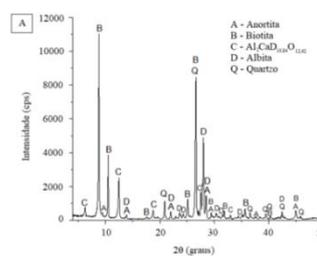


Figura 4 - Análise mineralógica DRX (A) Pó de pedra

Fonte: Clara (2020).

Em ambos os fíleres Fly ash e Bottom ash (Figura 4) se observa a presença de duas fases típicas presentes em diversas cinzas provenientes da queima de carvão mineral, quartzo e mulita. De acordo com Rohde *et al.* (2006), a mulita presente nas cinzas é resultante das reações que ocorrem durante a combustão do carvão. O quartzo, por sua vez, está presente no carvão precursor e não funde nas condições de queima nas usinas termelétricas. A presença de hematita e magnetita nas cinzas é decorrente da oxidação de sulfetos de ferro na forma de pirita, normalmente presente no marcassita e pirrotita presentes no carvão queimado.

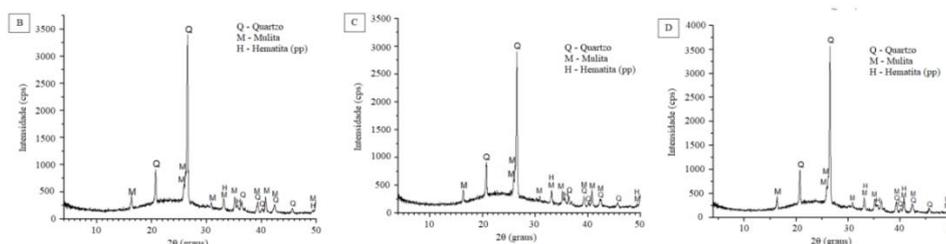


Figura 5 - Análise mineralógica DRX (B) 50% Fly e Bottom, (C) Fly ash e (D) Bottom ash.

Fonte: Clara (2020).



A composição química referente aos elementos majoritários presentes nas amostras foram realizadas por Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX), seguindo a norma ASTM D7348-07. A Tabela 1 apresenta as composições químicas das cinzas e do pó de pedra.

Tabela 1 - Composição química majoritária dos fileres.

Fíleres (%Massa)	Componentes														
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
<b>Conv.<sup>1</sup></b>	53,60	14,51	10,93	8,08	3,26	2,58	1,23	0,44	0,25	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	2,31
<b>Fly+Bot.<sup>2</sup></b>	58,48	7,38	20,13	2,59	0,62	4,24	1,48	0,78	0,03	0,11	0,10	0,03	0,06	0,05	0,64
<b>Fly<sup>3</sup></b>	60,26	7,21	19,87	2,87	-	4,60	1,60	0,81	0,04	0,10	0,09	0,03	0,07	0,08	0,67
<b>Bottom<sup>4</sup></b>	58,91	6,99	19,62	1,79	0,61	4,29	1,54	0,22	0,04	0,13	0,09	0,03	0,04	0,04	0,86

<sup>1</sup>Convencional: Pó de Pedra (Perda ao fogo (%): 2,519)

<sup>2</sup>Fly+Bot.: 50% Fly Ash e 50% Bottom Ash (Perda ao fogo (%): 3,213)

<sup>3</sup>Fly: 100% Fly ash (Perda ao fogo (%): 1,634)

<sup>4</sup>Bottom: 100% Bottom Ash (Perda ao fogo (%): 4,747)

Fonte: Clara (2020).

Analisando os resultados obtidos observa-se a presença de alguns elementos em abundancia que são denominados de Sílica (SiO<sub>2</sub>), Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Óxido de Ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Óxido de Cálcio (CaO), ainda observa-se também a presença de elementos que conferem o potencial tóxico da cinza sendo eles, Ácido sulfúrico (Trióxido de enxofre), Zinco, Cromo entre outros.

Além dos elementos indicados na Tabela 1, foram detectados os elementos Rb<sub>2</sub>O, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PbO nos fileres Fly Ash, Bottom ash e 50% Fly ash + 50% Bottom ash, com quantidades inferiores a 0,03%.

As análises texturais das amostras foram também realizadas no CT-SATC, no Laboratório de Captura de CO<sub>2</sub>. Foi utilizada a técnica de adsorção de nitrogênio (N<sub>2</sub>). As técnicas de adsorção de gases utilizadas para determinação dessas estruturas consistem na determinação da quantidade de adsorbato, necessária para formar uma camada monomolecular (monocamada) sobre a superfície a ser medida. Os resultados obtidos na Tabela 2, demonstram que o pó de pedra apresenta um maior diâmetro de poros e maior volume de poros.

Tabela 2 - Composição química majoritária dos fileres.

Amostra	Bottom ash	Fly ash	50% Bottom + 50% Fly	Pó de pedra
Área Superficial (m <sup>2</sup> /g)	1,454	6,311	3,933	3,052
Volume de poros (cm <sup>3</sup> /g)	0,013950	0,003170	0,009819	0,012850
Diâmetro médio de poros (Å)	88,44	87,24	99,84	168,4



Fonte: Clara (2020).

A porosidade exerce grande efeito nas propriedades mecânicas dos materiais, como resistência, dureza e na quantidade de ligante betuminoso a ser mobilizado o envolvimento do granular, logo fileres que apresentam elevada porosidade possuirão capacidade de adsorver maior quantidade de ligante betuminoso, fator que teoricamente gera uma ancoragem mais firme das partículas e, conseqüentemente, um aumento da rigidez.

A determinação da dureza dos fileres se fez necessário para justificar os comportamentos observados durante a campanha experimental da presente pesquisa, o procedimento para determinação do mesmo, foi realizado através da literatura, visto a grande dificuldade de se obter a dureza através os métodos convencionais devidos seus grãos serem frágeis conforme já mencionado. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos através da estimativa em função dos componentes químicos.

Tabela 3 - Estimativa da dureza dos fileres.

<b>Amostra</b>	<b>Bottom ash</b>	<b>Fly ash</b>	<b>50% Bottom + 50% Fly</b>	<b>Pó de pedra</b>
Dureza (Mohs)	7,13	7,17	7,15	6,08

Fonte: Clara (2020).

Analisando as durezas estimadas, podemos observar que o valor estimado para o pó de pedra quando comparadas com as durezas das cinzas observa-se uma pequena variabilidade nos resultados, sendo a dureza maior encontrada é para a cinza *Fly ash*, essa dureza pode ser justificada visto que sua composição predominante é  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$ , tendo suas durezas na ordem de 9 e 7 Mohs, respectivamente, essa dureza é dependente diretamente das forças de ligação entre os átomos, íons ou moléculas.

Outra análise realizada foi o ponto de amolecimento pelo método de anel e bola (ABNT NBR 6560/2016), com o intuito de se verificar o efeito de cada filer sobre o mastique betuminoso, foram executados a partir da formulação de mástiques formulados com os fileres estudados na presente pesquisa, ambos com 6,0% em peso do ligante betuminoso, as Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 4 - Ponto de amolecimento, ensaio realizado mesmo dia de moldagem do mástique.

<b>Amostra</b>	<b>Sem adição de filer</b>	<b>Bottom ash</b>	<b>Fly ash</b>	<b>50% Fly e Bottom</b>	<b>Pó de pedra</b>
Resultados (°C)	53,5 (Replan 2018)	53,5	54,0	53,5	53,5

Fonte: Clara (2020).



Tabela 5 - Ponto de amolecimento, ensaio realizado 6 dias após moldagem do mástique.

Amostra	Sem adição de fíler	Bottom ash	Fly ash	50% Fly e Bottom	Pó de pedra
Resultados (°C)	53,5 (Replan 2018)	54,0	54,0	54,0	53,5

Fonte: Clara (2020).

Analisando os resultados obtidos, verifica-se uma forte similaridade entre os valores apresentados, evidenciando o caráter amorfo das cinzas e do pó de pedra fazendo com que não exerçam influência significativa na rigificação do ligante betuminoso, logo sendo considerados fíleres inertes na composição da mistura asfáltica, isto é, sem característica pozolânica.

#### 4. RESULTADOS

O ensaio de PCG visa verificar a habilidade de compactação das misturas asfálticas, a partir do uso da Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratória (PCG) (AFNOR NF P 98-252, 1999). Os resultados médios obtidos nos ensaios estão apresentados na Figura 6. Conforme demonstrado, nesta pesquisa as misturas convencionais executadas, foram as formuladas somente com teor de ligante de 4,70%, visto que Siroma (2018) executou os mesmos ensaios para o mesmo tipo de mistura com a mesma formulação nos teores de ligantes iguais a 4,22%, 4,54% e 4,86%.

Para as misturas asfálticas do tipo BBSG (*Béton Bitumineux Semi-Grenus*), as prerrogativas normativas estabelecem a aferição do teor de vazios a 80 giros, devendo enquadrar-se no intervalo entre 4,0% e 9,0%. Os resultados obtidos fora dos limites normativos comprovam que as misturas asfálticas demonstrariam em campo uma habilidade de compactação indesejada, ou seja, com uma precoce diminuição excessiva dos vazios, situação que poderia desencadear o potencial surgimento de deformação permanente e até mesmo de exsudação no campo.

Analisando a Figura 6, é possível constatar que a morfologia e a textura dos granulares têm uma forte influência na habilidade de compactação, visto que os materiais graníticos possuem características favorecendo o intertravamento granular, resultando em misturas asfálticas mais estáveis.

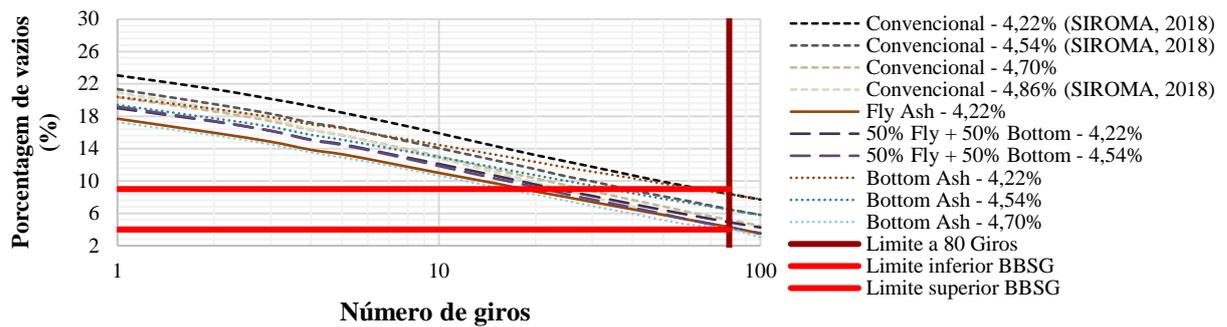


Figura 6 - Resultados dos ensaios de PCG.

Fonte: Clara (2020).

Os resultados dos ensaios da mistura com adição da Fly ash, demonstraram uma maior densificação. Quanto às cinzas Bottom ash, isso ocorreu devido as características morfológicas das cinzas que justificam o comportamento dessas misturas apresentando um melhor embricamento dos granulares, resultando em um maior volume de vazios. Ainda em análise fica evidente que o aumento do teor de ligante ocasiona maior compactação das misturas asfálticas, o que é justificado pelo aumento da lubrificação gerada entre os granulares, resultando em maior acomodação das partículas.

Após a conclusão dos ensaios de PCG, foi avaliada a resistência à sensibilidade à água (NF 98-251-1, 1995). A Figura 7 traz os resultados obtidos nos ensaios.

Analisando os resultados obtidos, tem-se que todos os teores das misturas estudadas foram aprovados, demonstrando uma média superior ao valor mínimo adotado pela norma. Conclui-se, então, que as misturas estudadas não apresentaram uma redução superior a 30% da resistência à compressão simples. Os dados da relação  $r/R$  para a mistura convencional nos teores de 4,22%, 4,54% e 4,86% foram obtidos por Siroma (2018).

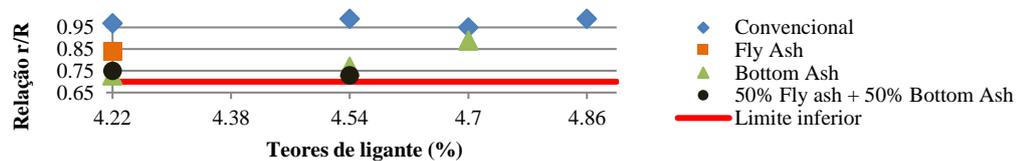


Figura 7 - Resultados dos ensaios de Duriez.

Fonte: Clara (2020).

No entanto, é importante ressaltar que novamente a morfologia das frações granulares foi decisiva nos resultados apresentados, agora na relação do corpo de prova condicionados na água ( $r$ ) e condicionados a seco ( $R$ ), pois quimicamente ambas as matrizes gnáissicas e

das cinzas são eletronegativas, com majoritária presença de sílica, não contribuindo em ambos os casos para uma boa resistência à ação deletéria da água.

O ensaio subsequente realizado foi o ensaio de deformação permanente (AFNOR NF EN 13108-1, 2007), que consiste na avaliação da resistência das misturas asfálticas à formação de trilha de rodas. O resultado deste ensaio está demonstrado na Figura 8.

A mistura BBSG 0/14mm possui três classificações possíveis, determinada em função da percentagem de afundamento após 30.000 ciclos (AFNOR, 2007). As classes 2 e 3 são as que mais se assemelham ao contexto brasileiro.

Analisando as misturas dosadas com o teor de 4,22% de ligante, tem-se que todas se enquadraram na classe 3, o que significa que possuem as melhores condições de resistência ao afundamento na trilha de roda para a categoria BBSG, isto é, abaixo de 5,0%.

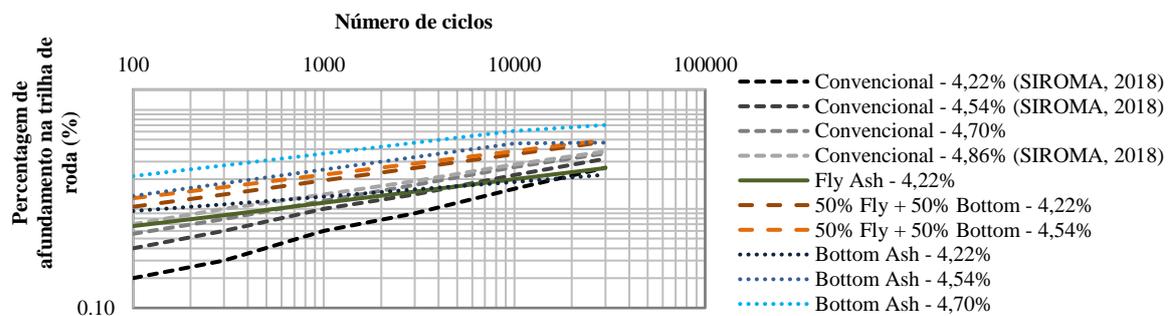


Figura 8 - Resultados dos ensaios de Deformação permanente.

Fonte: Clara (2020).

Todas as misturas se enquadram na classe 3, exceto a mistura com adição de 100% Bottom no teor de ligante de 4,70%, que resultou em um afundamento de 7,01%, logo, estão aptas a serem utilizadas nas condições mais severas de tráfego em situações práticas. A mistura 100% Bottom a enquadra na classe 2, referente à metodologia francesa, ou seja, na faixa situada entre 5,00% e 7,50%, inferior à classe 3, mas apta a ser utilizada em situações de tráfego em ambiente climático com elevado gradiente térmico.

## 5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos e das análises efetuadas, é possível concluir que as matrizes estudadas são viáveis tecnicamente para utilização em misturas asfálticas, assim, é possível inferir que o bom comportamento mecânico de um material, notadamente as



misturas asfálticas, não está diretamente relacionado apenas à resistência física propriamente dita, mas também às variáveis de forma de suas matrizes granulares.

Outrossim cabem destacar que para a obtenção deste êxito, são os cuidados quanto a formulação das misturas asfálticas devem ser tomados em cada caso, analisando minuciosamente a distribuição granulométrica, a morfologia das partículas, e, sobretudo, utilização de um percentual moderado do material na composição granulométrica. Do contrário, os riscos assumidos de insucesso são muito grandes, devido às características morfológicas de suas ocorrências.

Assim conclui-se a viabilidade da utilização das cinzas oriundas da queima do carvão em misturas asfálticas, logo abrindo-se inclusive a possibilidade de um mercado para a utilização em larga escala da Bottom Ash, atualmente sem destinação alguma aos serviços de beneficiamento de insumos, notadamente na região sul do Estado de Santa Catarina.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. 2005. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- AQUINO, T. F.; ESTEVAM S. T.; CORRÊA G. R.; MARQUES C. R. M.; MELO A. R.; MARCELO R. R.; PIRES M.; HAMMERSCHMITT M.; RIELLa H. G. 2017. **Síntese de zeólitas do tipo X a partir de cinzas volantes e de fundo de carvão mineral**. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral.
- BARRA, B. S. 2009. **Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 327 p.
- BP. 2019. **Statistical Review of World Energy 2019** . 68th edition.
- CAMARA, A.L. 2011. **Estudo do comportamento de materiais alternativos e suas aplicações na engenharia geotécnica**. (Aplicação de Cinzas de Carvão como Condicionadores de Solo). Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUCRio).
- CLARA, E. 2020. **Avaliação de misturas asfálticas densas com a incorporação de cinza de carvão mineral**. Dissertação de Mestrado. Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina.
- MANUEL LPC, 2007. **Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés**. Groupe de Travail RST "Formulation des enrobés". Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, France.
- POZZOBON, C.E. 1999. **Aplicações tecnológicas para cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- RHODE, G. M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, 2006. N.I.W. **Cinzas de carvão fóssil no Brasil – Aspectos técnicos e ambientais**. vol.1 Porto Alegre: CIENTEC.
- SIROMA, R. S. 2018. **Avaliação da deformação permanente em misturas asfálticas densas formuladas com areia descartada de fundição (ADF)**. Dissertação.



## ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO TEOR DE LIGANTE EM PROJETOS DE CONCRETO ASFÁLTICO

*Christiane da Silva Deolindo<sup>1</sup>; Matheus Lemos Nogueira<sup>2</sup>; Anelise Schmitz<sup>3</sup>; Jéssica Santos Rossi<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,4</sup> Universidade de Caxias do Sul, <sup>1</sup>csdeolindo@ucs.br, <sup>2</sup>mlnogueira@ucs.br, <sup>4</sup>jsrossi1@ucs.br*

*<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná, [anelise.schmitz@gmail.com](mailto:anelise.schmitz@gmail.com)*

### RESUMO

O controle de qualidade corresponde às ações necessárias para identificar rapidamente o nível de qualidade dos processos de produção e para corrigir os erros quando este nível estiver aquém do especificado. No Brasil, diversas publicações associam os insucessos das obras e a ocorrência de patologias prematuras a problemas do controle de qualidade. Tendo em vista a importância de controlar a variabilidade dos materiais e processos para o desempenho final do pavimento asfáltico, este trabalho tem como objetivo apresentar uma forma de determinar a variabilidade de características de qualidade do concreto asfáltico. Para isso, foi realizado um estudo de caso que contou com 5 projetos de misturas utilizadas nos revestimentos de rodovias no Rio Grande do Sul. Aqui foi considerado apenas o teor de ligante, embora o método possa (deva) ser utilizado para outras características como granulometria, volume de vazios e espessura da camada. Como considerações finais, ressaltou-se a importância de uma medida de variabilidade que também incorpore a habilidade dos executores em mirarem suas produções nos parâmetros de projeto. Além disso, deve ser destacada a importância da formação e alimentação contínua de um banco de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto asfáltico, Controle de qualidade, Característica de qualidade.

### ABSTRACT

*Quality control corresponds to actions necessary to quickly identify the quality level of the production processes and to correct errors when this level is below the specified level. In Brazil, several publications associate the failures of construction and the occurrence of premature pathologies with problems of quality control. In view of the importance of controlling the variability of materials and processes for the final performance of the asphalt pavement, this paper aims to present a way to determine the variability of quality characteristics of asphalt concrete. To this end, a case study was carried out that included 5 mix designs used in road coverings in Rio Grande do Sul. Here, only the binder content was considered, although the method can (should) be used for other characteristics such as granulometry, air void and thickness. As final considerations, the importance of a variability measure that also incorporates the ability of the executors to target their productions in the design parameters was emphasized. In addition, the importance of a database and its continuous feeding must be highlighted.*

**KEYWORDS:** Asphalt concrete, Quality control, Quality characteristic.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Fortes e Merighi (2004), a aplicação deficiente ou não idônea do controle tecnológico e de qualidade é a causa principal dos insucessos na execução de obras de Engenharia Civil. Neste sentido, Balbo (2007) define a negligência e muitas vezes a ausência



deste controle como a grande mazela das obras rodoviárias no Brasil. Ainda nesta linha, segundo a Confederação Nacional dos Transportes (2019), um dos problemas encontrados no país relacionado aos pavimentos flexíveis é o não atendimento das exigências técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas como da qualidade dos materiais empregados no revestimento.

A qualidade do processo construtivo é fator determinante quando se trata de desempenho de pavimentos sujeitos à ação do tráfego e ações climáticas (DEACON et al., 2001). Embora “controle de qualidade” ou “controle tecnológico” de materiais e processos remeta, muitas vezes, a ensaios de laboratório, existe uma demanda cada vez maior para que os materiais tenham sua qualidade atestada na pista, principalmente para critérios de aceitação final do produto (FERRI, 2013). Devem ser englobadas também ações e considerações necessárias para que seja possível ajustar o processo de construção de tal maneira que seja controlado o nível de qualidade em todas as etapas da execução do serviço (FORTES et al., 2005).

A variabilidade da construção tem um impacto significativo no desempenho do pavimento, independentemente da fonte do agregado e do tipo de ligante. No entanto, algumas misturas preparadas em laboratório podem ter um desempenho melhor que a mistura real, tendo em vista que em campo não é possível o controle sobre todas as variáveis da mesma forma que em laboratório. Se o empreiteiro violar os limites de especificação, há 81% de chance de a seção de pavimento ter desempenho inferior ao da mistura ideal (SEBBALY e BAZI, 2005).

### **1.1. Objetivo do trabalho**

Tendo em vista a importância de controlar a variabilidade dos materiais e processos para o desempenho final do pavimento, percebe-se o quão necessário se faz o controle de qualidade. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma forma de determinar a variabilidade de características de qualidade do concreto asfáltico. Para ilustrar a aplicação da metodologia, foram utilizadas medidas de teor de ligante da produção de 5 diferentes misturas utilizadas no revestimento de rodovias no Rio Grande do Sul.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O controle de qualidade ou controle do processo compreende as ações planejadas e sistemáticas necessárias para garantir a confiabilidade necessária a um produto ou instalação, para que o mesmo, quando em serviço, funcione com desempenho satisfatório. A sua problemática, de forma geral, é obter a qualidade de um serviço ou produto da maneira mais eficiente, econômica e satisfatória possível. Para isso, é necessário a avaliação contínua das atividades de planejamento, especificações, publicidade e adjudicação de contratos, construção, manutenção, e a interação destas atividades (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2009).

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2004), o controle de qualidade se dá por meio de atividades operacionais, simultâneas à execução da obra rodoviária, e técnicas operacionais que se destinam a monitorar todo o processo em todas as etapas do ciclo da qualidade da obra, para atender aos requisitos de qualidade. As medidas adotadas devem ser detalhadas por meio de um plano da qualidade (PGQ) e de acordo com a legislação e normas técnicas em vigor.

Historicamente, procedimentos estatísticos de controle de qualidade foram desenvolvidos principalmente para o ambiente da indústria, especialmente onde os volumes de produção são altos. Estes procedimentos permitem a detecção precoce e a correção rápida de problemas. As aplicações do controle estatístico de qualidade têm como foco principal o processo de produção (LAPIN, 1990).

Conforme Fortes e Merighi (2004), o controle tecnológico e de qualidade se constitui na amostragem dos serviços que são realizados, além da realização de ensaios para verificar se os serviços estão atendendo às especificações vigentes e ao projeto. A verificação é feita nas diversas fases de execução, de modo que erros possam ser corrigidos em tempo hábeis, garantindo então o seu desempenho. Inclui desde a seleção dos materiais, misturas ou aplicação desses materiais e fases posteriores da produção.

Com o propósito de verificar a conformidade da produção em relação a uma dada exigência ou especificação, são medidas as características de qualidade. Elas devem ser correlacionáveis com propriedades fundamentais de engenharia e permitirem a estimativa do desempenho do revestimento construído (TRB, 2009). Burati et al. (2003) definem a diferença entre “propriedade” e “característica de qualidade” por meio do seguinte exemplo:



para o concreto asfáltico, uma propriedade pode ser a durabilidade enquanto que a característica de qualidade correlacionada a ela pode ser o teor de ligante.

Butts e Ksaibati (2003) apresentaram as características de qualidade mais medidas nas especificações de garantia de qualidade para concreto asfáltico em 39 estados americanos. As três mais comumente controladas são grau de compactação, teor de ligante e distribuição granulométrica. Algumas outras características são: Volume de vazios, Vazios nos Agregados Minerais, temperatura da mistura no misturador e espessura da camada compactada.

### 3. METODOLOGIA

Neste item são apresentados os projetos analisados neste trabalho e a forma de cálculo da variabilidade do teor de ligante.

#### 3.1. Banco de dados

Os dados analisados referem-se a 5 projetos de concreto asfáltico utilizados nos revestimentos de rodovias no Rio Grande do Sul, fornecidos pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, DAER/RS. O fornecimento dos mesmos se deu em formato de relatórios mensais de acompanhamento da execução dos serviços, por parte das empresas executoras. Na Tabela 1 são identificados os projetos aqui considerados e os teores de ligante correspondentes.

Tabela 1 – Parâmetros de projeto

Projeto	Teor de ligante de projeto (%)
1	5,30
2	5,60
3	5,62
4	5,10
5	5,20



Cada projeto foi dividido em lotes, correspondentes a cada mês de produção. Esta escolha deveu-se a forma como os dados foram fornecidos, sendo o ideal para o controle de qualidade período menores. A vantagem da amostragem com base no tempo é a possibilidade de avaliações em períodos isolados de tempo, onde podem ocorrer modificações no processo de produção. Por outro lado, a quantidade de mistura produzida pode variar entre os lotes, fazendo com que quantidades diferentes sejam avaliadas (RUSSELL et al., 2001).

Após organizado o banco de dados, foram calculadas as diferenças entre as medidas de teor de ligante obtidas nos ensaios de extração e o teor de projeto. Este valor não deve exceder  $\pm 0,3 \%$  (DAER, 199; DNIT, 2006). Após, foram calculados a média e o desvio padrão destas diferenças em cada lote para iniciar enfim a análise estatística.

### 3.2. Cálculo da variabilidade

A forma de cálculo aqui apresentada é descrita por Burati et al. (2003). Burati (2005) a utiliza para revisar os limites de uma especificação de garantia de qualidade nos Estados Unidos. No Brasil, o método foi utilizado e discutido em Nogueira (2011). A variabilidade de uma característica de qualidade é mensurada pelo desvio padrão,  $S_{CQ}$ . O cálculo deste parâmetro estatístico envolve duas parcelas: a variabilidade do processo de produção em si,  $S_{PROCESSO}$ , e a variabilidade da precisão com que os empreiteiros conseguem centrar suas produções nos parâmetros de projeto,  $S_{PRECISÃO}$ . O cálculo de  $S_{CQ}$  é feito conforme a Equação 1.

$$S_{CQ} = \sqrt{S_{PROCESSO}^2 + S_{PRECISÃO}^2} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$S_{CQ}$  é a variabilidade da característica de qualidade;

$S_{PROCESSO}^2$  é a variância da variabilidade do processo (desvio padrão que quantifica a variabilidade do processo elevado ao quadrado);

$S_{PRECISÃO}^2$  é a variância da variabilidade da precisão (desvio padrão que quantifica a variabilidade da precisão elevado ao quadrado).



O valor do desvio padrão que quantifica a variabilidade do processo deve ser coerente com a maneira na qual os lotes foram definidos: se por tempo de produção ou se por quantidade produzida. Assim, devem ser calculados os desvios padrões em cada lote e posteriormente ponderados, tendo como peso o tamanho das amostras, ou seja, o tamanho dos lotes. O cálculo foi feito por meio da Equação 2.

$$S_{\text{PROCESSO}} = \sqrt{s_p^2} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2 + \dots + (n_k-1)s_k^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_k - k}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$S_{\text{PROCESSO}}$  é o desvio padrão que quantifica a variabilidade do processo do projeto;

$s_p^2$  é a variância ponderada do processo do projeto;

$s_i^2$  é a variância de cada lote do projeto;

$n_i$  é a quantidade de medidas da característica de qualidade para cada lote  $i$ ;

$k$  é a quantidade de lotes no projeto.

A avaliação da variabilidade da precisão tem o propósito de verificar o quão variáveis são as médias dos processos de produção em relação aos valores de projeto. O procedimento inicia com o cálculo das médias das medidas das características de cada lote. A posterior ponderação destas médias é feita tendo o tamanho do lote como peso e, para isso, utiliza-se a Equação 3.

$$\bar{X}_1 = \frac{(\bar{x}_1 n_1) + \dots + (\bar{x}_k n_k)}{n_1 + \dots + n_k} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$\bar{X}_1$  é a média ponderada dos valores médios das medidas da característica qualidade;

$\bar{x}_i$  é o valor médio das medidas de determinada característica em cada lote;

$n_i$  é a quantidade de medidas da característica de qualidade para cada lote  $i$ ;

$k$  é a quantidade de lotes no projeto.

### 3.3. Nível de qualidade

Um nível de qualidade aceitável de uma característica pode ser estabelecido quando, pelo menos, 90% de suas medidas estejam em conformidade com os limites de tolerância, como o caso de  $\pm 0,3\%$  do teor de ligante com relação ao valor de projeto (DNIT, 2006). O valor de 90% é arbitrário e comumente adotado para estabelecer os limites de controle ou de aceitação em especificações rodoviárias (BURATI, 2005). Para uma distribuição normal, 90% de uma população estar dentro dos limites significa que o afastamento em relação à média é de  $zS_{CQ}$ , sendo  $z$  a variável normal padronizada e, para este caso, igual a 1,645. A Figura 1 ilustra esta consideração.

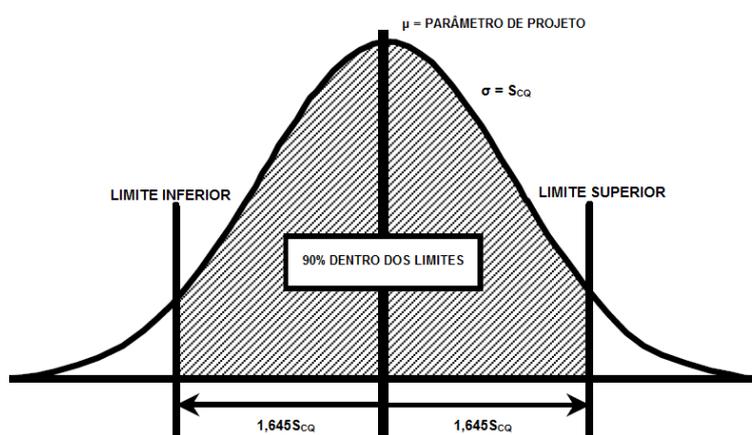


Figura 1 – Característica de qualidade com 90% da população entre os limites especificados  
 Fonte: Adaptado de Burati et al., 2003

## 4. RESULTADOS

Nas Tabelas 2 até 6 são apresentados os resultados dos lotes para os Projetos de 1 até 5, respectivamente.

Tabela 2 – Projeto 1

Lote	n	$s_i$	$(n_i-1)s_i^2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i n_i$
Jan/16	32	0,0058	0,0010	5,3313	170,60
Fev/16	37	0,0110	0,0044	5,3643	198,48
Mar/16	40	0,0122	0,0058	4,0660	162,64
Abr/16	30	0,0070	0,0014	5,4673	164,02



Mai/16	24	0,0036	0,0003	5,4525	130,86
Jun/16	39	0,0053	0,0011	5,4992	214,47
Total	202		0,0140		1041,07
	$s_{\text{PROCESSO}}$		0,0084	$\bar{X}_i$	5,1538
				$\overline{\Delta X}_i$	-0,1462

Tabela 3 – Projeto 2

Lote	n	$s_i$	$(n_i-1)s_i^2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i n_i$
Out/14	27	0,0082	0,0017	5,7593	155,50
Nov/14	27	0,0081	0,0017	5,7374	154,91
Total	54		0,0034		310,41
	$s_{\text{PROCESSO}}$		0,0081	$\bar{X}_i$	5,7483
				$\overline{\Delta X}_i$	0,1483

Tabela 4 – Projeto 3

Lote	n	$s_i$	$(n_i-1)s_i^2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i n_i$
Jun/16	124	0,0081	0,0080	5,6185	696,69
Jul/16	47	0,0010	0,00004	5,6126	263,79
Ago/16	133	0,0017	0,0004	5,7349	762,74
Total	304		0,0084		1723,22
	$s_{\text{PROCESSO}}$		0,0053	$\bar{X}_i$	5,6685
				$\overline{\Delta X}_i$	0,0485



Tabela 5 – Projeto 4

Lote	n	$s_i$	$(n_i-1)s_i^2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i n_i$
Jun/15	6	0,0045	0,0001	5,1900	31,14
Jul/15	3	0,0010	0,000002	5,2433	15,73
Jan/16	4	0,0027	0,00002	5,2650	21,06
Fev/16	17	0,0057	0,0005	5,2900	89,93
Mar/16	13	0,0030	0,0001	5,2362	68,07
Abr/16	9	0,0042	0,0020	5,2333	47,10
Mai/16	14	0,0123	0,0011	5,2843	73,98
Total	66		0,0029		347,01
	$S_{\text{PROCESSO}}$		0,0070	$\bar{X}_i$	5,2577
				$\Delta\bar{X}_i$	0,1577

Tabela 6 – Projeto 5

Lote	n	$s_i$	$(n_i-1)s_i^2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i n_i$
Jun/15	12	0,0039	0,0002	5,1708	62,05
Jul/15	13	0,0067	0,0005	5,1123	66,46
Ago/15	34	0,0089	0,0026	5,1538	175,23
Jan/16	8	0,0050	0,0002	5,2238	41,79
Total	67		0,0035		345,53
	$S_{\text{PROCESSO}}$		0,0075	$\bar{X}_i$	5,1572
				$\Delta\bar{X}_i$	-0,0428

Na Tabela 7 são apresentados os resultados finais para todos os projetos considerados neste trabalho.



Tabela 7 – Resumo dos projetos

Projeto	n	S <sub>PROCESSO</sub>	$\overline{\Delta X}_i$
1	202	0,0084	-0,1462
2	54	0,0081	0,1483
3	304	0,0053	0,0485
4	66	0,0070	0,1577
5	67	0,0075	-0,0428
k = 5	$\Sigma = 693$	$\Sigma = 0,0363$	

De posse dos valores apresentados na Tabela 7, foram calculadas as variabilidades do processo, igual a 0,0073, e da precisão, correspondente ao desvio padrão dos valores das médias e igual a 0,1123, considerando os 5 projetos em questão. A partir deste valores, pôde-se calcular a variabilidade do teor de ligante (Equação 4).

$$S_{CQ} = \sqrt{0,0073^2 + 0,1123^2} = 0,1125 \quad \text{Equação (4)}$$

Por meio da multiplicação  $zS_{CQ}$ , onde  $z$  é igual a 1,645 e  $S_{CQ}$  é igual a 0,1125, conclui-se que os limites para o nível de qualidade correspondente aos 90 % das medidas dentro das especificações seria de 0,19 %. Porém, para uma melhor avaliação, também foi realizado o processo inverso: 1) dividiu-se o limite de  $\pm 0,3$  % pela variabilidade  $S_{CQ}$  para determinar o valor da variável  $z$ ; 2) com o valor de  $z$ , pôde-se identificar a quantidade de concreto asfáltico produzida dentro dos limites especificados. O resultado de  $z$  foi de 2,67, o que indica que 99,24 % do concreto asfáltico foi produzido com o teor de ligante conforme as especificações; vale ressaltar que o mesmo processo aqui apresentado deve ser aplicado a outras características de qualidade como granulometria, volume de vazios, grau de compactação e espessura.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma metodologia para a determinação da variabilidade de características de qualidade de concreto asfáltico. Para isso, foi apresentado um estudo de caso que analisou a variabilidade do teor de ligante em 5 projetos de misturas utilizadas nos revestimentos de rodovias gaúchas. O método, que já foi relatado na literatura, se mostra interessante por considerar a habilidade do executor em mirar sua produção nos parâmetros de projeto, além da variabilidade inerente a todo processo de produção.

Quanto ao banco de dados, este se mostrou uma ferramenta de elevada importância para o controle de qualidade. Deve ser ressaltada a necessidade de alimentação contínua, de forma a permitir ajustes rápidos na produção caso material com qualidade inferior ao especificado seja identificado. Sugere-se, para o estudo de caso aqui apresentado, que os lotes sejam organizados em períodos de tempo menores ou que seja considerada a possibilidade de divisão conforme a quantidade produzida.

Quanto ao teor de ligante dos 5 projetos aqui considerados, o nível de qualidade se mostrou elevado, correspondente à 99,24 % das medidas dentro do limite de  $\pm 0,3$  % comumente imposto nas especificações. Sugere-se que o mesmo tipo de análise seja realizado para outras características de qualidade e que sejam desenvolvidos estudos que relacionem tal variabilidade com o desempenho das misturas em campo.

## REFERÊNCIAS

- BALBO, J. T. Pavimentação Asfáltica. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BURATI, J. L. Revising specification limits of an existing QA specification. In: TRB 84th Annual Meeting, 2005, Washington D.C. Proc... Washington D.C.: TRB, 2005 (1 CD-ROM)
- BURATI, J. L.; WEED, R. M.; HUGHES, C. S.; HILL, H. S. Optimal procedures for quality assurance specifications. Clemson: Clemson University, 2003. (Final Report, FHWA-RD-02-095).
- BUTTS, N. E.; KSAIBATI, K. Asphalt pavement quality control/quality assurance programs in the United States. In: TRB 82th Annual Meeting, 2003, Washington DC Proc... Washington DC:TRB, 2003 (CD-ROM)
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019.



DEACON, J. A.; MONISMITH, C. L.; HARVEY, J. T.; POPESCU, L. Pay factors for asphalt-concrete construction: effect of construction quality on agency costs. Berkeley: University of California, 2001. (Technical Memorandum: tm-ucb-prc-2001-1).

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER-ES-P 16/91: Concreto asfáltico. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 011/2004-PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

\_\_\_\_\_. DNIT 031/2006-ES: Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

FERRI, S. Critérios de aceitação e controle de qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos. 2013. 331 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FORTES, R. M.; MERIGHI, J. V. Controle Tecnológico e Controle de Qualidade – Um Alerta sobre sua Importância. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004, Brasília. Anais... Brasília: Anais do Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004.

FORTES, R. M.; NETO, A. Z.; MENETTI, N. C.; BARBOSA, A. S.; MERIGHI, C. F. A importância do Controle Tecnológico e de Qualidade na Reabilitação de Pavimentos após Intervenção de Concessionárias em São Paulo. In: 36ª Reunião Anual de Pavimentação, 2005, Curitiba. Anais... Curitiba: 36ª Reunião Anual de Pavimentação, 2005. (1 CD-ROM)

LAPIN, L. L. Probability and statistics for modern engineering, 2ª ed. Boston: Pws-Kent, 1990. 810p.

NOGUEIRA, M. L. Avaliação do controle de qualidade de misturas asfálticas e análise do reflexo do nível de qualidade no desempenho dos revestimentos asfálticos. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RUSSELL, J. S.; HANNA, A. S.; NORDHEIM, E. V.; SCHMITT, R. L. Testing and inspection levels for hot-mix asphaltic concrete overlays. Washington D. C.: Transportation Research Board, 2001. (National Cooperative Highway Research Program, Report 447)

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Glossary of Highway Quality Assurance Terms. Washington DC: Transportation Research Board, May 2009. (Transportation Research Board, Number E-C137)

SEBAALY, P. E.; BAZI, G. M. Impact of Construction Variability on Pavement Performance. Nevada: Nevada Department Of Transportation, 2005. Report No: RDT06-004.



## PROPOSTA DE PAVIMENTO RÍGIDO E INTERTRAVADO PARA PROJETO DE TERMINAL DE ÔNIBUS EM JOINVILLE-SC

*Breno Salgado Barra<sup>1</sup>, Yader Alfonso Guerrero Pérez<sup>2</sup>, Alexandre Mikowski<sup>3</sup>,  
Marcelo Heidemann<sup>4</sup>, Helena Paula Nierwinski<sup>5</sup>*

*<sup>1-5</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville,  
breno.barra@ufsc.br, yagcivil@gmail.com, alexandre.mikowski@ufsc.br,  
marcelo.heidemann@ufsc.br, helena.paula@ufsc.br*

### RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é contribuir para a elaboração da solução do projeto de pavimentação do Terminal Universitário de ônibus, a ser implantado na região Norte de Joinville-SC. Neste contexto, as soluções de pavimento rígido e intertravado foram analisadas. Para tanto, o dimensionamento proposto das estruturas de pavimento compreende o uso das metodologias utilizadas no Brasil, a saber: Portland Cement Association (PCA/84) para o pavimento rígido, e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para o pavimento intertravado, considerados para as zonas de plataforma e de manobras, respectivamente. Os materiais constituintes foram especificados com base em estudos já desenvolvidos anteriormente, a partir de materiais provenientes de jazidas localizadas na Região Metropolitana de Joinville, atendo-se este trabalho, portanto, nos critérios de projeto propriamente ditos do terminal mencionado. O estudo do tráfego foi desenvolvido a partir de dados fornecidos por empresas responsáveis pelo transporte coletivo de Joinville. Os resultados obtidos apontam que as soluções projeto adotadas, em que pese o empirismo dos métodos utilizados, são aplicáveis do ponto de vista técnico-ambiental e aportam baixo custo de implantação, devido à especificação de materiais locais oriundos de rejeito de produção industrial e da produção de peças pré-moldadas de concreto pela própria prefeitura municipal.

**PALAVRAS-CHAVE:** terminal de ônibus, pavimento rígido, pavimento intertravado, dimensionamento.

### ABSTRACT

*The main objective of this study is to contribute to the development of the solution of the university bus terminal paving design, to be deployed in the northern region of Joinville-SC. Rigid and interlocked pavement solutions were analyzed. Therefore, the design proposed the pavement structures comprises the use of the methodologies used in Brazil, namely: Portland Cement Association (PCA/84) for the rigid pavement, and the Brazilian Association of Portland Cement (ABCP) for the interlocked pavement, considered for the platform and maneuver areas, respectively. The constituent materials were specified based on former studies, with materials from deposits located in the Metropolitan Region of Joinville, in which this present research approaches the design criteria of the terminal. The traffic study was developed based on data provided by the public transportation companies from Joinville. The results obtained indicate that the solutions adopted, even using empirical methodologies, are technically and environmentally feasible and have low cost of construction, due to specification of local materials provided by industrial waste and and the production of precast concrete parts by the city hall.*

**KEYWORDS:** bus terminal, rigid pavement, interlocked pavement, pavement design.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável (SEPUD, 2020), a cidade de Joinville está localizada no norte do Estado de Santa Catarina,



sendo a sua maior cidade, comportando uma população de 597.658 habitantes, valor estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Neste contexto, tem-se que cerca de 24% da população joinvilense se desloca por meio do ônibus municipal, conforme pesquisa de Origem/Destino realizada pelo Plano de Mobilidade Urbana de Joinville - PlanMOB (PMJ, 2018). Em média, são realizadas 9.032 viagens e atendidos 102.244 usuários diariamente.

Ainda no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC-2), Joinville foi uma das cidades contempladas em 2013 com recursos destinados a obras de infraestrutura na cidade. Desde então, a antiga Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville (IPPUJ), atual SEPUD, tem desenvolvido projetos que preveem a implantação de novos corredores exclusivos para ônibus, novos abrigos para passageiros, e um novo terminal de ônibus na região Norte da cidade, com a utilização dos aportes financeiros feitos à cidade.

Neste contexto, a proposta deste trabalho é colaborar com o desenvolvimento de soluções de projeto de pavimentação para o denominado Terminal Universitário, ainda não implantado até o presente momento, a partir do dimensionamento de estruturas de pavimento rígido e intertravado, capazes de garantir conforto, segurança e economia dos custos de operação aos usuários.

A escolha da solução de pavimentação rígida levou em consideração as características intrínsecas do tráfego que circulará no referido terminal, compreendendo a aplicação de esforços solicitantes estáticos e quase-estáticos nas plataformas de embarque e desembarque. No caso da solução intertravada, verificam-se as manobras geradoras de esforços tangenciais nas alças do terminal, que necessitam de rápida transmissão entre os elementos estruturais, a fim de evitar a concentração de tensões localizadas capazes de provocar movimentações horizontais, verticais e rotacionais, que prejudicam a estanqueidade do pavimento.

## **2. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO TERMINAL UNIVERSITÁRIO**

O local de implantação do Terminal Universitário utilizado como estudo de caso neste trabalho, está situado na Zona Norte da cidade de Joinville, mais especificamente no conjunto de rotatórias que abrangem os Campi da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), conforme delimita a linha azul

tracejada na Figura 1. O referido terminal contará com uma área de aproximadamente 8.752m<sup>2</sup>, sendo prevista a pavimentação de 4.900m<sup>2</sup>.



Figura 1 – Ilustração da área de implantação do terminal universitário de ônibus

Fonte: Autores (2020).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à falta de informações detalhadas em projetos já realizados no local quanto às características do solo natural e do pavimento existente, foi realizada uma prospecção com retroescavadeira no local indicado na Figura 1, para fins de obtenção de um poço de sondagem, identificação da estratigrafia do terreno e coleta de amostras do subleito da área (Figura 2).



Figura 2 – Poço de sondagem e coleta de amostras no local de implantação do terminal

Fonte: Autores (2020)

Das informações coletadas *in situ*, obteve-se a seguinte estratigrafia do terreno local, conforme ilustra a Figura 3.

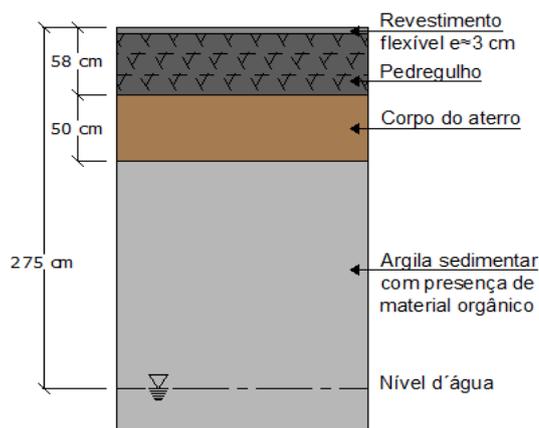


Figura 3 – Estratigrafia do solo natural e do pavimento existente

Fonte: Autores (2020)

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), as condições mínimas que o solo do subleito necessita apresentar é um CBR  $\geq 2\%$  e expansão  $\leq 2\%$ .

Com base nas condições observadas *in situ*, devido à argila de ocorrência local ser considerada de baixa capacidade de suporte, com presença de nível d'água a partir de 2,75 m de profundidade, foi considerado, para efeito de projeto, como possuindo CBR  $\leq 2\%$ . Diante das observações locais quanto ao estado do solo de fundação, foi decidido pela realização da substituição de parte do subleito, até a profundidade de 2,50 m, por um solo de melhor qualidade, considerado como camada de reforço.

Para a referida substituição foram analisados os resultados obtidos por Santos (2015), em que estudou as propriedades de um solo residual de gnaiss, siltoso e expansivo de uma jazida localizada em Joinville-SC, misturado a uma areia descartada de fundição (ADF) proveniente da moldagem de peças, a partir da obtenção de amostras de uma fábrica também localizada na cidade supracitada, considerando os parâmetros dos ensaios de compactação (Proctor) e de índice de suporte Califórnia (CBR) executados nas energias normal e intermediária.

Dos resultados obtidos, tem-se que a adição de ADF não resultou em melhoras significativas no valor do CBR, em relação ao solo em estado natural, pois apenas para uma adição de 70% de ADF no solo, o valor do CBR teve um aumento considerado importante, resultando em 11,72% para energia normal e em 14,87% para a energia intermediária.

Ainda, comparando o solo em estado natural e com a adição de 70% de ADF, a expansão foi reduzida de 1,36% para 0,7% na energia normal e de 2,03% para 0,2% na



energia intermediária. Entretanto, ainda que a ADF necessite de forte percentual para aportar valores tecnicamente adequados de resistência ao solo estudado após a compactação, a sua viabilidade econômica se explica pela ausência de custo na aquisição, em razão de tratar-se de material oriundo de rejeito de produção industrial, em que há interesse da empresa produtora em fornecê-lo em larga escala, para fins de diminuição de custos com os procedimentos de destinação final

Logo, o material descrito poderá ser utilizado como substituição do solo natural, pois atende às condições mínimas propostas pelo DNIT (2006). Para este projeto foi considerado o solo aplicado com 70% de adição de ADF na energia normal de compactação.

Para as camadas de sub-base e base das estruturas de pavimento, sendo esta última aplicada apenas à solução intertravada, foram analisados os estudos prévios de Machado (2015) (brita graduada e areia de assentamento) e Almeida (2015) (saibro arenoso), provenientes de jazidas localizadas na região metropolitana de Joinville.

O saibro arenoso possui composição basicamente formada por pedregulhos (69,25%) e areia (27,78%), em que durante a determinação dos limites de consistência, iniciada pelo limite de plasticidade do solo, verificou-se a classificação como não plástico (NP), pois era muito quebradiço e impossibilitou a moldagem do cilindro padrão. Para a massa específica real dos grãos foi obtido um valor de 2,890g/cm<sup>3</sup>. Os ensaios de compactação Proctor, CBR e expansão da ocorrência também foram analisados (Tabela 1).

*Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos da amostra de saibro arenoso*

<b>Energia Proctor</b>	<b>Normal</b>	<b>Intermediária</b>	<b>Modificada</b>
Densidade seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,671	1,771	1,837
Umidade ótima (%)	16,6	14,4	12,1
CBR (%)	17,68	35,07	57,97
Expansão (%)	0,04	0,09	0,07

Fonte: Almeida (2015)

Neste contexto, em razão do Terminal Universitário receber cargas concentradas, principalmente nas paradas dos ônibus nas plataformas e no estacionamento, foi necessário verificar a suscetibilidade aos esforços mecânicos do saibro. Este procedimento também realizado por Almeida (2015), a partir do ensaio de índice de desgaste após compactação Marshall sem ligante (IDm), consiste em determinar o desgaste percentual entre a granulometria antes e após a compactação. O resultado do ensaio foi de 7,7%, estando dentro do limite requerido por normatização (DNER-ME 401, 1999), onde o índice de desgaste



após a compactação Marshall sem ligante deve ser  $\leq 8\%$ . Para este projeto, foi adotado o uso do saibro arenoso compactado em campo à energia intermediária para a camada de sub-base.

Para a camada de base do pavimento intertravado, em razão de não haver esta camada para pavimentos rígidos, pois o revestimento em concreto de cimento Portland já se ocupa desta função, também foram realizados ensaios de compactação Proctor, CBR e granulometria.

No ensaio de compactação na energia modificada foi determinada a umidade ótima de 6,28%, e massa específica seca máxima de 2,320g/cm<sup>3</sup>. Para o ensaio de CBR, com um corpo de prova compactado sob energia modificada na umidade ótima especificada, obteve-se o valor de 100%, com expansão de 0%, atendendo à especificação mínima de CBR  $\geq 80\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$ . A curva granulométrica do material disponível se enquadrou na faixa A (DNIT-ES 139, 2010).

A areia analisada para a camada de assentamento é gerada por uma empresa especializada na reciclagem de resíduos da construção civil, que produz agregados para utilização em diversas áreas, como areias para colchão de assentamento para pavimentos intertravados, recebendo a denominação de Areia Reciclada Mista (ARM), pois é obtida a partir da reciclagem de material de segunda categoria, que são resíduos de telhas, tijolos, blocos pré-moldados, argamassas e pisos de concreto ou cerâmico.

Quanto às especificações para a camada de assentamento, Carvalho (1998) afirma que a areia deve ser composta por no máximo 10% de material retido na peneira de 4,8 mm, e recomenda o enquadramento da areia na faixa granulométrica da Tabela 2, que apresenta também os resultados encontrados por Machado (2015) no ensaio de granulometria da ARM especificada para este projeto, que corroboram a utilização do material à função prevista tanto na estrutura do pavimento como no colchão de areia a 2,50 m de profundidade, em razão das explicações já discutidas anteriormente.



Tabela 2 – Percentual passante de ARM comparando com a faixa granulométrica recomendada

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Granulometria da ARM</b>	<b>Faixa granulométrica de referência Carvalho (1998)</b>
9,5	100	100
4,8	98,2	95 a 100
1,2	56,59	50 a 85
0,6	39,88	25 a 60
0,3	25,15	10 a 30
0,15	9,22	5 a 15
0,075	2,99	0 a 10

Fonte: Machado (2015)

No que diz respeito aos materiais destinados ao revestimento da solução de pavimentação intertravada, na área de manobra dos veículos, foi considerado o estudo desenvolvido por Carnin *et al.* (2010), em que pesquisaram as propriedades de um *paver* (PPC) formulado com a utilização da mesma areia descartada de fundição (ADF) utilizada no tratamento do solo de reforço do subleito, tendo atingido uma resistência à compressão simples após 28 dias de 35,91 MPa. Logo, podem ser utilizados em pavimentos intertravados, de acordo com a norma brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 9781, 2013), pois atendem o limite mínimo de resistência à compressão de 35 MPa.

Quanto ao revestimento em concreto de cimento Portland considerado para a solução de projeto da área correspondente à plataforma de embarque e desembarque de passageiros, foi utilizada a dosagem estabelecida no estudo de Barra e Lima Jr. (2001), em que determinaram o traço do concreto baseado na solução de um pavimento rígido construído em Memphis, Tennessee, conforme as seguintes especificações: traço unitário do concreto (1:2:3); relação de água/cimento (0,50); consumo de cimento (369 kg/m<sup>3</sup>) e consumo de fibra de polipropileno (0,63 kg/m<sup>3</sup>).

Nesta dosagem foram incorporadas fibras de Polipropileno (PP), pois o comportamento dúctil destes materiais impede que as trincas se propaguem rapidamente na estrutura do concreto. A Tabela 3 apresenta a média dos resultados dos ensaios executados para 50 corpos de prova testados aos 28 dias, período no qual o concreto já atingiu praticamente a sua resistência limite.



Tabela 3 – Resultados dos ensaios de ruptura do corpo de prova aos 28 dias

<b>Tipo do Ensaio</b>	<b>Resultados (MPa)</b>
Compressão Simples	35 a 40
Compressão Diametral	3,0 a 3,7
Tração na Flexão	4,5 a 5,0

Fonte: Barra e Lima Jr. (2001)

De posse do resultado da Tabela 4, a resistência característica à tração na flexão ( $f_{ctM,k}$ ) adotada no projeto do pavimento foi de 4,5MPa aos 28 dias, em razão de todos os corpos de prova terem atingido este valor, estando dentro do limite mínimo recomendado pelo DNIT (2005) em projetos de pavimentos rígidos, com base no método da Portland Cement Association (PCA/84).

#### **4. DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE PAVIMENTO**

Com base nos estudos prévios dos materiais apresentados na seção anterior, tem-se que o projeto de pavimentação proposto considera a solução intertravada nas áreas de manobra, pois estão sujeitas a esforços tangenciais frequentes, que são mais facilmente dissipados pelas pequenas dimensões e intertravamento das peças pré-moldadas de concreto (PPC).

Ainda, possui fácil manutenção, pois as peças podem ser retiradas pontualmente para reparo, sem comprometer o restante do arranjo estrutural. Além disso, o pavimento rígido nestas condições de esforços tangenciais contínuos estaria sujeito a uma ruptura precoce das placas de concreto, devido ao cisalhamento ocasionado nas barras de transferência de carga quando expostos a esforços oriundos de várias direções.

No caso das plataformas de embarque e desembarque de passageiros, a solução adotada é a de pavimento rígido, pois estará sujeito a carregamentos quase estáticos e estáticos, devido aos movimentos de aceleração e frenagem retilíneos dos ônibus nestes locais, sendo o pavimento rígido o mais indicado para estas situações, por possuir elevada resistência e baixa suscetibilidade térmica.

A Figura 4 ilustra o estudo dos movimentos da frota circulante que foram levados em conta para o estabelecimento das soluções de pavimentação citadas.

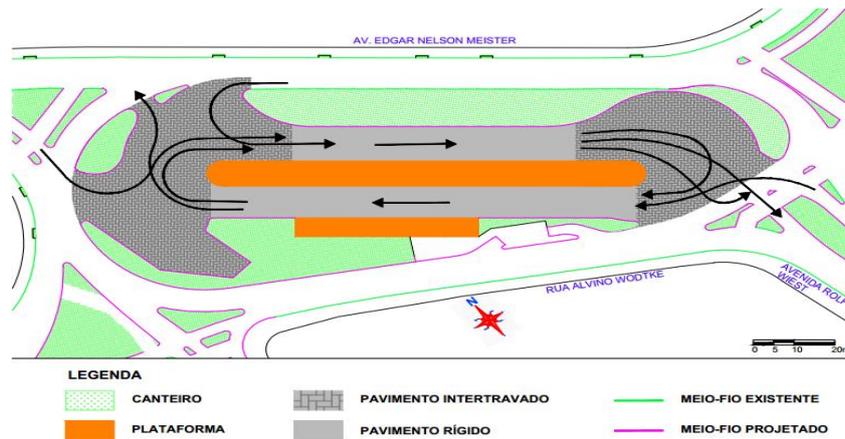


Figura 4 – Planta baixa de movimentação da frota circulante no terminal

Fonte: Autores (2020)

Os estudos de tráfego levaram em conta as características da região que abastecerá as matrizes de origem e destino do terminal universitário. Para tanto, foram consultadas as empresas atuantes no transporte coletivo de passageiros em Joinville, a fim de determinar o número de viagens diárias que abrangerão a rota do terminal. Da apuração dos dados (SEPUD, 2020), o número de viagens diárias de ônibus previstas para o Terminal Universitário será de 374, sendo 185 chegadas e 189 partidas. Além disso, a renovação da frota de ônibus foi considerada a uma taxa de crescimento aritmético de 1,60%, para um período de projeto de 30 anos. Depreendeu-se deste estudo um número de operações (N) do eixo padrão equivalente simples de roda dupla (ESRD), de 8,2tf, da ordem de  $4,82 \times 10^6$ .

Os métodos de dimensionamento utilizados para os projetos de pavimentação intertravada e rígida foram o Estudo Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP-ET n°27, 1998), e PCA/84 (DNIT, 2005), respectivamente. As estruturas de pavimento projetadas para cada caso são ilustradas nas Figuras 5 e 6.

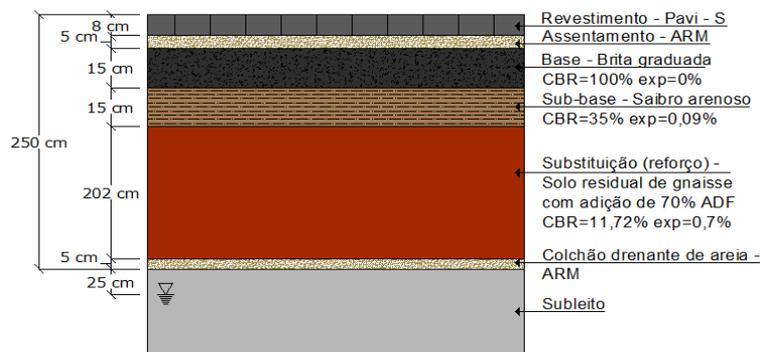


Figura 5 – Estrutura dimensionada para a solução de pavimentação intertravada

Fonte: Autores (2020)

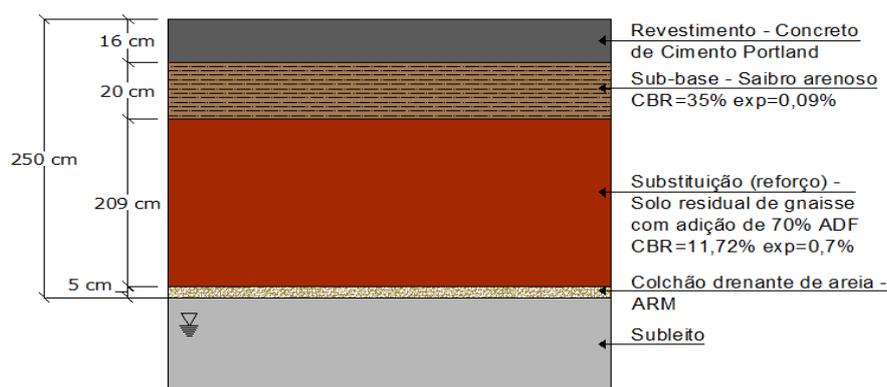


Figura 6 – Estrutura dimensionada para a solução de pavimentação rígida

Fonte: Autores (2020)

Quanto ao projeto de juntas do pavimento rígido, tem-se que foram previstas juntas longitudinais e transversais, além de juntas de encontro na interface da superfície de rolamento com as plataformas de embarque e desembarque.

As juntas transversais foram consideradas a cada de 3,5 m, ou seja, dentro do limite máximo recomendado por norma de 6,0 m, e levando em conta a geometria de 5,5 m de comprimento da frota característica de ônibus, visando não haver mais de um eixo solicitando a mesma placa simultaneamente, diminuindo o momento fletor atuante nas placas e melhor distribuição do carregamento. As barras de transferência de carga especificadas são lisas, engraxadas na metade (+ 2,0cm) de seu comprimento total projetado com aço CA-25, com uma bitola de 20,0 mm, comprimento de 46,0 cm e espaçadas a cada 30,0cm, de acordo com as especificações da metodologia adotada (DNIT, 2005) para espessuras de placas com até 17,0 cm de espessura.

Para as juntas longitudinais, as barras de ligação projetadas são corrugadas, em aço CA-50, com bitola de 10,0 mm, comprimento de 80,0 cm e espaçadas a cada 30,0 cm. Neste caso, a face lateral das placas de concreto devem ser moldadas com endentação de encaixe macho-fêmea a uma razão de 2:1, na seção média da placa.

No que tange às juntas de encontro, deverão ser executadas em torno de todo o pavimento rígido, pois possuem encontro com as plataformas, meio-fio e com o pavimento intertravado, como pode ser observado na Figura 4. As juntas de encontro não possuem barras de transferência de carga e nem de ligação, apenas são preenchidas por materiais compressíveis, pois poderiam forçar a ocorrência de trincas, impedindo sua movimentação, principalmente por causa da retração volumétrica do concreto à noite.



Para os selantes das juntas foi adotada a emulsão asfáltica de ruptura rápida RR-1C para as juntas transversais e longitudinais, caracterizada como selante vazado a frio. A adoção da emulsão tem por objetivo proporcionar um comportamento viscoelástico à estrutura das juntas, capaz de resistir aos esforços cortantes existentes entre as placas, bem como de retração térmica no transcurso da vida útil do pavimento, sem que ocorram trincamentos.

Para garantir que não ocorra o vazamento da emulsão para as camadas inferiores, foi especificado um perfil com madeira acácia, por ser uma madeira durável, resistente, fácil de trabalhar, flexível e que não transmite calor. E como material compressível foi escolhido a corda de juta, por ser uma fibra vegetal resistente e leve. Para serragem das juntas, foi especificada a profundidade de 1/3 da espessura da placa, com serra de disco diamantado, nas primeiras idades do concreto, com abertura de 3,0 mm.

## 5. CONCLUSÕES

A adoção da areia descartada de fundição (ADF) para composição do material de substituição do subleito e das peças pré-moldadas de concreto, bem como da areia reciclada mista (ARM) para constituição da camada de assentamento das peças pré-moldadas de concreto (PPC) e do colchão de areia drenante, além de atenderem aos requisitos e normas dos materiais para cada camada, contribuem para a preservação do meio ambiente, diminuindo a poluição, reduzindo a utilização de recursos naturais e a necessidade de áreas de bota-fora para descarte e armazenamento destes materiais.

Mesmo os volumes substituídos do solo local, tornam a solução proposta possível de ser utilizada, pois não é necessário dispor de uma extensa área de bota-fora para alocar o material escavado, bem como apenas 30% de solo de jazida natural precisará ser extraído, pois 70% da composição da camada de reforço prevista é proveniente de ADF, que constitui resíduo industrial atualmente sem destinação em larga escala para reaproveitamento.

Além disso, as PPC estudadas com ADF na sua composição, podem ser obtidas através de uma parceria da indústria fornecedora com a Prefeitura Municipal de Joinville, que dispõe de toda a infraestrutura para a fabricação dos *pavers*, gerando benefícios a ambas, principalmente à Prefeitura com a redução de custos da obra.



## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 9781, **Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio** – 2013. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ.

ALMEIDA, D. P. de, **Solução do projeto de pavimento rígido: estudo de caso: corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau – Joinville/SC** – 2015. 104 p. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville/SC.

BARRA, B. S. e LIMA JR., U. M. (2001), **Reabilitação de pavimentos flexíveis, utilizando a técnica over-lay ultra-thin Whitetopping pavement – Pista experimental: Campus UNAMA Alcindo Cacela** – 2001. Vols. I e II. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade da Amazônia. Belém, PA.

CARNIN et al., Desenvolvimento de peças de concreto (*Paver*) contendo areia descartada de fundição para pavimento Intertravado – 2010. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro, Ano V, p. 56 - 67.

CARVALHO, M. D. de, **Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4ª ed. São Paulo: ABCP, 1998. Estudo Técnico, vol. 27.

DNER-ME 401, **Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – ID<sub>ML</sub> e sem ligante – ID<sub>M</sub>** – 1999. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ES 139, **Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente** – 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT, **Manual de pavimentação** – 2006. 3ª Ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 278 p. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT, **Manual de pavimentos rígidos** – 2005. 2ª Ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 238 p. Rio de Janeiro, RJ.

IBGE, **Santa Catarina/Joinville** - 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Acesso em setembro de 2020.

MACHADO, R., **Estudo aplicado da solução de projeto de pavimentação para pátio de estacionamento de ônibus** - 2015. 95 p. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville/SC.

PMJ, **Plano de Mobilidade Sustentável (PlanMOB)** – 2020. 42 p. Prefeitura Municipal de Joinville.

SANTOS, L. C. dos, **Estudo da estabilização de um solo expansivo através da incorporação de areia verde de fundição residual** – 2015. 80 p. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville/SC.

SEPUD, **Joinville: Cidade em Dados** – 2018. Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/institucional/sepud/>. Acesso em setembro de 2020.



# ANÁLISE DE MODELOS PARA PREVISÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COMPACTO COM ROLO

*Hedelvan Emerson Fardin<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina, hedelvan@gmail.com*

## RESUMO

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um material bastante empregado em obras de pavimentação, comumente comparado ao Concreto Convencional (CC). Embora, a tecnologia do CC seja bem desenvolvida e capaz de prever propriedades através de modelos matemáticos, o mesmo não se aplica ao CCR. Ademais, sob a perspectiva dos métodos empíricos-mecanicistas de dimensionamento de pavimentos, os materiais precisam ser caracterizados com intuito de representar seu desempenho em campo. Todavia, o Brasil ainda carece de investimentos em infraestrutura para analisar toda demanda técnica para execução de obras, assim como, dependendo do projeto, o orçamento não abrange tantos recursos para caracterização dos materiais em etapas iniciais. Portanto, seria viável a utilização de modelos confiáveis para estimar algumas propriedades mecânicas do material, sem que houvesse a necessidade de realizar tantos ensaios laboratoriais no anteprojeto. Isso pouparia tempo e recursos. Com o objetivo geral de analisar modelos de previsão de propriedades mecânicas que podem ser aplicados a misturas de CCR brasileira, foram selecionadas misturas de CCR e modelos preditores para comparar resultados teóricos e laboratoriais. Ficou evidente que, dependendo da mistura ou da propriedade mecânica estimada, os modelos selecionados não resultam em valores confiáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto compactado com rolo, propriedade mecânicas, modelos preditivos.

## ABSTRACT

*Roller Compacted Concrete (RCC) is a material widely used in paving works, commonly compared to Conventional Concrete (CC). Although, the CC technology is well developed and capable to predict properties through mathematical models, the same does not apply to the RCC. Furthermore, from the perspective of the empirical-mechanistic methods of pavement design, the materials need to be characterized to represent their performance in the field. However, Brazil still lacks investments in infrastructure to analyze all the technical demands for the execution of constructions, as well as, depending on the project the budget does not include so many resources for characterizing the materials on initial design steps. Therefore, it would be feasible to use reliable models to estimate some mechanical properties of the material, without the need to perform so many laboratory tests on the preliminary design. This would save time and resources. With the main objective of analyzing predictive models of mechanical properties that can be applied to mixtures of Brazilian RCC, mixtures of RCC and predictive models were selected to compare theoretical and laboratory results. It was evident that, depending on the mixture or the estimated mechanical property, the selected models does not result in reliable values.*

**KEYWORDS:** Roller compacted concrete, mechanical properties, predictive models.

## 1. INTRODUÇÃO

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um material com determinada versatilidade para aplicação em obras hidráulicas e de pavimentação. Com vistas à



pavimentação, o material pode ser empregado em camadas de sub-base, base e revestimento de rodovias ou vias urbanas, dependendo das propriedades mecânicas e o atendimento às normas vigentes de pavimentação.

O desempenho do CCR está bastante ligado às propriedades físicas e mecânicas dos agregados que o compõem, bem como à proporção de materiais da mistura, especialmente na quantidade de água empregada. Em comparação ao Concreto Convencional (CC), o CCR apresenta um baixo consumo de ligante e, proporcionalmente, um teor de água reduzido para alcançar resistências equiparáveis ao CC de mesmo consumo de cimento, sob a ação externa de compactação.

Se observado o método empírico-mecanicista de dimensionamento de pavimentos, sob fase de implantação no Brasil, poderá ser percebido que, para se empregar uma mistura de CCR como novo material em uma seção de pavimentos, alguns ensaios mínimos de laboratório precisam ser realizados: resistência à tração na flexão aos 28 dias, ensaio de fadiga, módulo de ruptura ou módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e massa específica, como apontam Franco e Motta (2018). Nesse contexto, embora necessário, a realização de todos os ensaios pode estar fora do contexto de algumas realidades brasileiras quando consideradas as etapas de anteprojeto ou mesmo a falta de recursos técnicos e financeiros para a execução de todos os ensaios em análises preliminares.

Levando-se em consideração que o CC tem alguns modelos recomendados por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como exemplo a Norma Brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), poder-se-ia empregar modelos matemáticos capazes de prever propriedades mecânicas do CCR sem que seja necessária a execução de todos os ensaios. Portanto, o objetivo principal deste estudo é analisar modelos de previsão de propriedades mecânicas que podem ser aplicados a misturas de CCR brasileiras.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O CCR não apresenta abatimento no ensaio de tronco de cone, em seu estado fresco, portanto é considerado um tipo de concreto seco. Para atingir as resistências de projeto, há a necessidade de compactá-lo com uso de rolos compressores ou vibratórios até se atingir a altura da camada e por consequência, as propriedades mecânicas requeridas à obra (VALENCIA, 1999; HARRINGTON *et al.*, 2010; MEDINA; MOTTA, 2015). O método construtivo em si apenas é passível de execução se o material for seco o suficiente para



suportar o peso do rolo compactador e úmido o bastante para aceitar sua espalhabilidade (HARRINGTON *et al.*, 2010; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Muito similar ao CC, o CCR apresenta um volume de agregados próximo a 80% do volume total de materiais da mistura (VALENCIA, 1999; HARRINGTON *et al.*, 2010; RAO *et al.*, 2016). Isso infere que a produção desse tipo de concreto requer uma grande quantidade de agregados e ao se refletir sobre as questões ambientais de exploração e uso de agregados naturais, a pauta de emprego de agregados reciclados como insumo para materiais de pavimentação fica em evidência e vai de encontro às recomendações de Balbo (2007) e Bernucci *et al.* (2008). Quanto aos outros insumos necessários para produção de CCR, não há uma grande diferença daqueles utilizados para CC: água, cimento Portland e eventualmente, algum aditivo ou adição mineral (VALENCIA, 1999; SENÇO, 2008; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Além disso, segundo Bernucci *et al.* (2008), o CCR destaca-se dentre os materiais estabilizados frequentemente empregados em obras brasileiras de pavimentação nas camadas de reforço de subleito, sub-base e base. Todavia, a depender do consumo de cimento da mistura e do tráfego da via, o CCR pode vir a ser empregado como revestimento. Quando empregado na camada de base, para constituição de uma seção de pavimento semirrígido (BALBO, 2007), a capacidade de suporte do pavimento é otimizada, haja vista que não apenas a camada de revestimento precisa resistir aos esforços de tração e tal solicitação decorrente do tráfego pode ser redistribuída entre as camadas de base e revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2008; RITH *et al.*, 2018).

Atualmente, está em fase de implantação no Brasil, um método de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos, nomeado como Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa). O *software* MeDiNa é bastante intuitivo e de fácil utilização, mas como todo método, tem suas peculiaridades. Por exemplo, ao se dimensionar uma seção de pavimento semirrígido, utilizando materiais além do banco de dados próprios, há de se realizar ensaios de caracterização dos materiais a serem incluídos na seção de pavimento. Consoante a Franco e Motta (2018), no caso do CCR, minimamente deve-se informar o coeficiente de Poisson do material, massa específica, resistência à tração na flexão aos 28 dias, módulo de ruptura e os coeficientes do modelo de fadiga.

A partir disso, a depender da estrita impossibilidade de realização de alguns ensaios de caracterização do material, poderiam ser utilizados alguns modelos capazes de estimar com segurança tais propriedades. Se pensar no caso no CC, a NBR 6118 (ABNT, 2014) permite que sejam adotados valores para resistência à tração direta do concreto de classe de resistência de até 50 MPa, através da Equação 1, quando é inviável a execução do ensaio. Além disso, pode-se citar também os modelos propostos pelo *American Concrete Institute* (ACI) através das recomendações 363R-92 (ACI, 1997) e 318-99 (ACI, 1999), respectivamente para estimar a resistência à tração na flexão (Equação 2) e a resistência à tração por compressão diametral (Equação 3).

Não há, por exemplo, uma similaridade de estimativas para o CCR em normas brasileiras. Todavia, em alguns estudos encontram-se modelos preditivos que foram ajustados às particularidades do CCR, os quais podem ser de bom proveito. Chhon *et al.* (2018) estudaram a relação entre a resistência à compressão e a resistência à tração do CCR e propuseram três diferentes modelos de previsão: para estimar a resistência à tração por compressão diametral ( $f_{sp}$ ), com coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,62$  e média quadrática do erros,  $MSE = 0,062$  (Equação 4); para estimar a resistência à tração na flexão ( $f_r$ ), considerando o tempo, em dias do ensaio ( $d$ ), com  $R^2 = 0,72$  e  $MSE = 0,058$  (Equação 5); e para prever a resistência à tração na flexão sem considerar o tempo de cura do concreto, com  $R^2 = 0,59$  e  $MSE = 0,07$  (Equação 6). Os modelos supracitados encontram-se sumarizados na Tabela 1.

Tabela 19 – Equações para estimativa de propriedades do CC e CCR a partir da resistência à compressão

Número da equação	Modelo	Aplicação original	Fonte
1	$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$	CC	ABNT (2014)
2	$f_r = 0,94 \cdot f_{ck}^{0,5}$	CC	ACI (1997)
3	$f_{sp} = 0,56 \cdot f_{ck}^{0,5}$	CC	ACI (1999)
4	$f_{sp} = 0,47 \cdot f_{ck}^{0,511}$	CCR	Chhorn et al. (2018)
5	$f_r = 1,143 \cdot f_{ck}^{0,369} \cdot d^{0,11}$	CCR	Chhorn et al. (2018)
6	$f_r = 0,678 \cdot f_{ck}^{0,605}$	CCR	Chhorn et al. (2018)

Nota:  $f_{ct,m}$  é a resistência a tração direta média do concreto, em MPa;  $f_{ck}$  é a resistência à compressão característica do concreto, em MPa.

Cabe ressaltar aqui, que a Equação 1 também corresponde ao modelo proposto pelo *Comité Euro-Internacional du Béton* (CEB) e *Fédération Internationale de la Précontrainte* (FIP) de 1990. Ademais, é compreensível que os modelos matemáticos das Equações 1, 2 e



3 não foram ajustados para CCR, mas é interessante verificar sua aplicabilidade para esse tipo de concreto, ao se considerar que autores como Mehta e Monteiro (2014) reiteram que não há expressivas diferenças de propriedades mecânicas ou de relações das propriedades mecânicas entre o CC e CCR.

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa, de caráter quantitativo, estruturou-se em quatro etapas: identificação de modelos matemáticos utilizados para estimar propriedades mecânicas do CC; identificação de modelos ajustados para estimativa de propriedades mecânicas do CCR; seleção de misturas brasileiras de CCR para aplicação dos modelos matemáticos; comparação dos resultados obtidos através dos modelos e dos ensaios laboratoriais consoantes a cada pesquisa.

Quanto às misturas de CCR de pesquisas brasileiras, foram selecionadas aquelas que apresentavam CCR com realização concomitante, aos 28 dias, dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão. Nesse contexto, foram selecionadas as misturas de Toffolo (2015), Borré (2017) e Fardin e Santos (2020).

As misturas de Toffolo (2015) foram produzidas com 280 kg/m<sup>3</sup> de cimento CP-V-ARI sob a energia de compactação normal de Proctor. A mistura T1 foi composta apenas com agregados naturais, enquanto a T2 foi composta com escória de aciaria Linz-Donavitz em substituição aos agregados naturais e a mistura T3 com escória de aciaria elétrica em substituição aos agregados naturais.

As misturas de Borré (2017) foram identificadas nesta pesquisa com o prefixo “B”. As misturas B1, B2 e B3 foram produzidas com consumo de cimento CP-II-F 32 igual a 100 kg/m<sup>3</sup> e substituição, em massa, do agregado graúdo natural por *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) às taxas de 0%, 15% e 30%, respectivamente. Já as misturas B4, B5 e B6 foram produzidas com o mesmo tipo de cimento de B1, B2 e B3, mas com consumo igual a 150 kg/m<sup>3</sup> e substituição da fração graúda dos agregados naturais por RAP às taxas de 0%, 15% e 30%, respectivamente.

As misturas FS referem-se à pesquisa de Fardin e Santos (2020). Elas foram produzidas com cimento CP-V-ARI, de consumo igual a 200 kg/m<sup>3</sup> e os agregados graúdos naturais foram substituídos, em massa, pelas porcentagens de 0%, 5%, 15% e 30% de

Agregado Reciclado de Concreto (ARC), respectivamente, resultando nas misturas FS1, FS2, FS3, FS4.

Sumariamente, as propriedades físicas e mecânicas dessas misturas estão apresentadas na Tabela 2, na qual estão listadas as Resistências à Compressão (RC), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTD) e Resistência à Tração na Flexão (RTF).

Tabela 20 - Misturas brasileiras de CCR selecionadas no estudo

Mistura	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado reciclado (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)	Energia de compactação	RC (MPa)	RTD (MPa)	RTF (MPa)
B1	100	0	2,188	5,45	Intermediária	8,20	0,82	1,12
B2	100	15	2,250	5,00	Intermediária	9,21	1,05	1,12
B3	100	30	2,196	6,00	Intermediária	6,17	0,77	0,87
B4	150	0	2,236	5,55	Intermediária	16,27	2,27	1,96
B5	150	15	2,304	5,75	Intermediária	12,78	1,94	1,90
B6	150	30	2,218	6,00	Intermediária	11,69	1,67	1,92
T1	280	0	2,440	8,10	Normal	35,13	2,38	3,50
T2	280	100	2,820	7,40	Normal	30,42	2,35	3,42
T3	280	100	3,070	8,20	Normal	42,29	2,92	3,90
FS1	200	0	2,309	9,00	Intermediária	16,72	1,96	3,82
FS2	200	5	2,290	9,20	Intermediária	18,65	2,03	3,35
FS3	200	15	2,204	9,60	Intermediária	17,97	1,96	3,78
FS4	200	30	2,203	10,20	Intermediária	15,71	2,12	2,99

Fonte: Adaptado de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

#### 4. RESULTADOS

Ao utilizar os valores de resistência à compressão das misturas apresentadas na Tabela 2 para calcular os possíveis resultados de resistência à tração do CCR, através dos modelos das equações 1, 3 e 4, pode-se evidenciar os resultados apresentados na Tabela 3 e Figura 1. Para efeitos comparativos, foi tomado como referência os valores de RTD obtidos no ensaio de tração por compressão diametral das misturas. Além disso, foi calculada a porcentagem que os resultados obtidos pelos modelos representava em relação ao valor aferido laboratorialmente. Portanto, os valores numéricos apresentados nas colunas Eq.1/RTD, Eq.3/RTD e Eq.4/RTD representam essas porcentagens. Percebe-se que os valores de

resistência à tração por compressão diametral são superestimados, através de quaisquer dos modelos utilizados em relação às misturas B1, B2, B3, T1, T2 e T3.

*Tabela 21 - Valores de RTD estimados para as misturas de CCR*

Mistura	RTD (MPa)	RTD Eq. 1 (MPa)	RTD Eq. 3 (MPa)	RTD Eq. 4 (MPa)	Eq. 1/ RTD (%)	Eq.3/ RTD (%)	Eq. 4 / RTD (%)
B1	0,82	1,22	1,60	1,38	149	196	168
B2	1,05	1,32	1,70	1,46	126	162	139
B3	0,77	1,01	1,39	1,19	131	181	155
B4	2,27	1,93	2,26	1,95	85	100	86
B5	1,94	1,64	2,00	1,73	85	103	89
B6	1,67	1,55	1,91	1,65	93	115	99
T1	2,38	3,22	3,32	2,90	35	139	122
T2	2,35	2,92	3,09	2,69	124	131	115
T3	2,92	3,64	3,64	3,18	125	125	109
FS1	1,96	1,96	2,29	1,98	100	117	101
FS2	2,03	2,11	2,42	2,10	104	119	103
FS3	1,96	2,06	2,37	2,06	105	121	105
FS4	2,12	1,88	2,22	1,92	089	105	91

Fonte: com base nos resultados experimentais de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

Também pode ser definido que dentre os modelos, a Equação 3, proposta pelo ACI (1999), é o que mais distoia em relação à propriedade aferida. Portanto, a utilização desse modelo para estimar o valor de resistência à tração do CCR a partir do valor observado de resistência à compressão não é recomendada, pois ele tende a superestimar essa propriedade mecânica. Com exceção, é claro, do valor calculado através desse modelo para o CCR B4, em que foi aferida a RTD igual a 2,27 MPa e pelo modelo foi estimado o valor de 2,26 MPa. Outrossim, pode-se também evidenciar que as Equações 1 (ABNT, 2014) e 4 (CHHORN *et al.*, 2018), resultaram em valores bastante próximos entre si para as misturas B4, FS1, FS2, FS3 e FS4.

De forma análoga aos resultados para previsão de RTD, os resultados de RTF e as estimativas pelos modelos selecionados estão apresentados na Tabela 4 e Figura 2. Logo, para composição dessa tabela, foram tomados como referência os resultados de RTF aferidos em laboratório das misturas e calculada a porcentagem estimada através dos modelos, constituindo assim, as colunas Eq.2/RTF, Eq.5/RTF e Eq.6/RTF.

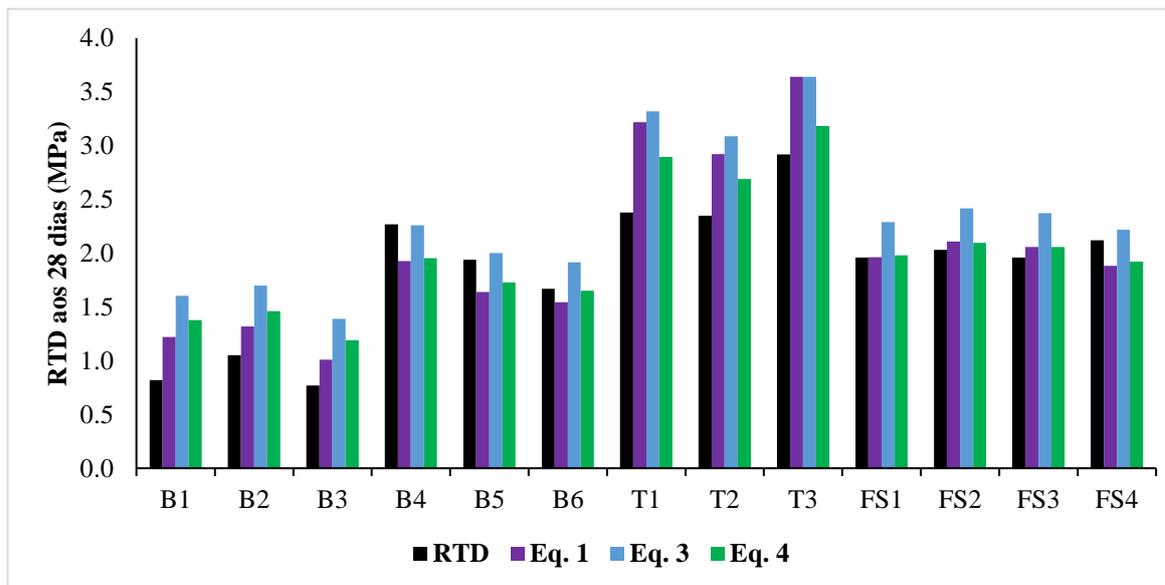


Figura 1 - Comparativo de valores de RTD para as misturas de CCR

Tabela 22 - Valores de RTF estimados para as misturas de CCR

Mistura	RTF (MPa)	RTF Eq. 2 (MPa)	RTF Eq. 5 (MPa)	RTF Eq. 6 (MPa)	Eq. 2/ RTF (%)	Eq. 5/ RTF (%)	Eq. 6 / RTF (%)
B1	1,12	2,69	3,58	2,42	240	320	216
B2	1,12	2,85	3,74	2,60	268	371	234
B3	0,87	2,33	3,23	2,04	193	235	187
B4	1,96	3,79	4,62	3,67	255	334	232
B5	1,90	3,36	4,22	3,17	177	222	167
B6	1,92	3,21	4,09	3,00	167	213	156
T1	3,5	5,57	6,13	5,84	159	175	167
T2	3,42	5,18	5,81	5,35	152	170	157
T3	3,9	6,11	6,57	6,53	157	168	168
FS1	3,82	3,84	4,66	3,73	101	122	98
FS2	3,35	4,06	4,85	3,98	121	145	119
FS3	3,78	3,98	4,79	3,89	105	127	103
FS4	2,99	3,73	4,56	3,59	125	152	120

Fonte: com base nos resultados experimentais de Toffolo (2015); Borré (2017); Fardin e Santos (2020).

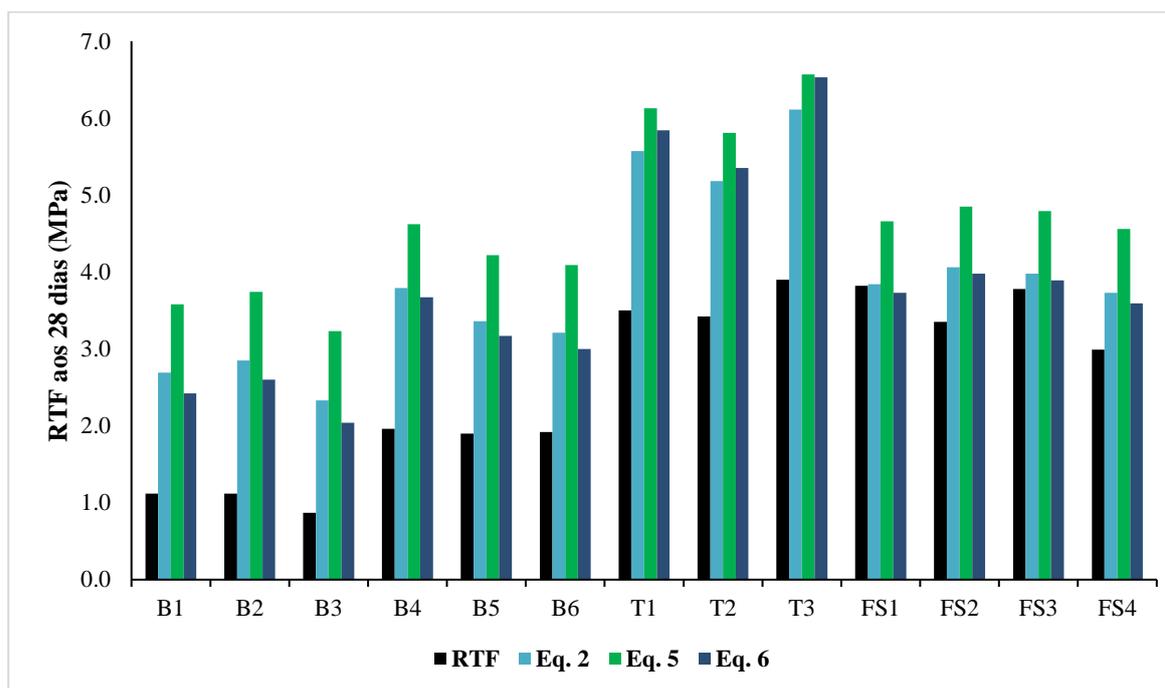


Figura 27 - Comparativo de valores de RTF para as misturas de CCR

O modelo proposto por Chhorn *et al.* (2018), Equação 5, que leva em consideração o tempo de cura do CCR foi o que apresentou maiores valores de RTF aos 28 dias para as misturas selecionadas. A exemplo, se observada a mistura B2, em que o resultado obtido pelo modelo de previsão representou 371% do valor de RTF aferido laboratorialmente. Portanto, dentre os modelos citados, esse é o menos indicado para previsão dessa propriedade mecânica.

De modo geral, os modelos das Equações 2 e 6, indicados pelo ACI (1997) e por Chorn *et al.* (2018), respectivamente pouco diferem entre si para estimar a RTF das misturas de CCR. Todavia, como já mencionado todos eles superestimam tal propriedade desse tipo de concreto. Além disso, no caso das misturas com consumo de cimento igual a 200 kg/m<sup>3</sup>, essa diferença entre os valores preditos pelas Equações 2 e 6 não é tão distante dos valores aferidos em laboratório, como ocorre nas outras misturas.

## 5. CONCLUSÕES

Embora seja de extrema importância verificar as propriedades mecânicas dos materiais para os devidos projetos, em algumas situações não há recursos financeiros, tempo hábil ou mesmo desenvolvimento tecnológico suficiente para fazê-lo, especialmente no anteprojeto.



Nessa perspectiva, a estimativa de valores de resistências seria um aliado do profissional. Além disso, para o CC há modelos matemáticos que são utilizados em diversos momentos para prever, por exemplo, o módulo de elasticidade do material ou mesmo a resistência à tração dele. Em contrapartida, para o CCR esta “usabilidade” não é muito evidenciada tendo em vista que os diversos estudos acerca do material ajustam, quando o fazem, modelos de regressão que representam o comportamento das misturas daquelas pesquisas e que não podem ser aplicados a outras misturas.

Logo, essa pesquisa analisou modelos viáveis de serem aplicados a diferentes misturas de CCR brasileiras, inclusive com a utilização de resíduos como agregados e ainda, com consumos de diferentes cimentos, variando entre  $100 \text{ kg/m}^3$  e  $280 \text{ kg/m}^3$ , o que se subentende que para pavimentação, esses CCR poderiam ser aplicados desde a camada de sub-base à camada de revestimento, de acordo com o consumo de ligante e resistências alcançadas seguindo as diretrizes das normas vigentes de pavimentação.

Assim, dentre as misturas elencadas e os modelos analisados, pode-se observar que para estimar a RTD de CCR, deve ser adotado o modelo sugerido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) referenciado aqui como Equação 1 ou ainda o modelo de Chhorn *et al.* (2018), identificado como Equação 4. Pois dentre as comparações foram os que mais apresentaram resultados teóricos próximos aos resultados de laboratório das misturas. Mesmo assim, sugere-se que entre eles, seja adotada a Equação 4 para tal estimativa, haja vista que o modelo foi ajustado com base em propriedades de CCR, enquanto a Equação 1 é referente ao concreto de uso estrutural.

Já para a predição da RTF, nenhum dos modelos foi tão fidedigno como aqueles para previsão de RTD, de modo geral às propriedades dos CCR analisados. Obviamente que se levada em consideração as misturas de Fardin e Santos (2020), tanto a Equação 2 quanto a 6 poderiam ser utilizadas para a estimativa de tal propriedade. Todavia, isso leva à consideração de que a adoção de um modelo para estimativa de RTF do CCR varia de acordo com a mistura e a confiabilidade da predição é muito variável. Não sendo, nessa perspectiva a adoção de modelo algum sem que seja feita a mensuração em laboratório da propriedade mecânica.

Por fim, pode ser exposto ainda que há uma necessidade de aprofundar esse estudo. Devem ser levadas em consideração outras misturas de CCR, com diferentes proporções de insumos, bem como diferentes consumos de cimento para que se possa alcançar uma



representatividade amostral maior. Como também se pode analisar a previsão de outras propriedades do CCR, como o módulo de elasticidade, por exemplo. Mais além, com maior volume amostral, quiçá seja possível ajustar modelos capazes de prever tais propriedades mecânicas com um nível de variabilidade menor do que os analisados por ora.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**. Projetos de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ACI – American Concrete Institute. **ACI 363R-92**. State-of-the-art Report on High-Strength Concrete. Farmington Hills, EUA: ACI, 1997.

ACI – American Concrete Institute. **ACI 318-99**. Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, EUA: ACI, 1999.

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais de projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS; ABEDA, 2008.

BORRÉ, G. **Estudo de resistência mecânica do concreto compactado com rolo com emprego de material fresado asfáltico para base de pavimentos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

CHHORN, C.; HONG, S.J.; LEE, S.W. Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, 5, p. 215-223, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.09.002>>. Acesso em: 28 set. 2020.

FARDIN, H.E.; SANTOS, A.G. Roller Comapcted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for Paving Bases. **Sustainability**, 12, p.1-16, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su12083154>>. Acesso em: 28 set. 2020.

FRANCO, F.A.C.P.; MOTTA, L.M.G. **Guia para utilização de Método Mecânico-Empírico**: Apresentação dos programas desenvolvidos. Rio de Janeiro: DNIT, 2018. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manual-de-utilizacao-medina.pdf/view>>. Acesso em 28 set. 2020.

HARRINGTON, D.; ABDO, F.; ADASKA, W.; HAZAREE, C.V.; CEYLAN, H. **Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements**. Ames, EUA: Iowa State University, 2010. Disponível em: <[https://lib.dr.iastate.edu/intrans\\_reports/102/](https://lib.dr.iastate.edu/intrans_reports/102/)>. Acesso em: 27 set. 2020.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.



MEHTA, P.K.; Monteiro, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAO, M.; YANG, H.; LIN, Y.; LI, J. SHI, Y. Influence of maximum aggregate sizes on the performance of RCC. **Construction and Building Materials**, 115, p.42-47, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.172>>. Acesso em: 27 set. 2020.

RITH, M.; KIM, Y.K.; LEE, S.W. Behavior of RCC-base composite pavement for heavy duty area. **Construction and Building Materials**, 175, p. 144-151, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.194>>. Acesso em 27 set. 2020.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2 ed. São Paulo: PINI, 2008.

TOFFOLO, R.V.M. **Pavimentos sustentáveis**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

VALENCIA, L.E.S. Comentarios sobre el concreto compactado con rodillo (CCR). **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, 8, p. 9-23, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.18359/rcin.1403>>. Acesso em: 27 set. 2020.



# INOVAÇÕES EM UMA USINA MÓVEL DE RECICLAGEM DE RCD PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

*Leonardo Fagundes Rosembach Miranda<sup>1</sup>, Thaísa Mariana Santiago Rocha<sup>2</sup>, Vanessa Vogt<sup>3</sup>, Antônio Acácio de Melo Neto<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Universidade Federal do Paraná (UFPR), reciclagem.miranda@gmail.com*

<sup>2</sup> *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Paraná (PPGEC/UFPR), thaisamsrocha@yahoo.com.br*

<sup>3</sup> *Instituto Federal do Paraná (IFPR), vogt.vanessa@gmail.com*

<sup>4</sup> *Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), antoniodemelo@gmail.com*

## RESUMO

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) é uma estratégia utilizada para minimizar o desperdício no contexto da construção. A incorporação de resíduos em produtos de construção é uma das soluções benéficas de como reduzir o volume descartado em aterros e diminuir o uso de matérias-primas. Historicamente, a maior parte dos agregados reciclados tem sido utilizada na execução de bases e sub-bases de pavimentos. Entre 2014 e 2019 foi desenvolvido um projeto de pesquisa da UFPR em parceria com o BNDES, a Funpar e a Soliforte Reciclagem para a produção de uma usina móvel de reciclagem de RCD. A partir do levantamento realizado na literatura existente e em visitas nas usinas em atividade, foram detectadas as principais necessidades. Neste sentido, o projeto da usina foi desenvolvido de maneira a atender requisitos como maior produtividade de produção e maior qualidade do agregado reciclado produzido. O resultado foi a construção de uma usina móvel com capacidade nominal de 80 m<sup>3</sup>/h pela empresa Mercantil Catarinense. Observou-se que das inovações obtidas a partir do desenvolvimento da usina, as inovações relacionadas à remoção de impurezas e ao controle granulométrico contribuem para a maior qualidade da brita corrida quando produzida a partir de RCD Classe A.

**PALAVRAS-CHAVE:** usina móvel, reciclagem, resíduo de construção e demolição (RCD), pavimentação.

## ABSTRACT

*The recycling of construction and demolition waste (CDW) is a strategy used to cut waste in the context of construction. The incorporation of waste in construction products is one of the beneficial solutions on how to reduce the volume disposed of in landfills and reduce the use of raw materials. The execution of pavement bases and sub-bases used most recycled aggregates. Between 2014 and 2019, a UFPR research project was developed in partnership with BNDES, Funpar, and Soliforte Reciclagem for the production of a mobile CDW recycling plant. From the survey carried out in the existing literature and visits to active plants, the main needs were detected. In this sense, the plant's project was developed to meet requirements such as higher production productivity and higher quality of the recycled aggregate produced. The result was the construction of a mobile plant with a nominal capacity of 80 m<sup>3</sup>/h by the company Mercantil Catarinense. It was observed that of the innovations obtained from the development of the plant, the innovations related to the removal of impurities and the granulometric control contribute to the higher quality of the crushed gravel when produced from CDW Class A.*

**KEYWORDS:** mobile plant, recycling, construction and demolition waste (CDW), paving.



## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) têm sido reciclados e utilizados para a produção de agregados reciclados (AR) que podem substituir agregados naturais (AN) em diversas aplicações (DI MARIA *et al.*, 2018). As vantagens, tanto econômicas quanto ambientais, do uso de AR como alternativa ao AN são bastante afetadas pelo transporte (BRAGA, 2015).

Estudos de análise de sensibilidade ambiental e econômica mostraram a importância das distâncias de transporte. Distâncias maiores levam a maiores impactos ambientais e maiores custos para as empresas que trazem os RCD para a planta de reciclagem e para os usuários finais de AR. Portanto, a localização ideal das plantas de reciclagem de RCD deve garantir economia de escala, levando também em consideração a demanda local por agregados e os impactos ambientais causados por transporte longo (DI MARIA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017). Pesquisadores explicam que, de modo geral, a proximidade de usinas de reciclagem a locais de construção e recuperados mercado de produtos são fator chave para a promoção do benefício ambiental (SILGADO *et al.*, 2018).

As instalações de reciclagem de RCD são capazes de tratar resíduos independentemente de sua composição; no entanto, o RCD altamente misturado requer técnicas de separação mais complicadas. A tecnologia em que se baseiam as unidades de reciclagem RCD é um dos fatores decisivos que afetam a qualidade dos produtos reciclados e, juntamente com a abordagem de demolição, determina a sua viabilidade. Para aplicações de alto nível são necessárias técnicas de separação e classificação mais rigorosas. O desafio está em encontrar a combinação certa de classificação durante a demolição, separação barata técnicas e técnicas avançadas de classificação automatizada (GALÁN *et al.*, 2019). As usinas de reciclagem podem ser móveis ou fixas. Normalmente, uma planta móvel consiste em um britador (pode consistir em dois britadores) e alguns dispositivos de triagem (SILVA *et al.*, 2017).

Devido à sua natureza variada, os RCD são difíceis de processar e a existência de contaminantes afeta o manuseio e as propriedades do produto final, cuja qualidade, sendo inferior ao AN, é uma das maiores barreiras para seu uso mais amplo na construção. Conforme mostrado na literatura (DHIR *et al.*, 1999; DOSHO *et al.*, 1998; EGUCHI *et al.*,



2007; GOKCE *et al.*, 201; MAS *et al.*, 2012; MÜLLER, 2004; NAGATAKI *et al.*, 2004; TERANISHI *et al.*, 1998; YANAGI *et al.*, 1998; ZHAO *et al.*, 2010), o procedimento de tratamento afeta consideravelmente a qualidade da AR e, devido ao número de técnicas de processamento existentes, as características dos AR produzidos em plantas diferentes diferem significativamente.

Na Europa, a falta de padrões de qualidade de AR permitiu que a maioria dos países cumprissem os requisitos solicitados ao investir em aplicações de baixo grau de exigência; por exemplo, a produção de AR para bases de estradas e materiais de enchimento na construção de estradas (HU *et al.*, 2013; WEIL *et al.*, 2006). A Holanda já enfrenta um problema de saturação de AR de baixa qualidade no mercado de agregados (HU *et al.*, 2013) e, por isso, soluções alternativas para a produção de RCD de alta qualidade é urgentemente necessária (DI MARIA *et al.*, 2018).

O Brasil produz cerca de 500 kg/ab.ano (PINTO, 1999) e a principal aplicação do agregado reciclado no mundo é a pavimentação, por razões como: ser uma aplicação que consome bastante agregado reciclado, poder causar redução no custo da obra, atender com facilidade às exigências técnicas e por vantagens ambientais. Mas observa-se que, além da triagem do RCD, é importante melhorar a qualidade da brita corrida reciclada, de maneira a garantir seu enquadramento às normas e aumentar seu desempenho, principalmente quanto ao CBR.

Neste sentido, o objetivo deste artigo é apresentar as principais inovações que a usina móvel de reciclagem de RCD, desenvolvida através do projeto de pesquisa “Desenvolvimento de usina móvel de reciclagem de RCD” realizado na UFPR, contém, tornando-a uma das mais modernas do mundo e sendo capaz de produzir agregados reciclados para pavimentação com desempenho superior.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho descreve as principais características e as principais inovações presentes na usina móvel de reciclagem desenvolvida pelo projeto de pesquisa “Desenvolvimento de usina móvel de reciclagem de RCD” realizado na UFPR, entre 2014 e 2019, com a



participação da Funpar (Fundação da Universidade Federal do Paraná), do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e da Soliforte Reciclagem.

A partir da experiência destes autores e do levantamento das informações realizados (tanto na literatura existente quanto nas visitas realizadas nas usinas) foram definidas as principais necessidades e/ou inovações que deveriam estar presentes na usina em questão no intuito de contribuir para a ampliação do percentual de agregado reciclado utilizado. Dentre as principais necessidades e/ou inovações necessárias, foram consideradas as seguintes:

- i. Homogeneidade do agregado reciclado;
- ii. Aumento de produtividade;
- iii. Remoção de impurezas;
- iv. Controle granulométrico.

Através de resultados de testes (piloto, em campo e em laboratório) das possíveis soluções que poderiam ser empregadas, foi desenvolvido o projeto de uma usina móvel de reciclagem de RCD classe A (conforme a definição da resolução CONAMA nº307/2002) com capacidade nominal de 80m<sup>3</sup>/h. Com a definição do projeto, foi realizada a contratação – via licitação – da empresa Mercantil Catarinense, situada no município de Indaial no Estado de Santa Catarina. Após o término da construção da usina, ela foi levada para a Soliforte Reciclagem, situada no município de Campo Largo/PR.

### **3. RESULTADOS**

Os resultados obtidos a partir do desenvolvimento da usina móvel de reciclagem foram divididos em dois itens principais. O primeiro aborda a descrição da usina e suas principais características. O segundo apresenta as principais inovações presentes na usina.

#### **3.1. Descrição da usina móvel desenvolvida**

O projeto desenvolvido permitiu a execução de uma usina móvel de reciclagem contendo três partes: duas carretas principais e uma unidade menor (MIRANDA, 2020).

A primeira carreta da linha de produção foi chamada de módulo de britagem. Na Figura 1a, é possível observar a carreta com cerca de 12 m de comprimento. Este módulo é composto por um gerador, dois transportadores de correia utilizados para escalpe, um alimentador vibratório, um britador de mandíbula modelo 8050, um separador magnético e um rompedor demolidor. O rompedor demolidor tem a função de diminuir a ocorrência de entupimento do britador com a presença de resíduos com dimensões excessivas. O módulo conta ainda com mais dois transportadores de correia (sendo um deles móvel usado para homogeneizar automaticamente a brita corrida produzida ou para lançar este material na peneira vibratória).

A segunda carreta foi chamada de módulo de qualidade. Na Figura 1b, é possível observar a carreta com cerca de 12 m de comprimento. Este módulo é composto por um gerador, 6 transportadores de correia (sendo que alguns possuem movimento radial para homogeneização do agregado reciclado), uma peneira vibratória com um sistema mecânico para o desentupimento da tela que separa o pedrisco da areia, silo para controle granulométrico da brita corrida e um potente ventilador para remoção de grande parte das partículas leves presentes nos agregados reciclados graúdos.

A terceira e última unidade foi chamada de módulo de moagem. Na Figura 1c é possível observar que este módulo tem tamanho menor e pode ser engatado no reboque traseiro de um carro. É composto por uma rampa de acesso, dois transportadores de correia, um moinho de martelos e uma bomba que produz névoa de água para auxiliar na redução da poeira produzida pelo moinho de martelos. Pode ser usada para reciclar o RCD dentro do canteiro de obra, contribuindo para a economia da obra devido à produção de areia reciclada. Ou, ainda, para transformar a fração graúda (rachão, brita ou pedrisco) do módulo de qualidade em fração miúda, por exemplo.





Figura 1 - Usina móvel desenvolvida no projeto  
Legenda: a) Módulo de britagem; (b) Módulo de qualidade e c) Módulo de moagem  
Fonte: Os autores (2020)

### 3.2. Inovações presentes na usina

Quanto às inovações presentes na usina, estão detalhadas as inovações relacionadas à homogeneidade do agregado reciclado, ao aumento de produtividade, à remoção das impurezas e ao controle granulométrico.

#### 3.2.1. Inovação relacionada à homogeneidade do agregado reciclado

A presença de vários transportadores de correia é uma inovação que proporciona maior homogeneidade ao agregado reciclado. Isto porque esses transportadores são capazes de homogeneizar o agregado reciclado através do movimento radial de vai e vem dos transportadores, formando assim pilhas homogeneizadas de agregados reciclados de pedrisco e brita, sendo possível aplicar o mesmo processo no rachão.

Isto é importante porque, quando se trata de material reciclado, a variabilidade dentro de um mesmo lote costuma ser grande e este processo de homogeneização, além de simples e automático, contribui de maneira significativa para o aumento da qualidade do produto final, resultando em características técnicas padronizadas e com baixa variação entre as propriedades de diferentes lotes, facilitando inclusive a formação de amostras para caracterização.



### *3.2.2. Inovação relacionada ao aumento de produtividade*

A peneira vibratória, quando equipada com um sistema mecânico, torna-se capaz de desentupir a tela que separa o pedrisco da areia. Desta maneira, é possível realizar uma separação mais eficiente destes materiais mesmo quando possuem umidade, evitando paradas desnecessárias durante o processo de produção. A produção destes materiais misturados pode inviabilizar sua utilização como camada de dreno, por exemplo.

Outra inovação é a presença de um rompedor elétrico antes que o RCD com grandes dimensões caia no britador. Isto reduz significativamente o risco de entupimento do britador, o que pode ocasionar, também, paradas desnecessárias de produção. O britador de mandíbulas (modelo 8050) utilizado na usina móvel de reciclagem possui um tamanho que permite uma grande produção sem a necessidade do uso de um britador secundário e sem a ocorrência de constantes entupimentos.

### *3.2.3. Inovação relacionada à remoção de impurezas*

A usina móvel está equipada também com um ventilador de alta potência capaz de remover impurezas leves presentes no pedrisco reciclado, na brita e no rachão. Desta maneira, obtém-se maior economia relacionada à mão de obra para realizar a tragem do material além de permitir maior eficiência.

### *3.2.4. Inovação relacionada ao controle granulométrico*

Levando em consideração a produção de material para ser utilizado em pavimentação, é possível produzi-lo com controle granulométrico, visto que a usina está equipada com silos para a dosagem desejada do teor de areia, pedrisco e brita. Este controle granulométrico é importante para que os agregados reciclados destinados à base e sub-base de pavimentos atendam aos requisitos técnicos exigidos pelas normas correspondentes, sejam elas nacionais ou internacionais, atingindo assim resultados mais altos, por exemplo, de CBR. Miranda *et al.* (2009) apresentam resultados em que foi possível quase triplicar os resultados de CBR apenas com o controle granulométrico do agregado reciclado.



O controle granulométrico permite, ainda, a redução do custo da obra, isto porque, o preço do agregado reciclado normalmente é inferior ao custo de se destinar o resíduo a aterros legalizados somado ao custo do agregado natural.

Inovações como as que foram apresentadas neste estudo contribuem para uma melhoria significativa da qualidade do material reciclado, facilitando sua comercialização, por exemplo. Atualmente, não foi encontrada nenhuma outra usina móvel, seja nacional ou importada, com as características similares à usina móvel desenvolvida pelo projeto aqui apresentado. Além disto, uma usina móvel, além de reduzir o investimento em instalações de energia e fundações, tem seu mercado aumentado e facilitado em comparação com usinas fixas. Isto porque pode prestar um serviço, por exemplo mensal, de reciclagem em diversos locais do país ao invés de somente receber o resíduo, reciclar e vender o agregado reciclado. Tal característica fomenta a formação de consórcios entre municípios, viabilizando a reciclagem do RCD em pequenos municípios com custos reduzidos.

Por se tratar de um equipamento nacional, a manutenção e o desenvolvimento ou compra de outras unidades da usina tornam-se facilitados, já que é possível visitar uma usina em funcionamento, conhecer a experiência de uma empresa com o equipamento sem, necessariamente, se tornar o proprietário da usina. Destaca-se, ainda, que o proprietário da usina não depende da importação de peças, o que normalmente encarece o processo e aumenta muito o tempo improdutivo da usina.

Atualmente existem várias aplicações viáveis para a utilização dos agregados reciclados, como em pavimentação, em contenções, para a produção de argamassas e para a produção de componentes para a construção civil. Normalmente, quanto menor a resistência mecânica desejada, maior a viabilidade do uso de agregados reciclados, em termos de sustentabilidade, redução de custo e atendimento às especificações técnicas.



#### 4. CONCLUSÕES

A usina móvel de reciclagem desenvolvida apresenta inovações que permitem maior produtividade (resultado da menor quantidade de interrupções na produção), a redução do número de colaboradores na triagem do resíduo (devido à presença de um mecanismo mecânico que auxilia na remoção de impurezas), maior qualidade do agregado reciclado produzido (devido ao uso de ventiladores que otimizam a remoção de impurezas, à homogeneização do agregado produzido a partir da formação de pilhas e do controle granulométrico da brita corrida que, muitas vezes, permite alcançar um maior CBR). Além disso, a possibilidade de realizar a reciclagem do resíduo gerado no próprio canteiro contribui para a redução dos custos, tornando-se uma alternativa interessante técnica e economicamente para a execução de pavimentos.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Construção Civil, à Mercantil Catarinense, pela parceria técnica na execução da usina e ao BNDES pelo apoio financeiro, principalmente pela atenção e competência do Sr. Adriano Carnaúba.

#### REFERÊNCIAS

BRAGA, A. M. **Comparative Analysis of the Life Cycle Assessment of Conventional and Recycled Aggregate Concrete** (in Portuguese). Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources, Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Portugal, 2015.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução 307, de 05 de julho de 2002**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

DI MARIA, A.; EYCKMANS, J.; VAN ACKER, K. Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. **Waste Management**, 75, p. 3–21, 2018.



DHIR, R. K.; LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T. Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 designated mixes. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings**, 134 (3), p. 257-274, 1999.

DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; NAKAGOME, A.; KIKUCHI, M. Application of recycled aggregate concrete for structural concrete. Part 2-Feasibility study on cost effectiveness and environmental impact. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Conference on the Use of Recycled Concrete Aggregates**. Thomas Telford, London, UK, p. 389-400, 1998.

EGUCHI, K.; TERANISHI, K.; NAKAGOME, A.; KISHIMOTO, H.; SHINOZAKI, K.; NARIKAWA, M. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. **Construction and Building Materials**, 21 (7), p. 1542-1551, 2007.

GALÁN, B.; VIGURI, J. R.; CIFRIAN, E.; DOSAL, E.; ANDRES, A. Influence of input streams on the construction and demolition waste (CDW) recycling performance of basic and advanced treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, 236, 117523, 2019.

GOKCE, A.; NAGATAKI, S.; SAEKI, B.; HISADA, M. Identification of frost-susceptible recycled concrete aggregates for durability of concrete. **Construction and Building Materials**, 25 (5), p. 2426-2431, 2011.

HU, M.; KLEIJN, R.; BOZHILOVA-KISHEVA, K.; DI MAIO, F. An approach to LCSA: the case of concrete recycling. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 18, p. 1793-1803, 2013.

MAS, B.; CLADERA, A.; OLMO, T.; PITARCH, F. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. **Construction and Building Materials**, 27 (1), p. 612-622, 2012.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. Recycling of construction and demolition waste in Brazil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, 9 (1), p. 57-71, 2009.

MIRANDA, L. F. R. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição: teoria e prática**. Ed. Appris, Curitiba., 203 p. 2020.

MÜLLER, A. Lightweight Aggregates from Masonry Rubble. In: VÁZQUEZ, E.; HENDRIKS, C.; JANSSEN, G. M. T. (Eds.), **International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures**. RILEM Publications SARL, Barcelona, Spain, p. 97-106, 2004.

NAGATAKI, S.; GOKCE, A.; SAEKI, T.; HISADA, M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Research**, 34 (6), p. 965-971, 2004.



PINTO, T. P. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILGADO, S. S.; VALDIVIEZO, L. C.; DOMINGO, S. G.; ROCA, X. Multicriteria decision analysis to assess the environmental and economic performance of using recycled gypsum cement and recycled aggregate to produce concrete: the case of Catalonia (Spain). **Resources, Conservation and Recycling**, 133, p. 120-131.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. **Journal of Cleaner Production**, 143, p. 598-614, 2017.

TERANISHI, K.; DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; KIKUCHI, M. Application of recycled aggregate concrete for structural concrete: part 3-production of recycled aggregate by real-scale plant and quality of recycled aggregate concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. Thomas Telford, London, UK, p. 143-156, 1998.

YANAGI, K.; KASAI, Y.; KAGA, S.; ABE, M. Experimental study on the applicability of recycled aggregate concrete to cast-in-place concrete pile. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. Thomas Telford, London, UK, p. 359-370, 1998.

WEIL, M.; JESKE, U.; SCHEBEK, L. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. **Waste Management Research**, 24, p. 197–206, 2006.

ZHAO, W.; LEEFTINK, R. B.; ROTTER, V. S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-The case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**, 54 (6), p. 377-389, 2010.





## USO DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS COM CAL EM PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS NA REGIÃO DE CURITIBA-PR

Rafael Witiuk<sup>1</sup>; Beatriz Pozzebon<sup>2</sup>; Mayara Gomes<sup>3</sup> e José Carlos Silva Filho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenharia de Projetos, Rumo - rafael.witiuk@rumolog.com, beatriz.pozzebon@rumolog.com, mayara.gomes@rumolog.com, jose.filho@rumolog.com

### RESUMO

A perspectiva de investimento no setor ferroviário poderá atingir R\$ 67 bilhões em obras de aumento de capacidade, construção de novas ferrovias e solução de conflitos ferroviários urbanos. Deste modo, tem-se a expectativa de aprofundamento dos estudos de soluções construtivas para obras de infraestrutura. Nesse sentido, o presente trabalho apresentou o estudo de caso de um projeto de ampliação de um pátio em Curitiba/PR, no qual foi realizada a estabilização química de solos com cal para viabilizar a exploração das jazidas locais como material de sublastro e corpo de aterro. Para a avaliação da estrutura do pavimento foi utilizado o software Systrain. Os resultados da mistura de solo com cal à 3,5% viabilizaram a redução da expansão em 30% e aumento do módulo de resiliência em aproximadamente 20%. Foram demonstrados os ganhos estruturais decorrentes da aplicação da cal hidratada e evidenciaram a pertinência do software Systrain para a referida análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** Systrain, estabilização química, pavimento ferroviário.

### ABSTRACT

*The investments perspective in the railway sector could reach R\$ 67 billion in capacity expansion, new railways construction and conflicts between urban and railway traffic. Thus, it is expected deeper constructive solutions studies for infrastructure works. In this sense, the present paper presented the case study of a yard extension project in Curitiba / PR, in which the chemical stabilization of soils with lime was carried out to enable the exploration of local deposits as sub-ballast material and landfill body. Systrain software was used to evaluate the pavement structure behaviour. The results of mixing soil with lime at 3,5% made it possible to reduce the expansion by 30% and increase the resilience module by approximately 20%. The structural gains resulting from the application of lime demonstrated and showed the relevance of the Systrain software for that analysis.*

**KEYWORDS:** Systrain, chemical stabilization, railroad track

## 1. INTRODUÇÃO

A década de 2020 será marcada pelo início de um novo ciclo de investimentos, que poderá atingir R\$ 67 bilhões em obras de aumento de capacidade, solução de conflitos urbanos e expansão da malha ferroviária (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019). O referido processo está condicionado à criação de novas concessões e à renovação dos contratos de concessão vigentes. Tais contratos foram criados pelo Plano Nacional de Desestatização (PND), nos anos 1990, com vigência de 30 anos e prorrogáveis por mais 30 anos (DOS SANTOS, 2011). Ao longo desse período, as concessionárias promoveram um



aumento de 197% na produção do sistema de transporte ferroviário nacional, que em 1996 foi de 137 giga toneladas-quilômetro útil (Gtku) e, em 2018, atingiu 407 Gtku (ANTT, 2020).

Nesse sentido, o Governo Federal prevê um aumento ainda maior na participação do modo de transporte ferroviário para os próximos anos, podendo atingir 30% de participação na matriz de transporte nacional até 2030 (EPL, 2015). Em última instância, entende-se que a necessidade de aumento de capacidade do setor ferroviário incidirá em obras de infraestrutura que implicarão no desenvolvimento de estudos e projetos de engenharia ferroviária. Dentre os principais objetos de estudo tem-se o subleito da ferrovia e os solos disponíveis para a realização das obras de pavimentação e terraplenagem.

Deste modo, é evidente o interesse em estudar soluções de engenharia que viabilizem o emprego de solos de baixa capacidade de suporte e, principalmente, elevados níveis de expansão, para seu uso na infraestrutura ferroviária. Notadamente, pode-se considerar o uso de estabilização físico-química como uma das propostas de tratamento dos solos expansíveis a serem empregados em obras de pavimentação (DE SOUZA, 2019). Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo apresentar um estudo de caso envolvendo solos expansíveis na região de Curitiba, no Estado do Paraná, no qual foi realizado o tratamento de estabilização química para viabilizar o emprego destes solos no pavimento ferroviário.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

No intuito de demonstrar os estudos desenvolvidos serão trabalhados inicialmente os conceitos de pavimento ferroviário e estabilização química.

### **2.1. Pavimento ferroviário**

Segundo Spada (2005), o pavimento compreende uma camada compactada, constituída de material que apresenta resistência a deformação, apoiada sobre o subleito, sendo este de rigidez inferior e com maior suscetibilidade às deformações permanentes.

Em relação ao sublastro, vale frisar que uma das principais funções é a redução dos esforços transmitidos pelo lastro a um valor minimamente igual à pressão admissível no subleito. Ademais, atua como camada de bloqueio evitando processos erosivos no subleito e a contaminação do lastro com finos, provocando assim sua cimentação.



Segundo Brina (1979), o material a ser selecionado para o sublastro deve obedecer às seguintes especificações: índice de grupo (IG) igual a 0; limite de liquidez (LL) máximo de 35; índice de plasticidade (IP) máximo de 36; classificação pela tabela da *transportation research board* TRB, grupo A; expansão máxima de 1%; índice de suporte Califórnia (CBR) mínimo de 30.

Senço (2007) salienta ainda que, somente a camada mais próxima da superfície pode ser nomeada como subleito, uma vez que à medida que se aprofunda no maciço, as pressões exercidas são minoradas até se tornarem desprezíveis. Segundo Heukelon e Klomp (1962), para definir as tensões admissíveis no subleito, deve ser considerada a Equação 3.

$$\sigma_{adm} = \frac{0,006 * M_R}{1 + 0,7 * \log N} \quad (3)$$

Nesta expressão,  $M_R$  é o valor do Módulo de resiliência e  $N$  é o número de ciclos ou repetição de eixos que Eisenmann (1974) considerou, para ferrovias da 1ª categoria como sendo  $N = 2,2 \times 10^6$ .

### 2.1.1. Métodos numéricos aplicados a simulação do pavimento ferroviário

No que se refere a análise do pavimento ferroviário, os métodos empírico-mecanísticos partem da definição de um modelo matemático que permite determinar a tensão e a deformação do pavimento, associado a parâmetros empíricos que definem as condições de contorno para aceitação dos resultados. Ao longo dos últimos 40 anos diversas ferramentas de análise do pavimento foram desenvolvidas, notoriamente o Geotrack, Illtrack, Kentrack, Ferrovia e Systrain, além de outras ferramentas computacionais para análise de estruturas, como o ABACUS e ANSYS (SILVA FILHO, 2018).

## 2.2. Estabilização química

Em função dos elevados índices de expansão dos solos estudados, o emprego de tratamentos de estabilização química de solos expansivos pode ser considerado uma solução de engenharia potencial para o referido problema de projeto. Tal solução tem sido empregada para obras de infraestrutura possibilitando a viabilização de emprego de materiais que, de outro modo, seriam descartados (DE SOUZA ALMEIDA, 2019)

No caso particular dos solos argilosos, a estabilização química com adição de cal provoca reações de troca iônica, mudanças das estruturas cristalinas, recarbonatações e, sobretudo, a formação de novos minerais capazes de cimentar as partículas e/ou preencher



os espaços intercristalinos (GUIMARÃES 1985 ). De imediato, a cal hidratada provoca elevação da alcalinidade do solo, tornando instáveis alguns dos seus constituintes, permitindo um possível ataque ao silício e ao alumínio presente nos minerais do solo e a recombinação desses íons com o cálcio, formando compostos estáveis, tais como silicatos e aluminatos hidratados de cálcio. Desse modo, em função da nova estrutura cristalina, a mistura solo-cal tende a apresentar níveis inferiores de expansão quando comparada ao material não estabilizado.

### **3. METODOLOGIA**

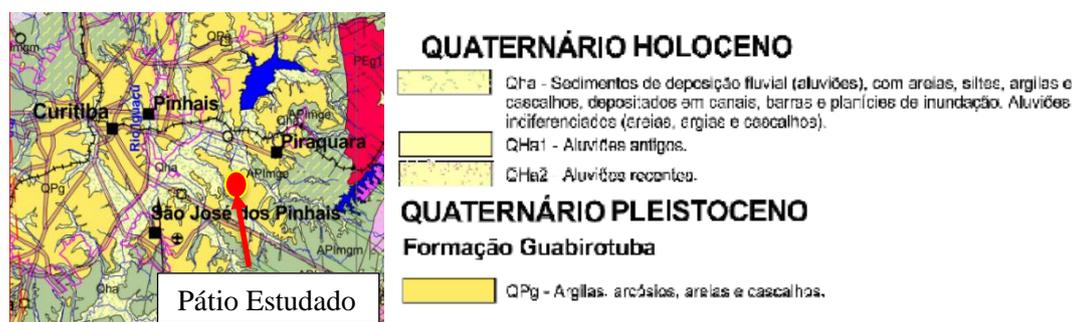
#### **3.1. Projeto de engenharia para ampliação do pátio**

A obra objeto do presente estudo consiste na ampliação de um pátio de manobra e cruzamento existente na região de Curitiba/PR. A locação da ampliação de um pátio ferroviário, envolve o estudo de diversas aspectos de um projeto, sendo o aspecto ambiental, regulatório, econômico e de prazo, os principais variáveis para a tomada de decisão (WITIUK *et al.*, 2019). Nesse sentido, o conceito da ampliação do pátio em questão buscou minimizar os riscos associados às quatro dimensões apresentadas.

Para viabilizar o aumento de capacidade de processamento de composições ferroviárias, foi proposta a ampliação de duas linhas do pátio que totalizam 1.000m de construção de ferrovia. Em função desta ampliação, houve a necessidade de expansão da plataforma de terraplenagem do pátio existente.

Para o desenvolvimento do projeto executivo da obra, notadamente as disciplinas de pavimentação e terraplenagem, foram realizadas visitas de campo, estudos geológicos e estudos geotécnicos de modo a obter as informações necessárias para a definição das melhores soluções de engenharia. Em seguida, foram realizadas campanhas de sondagem, e coletas de amostras de solos locais para estudos em laboratório.

### 3.1.1. Estudos geológicos



Mapa geológico da região com indicação do local de ampliação do pátio.

Fonte: Mineropar (2020)

A partir dos mapas geológicos, constatou-se que o segmento de projeto está situado integralmente na Região Geomorfológica denominada Bacia Sedimentar de Curitiba. A bacia sedimentar de Curitiba é constituída por uma capa de rochas sedimentares posicionada sobre um substrato rígido e firme que, em geral, torna o terreno estável. Essa característica estratificada permite que sejam individualizadas pelo menos duas unidades geológicas fundamentais: a primeira contempla um conjunto de rochas cristalinas denominado de Complexo Atuba, enquanto a segunda representa uma cobertura sedimentar, constituída pela Formação Guabirota e depósitos aluvionares atuais, os quais são da região em estudo. A Figura ilustra as situações observadas no local de implantação da ampliação do pátio.

Após a conclusão da visita em campo com a realização do mapeamento geológico tátil-visual, foi possível constituir um plano de sondagem e de coleta de amostras considerando os pontos geológicos críticos identificados na região do pátio tal qual apresentado nas Figuras 1 e 2.



Figura 2: Vegetação característica de solos aluvionares com presença de água  
Fonte: O autor (2020)

### 3.1.2. Estudos geotécnicos

No que se refere aos estudos geotécnicos da região do pátio, foram realizadas coletas de amostras deformadas, para execução de ensaios de caracterização, CBR, expansão e ensaios triaxiais em laboratório. No total, foram coletadas seis amostras deformadas na região do projeto. A seguir, a Figura 28 e a Figura 29 apresentam planta com o local de realização dos ensaios e coletas de amostras.



Figura 28: Localização dos ensaios, sondagens e coletas de amostra (AM)  
Fonte: O autor (2020)



Figura 29: Localização dos ensaios, sondagens e coletas de amostra (AM)

Fonte: O autor (2020).

Para as seis amostras deformadas coletadas, foram realizados os seguintes ensaios: granulometria completa, Limites de Atterberg, compactação energia intermediária, ensaio triaxial dinâmico de módulo de resiliência e de deformação permanente.

Durante a abertura dos poços de inspeção para a coleta de amostras deformadas, foi possível observar que a camada superficial é caracterizada como aterro de argila arenosa, com aproximadamente 50 cm de espessura, seguida de camada de sedimento, composta por argila, ora com característica siltosa, ora arenosa. Além disso, observou-se nível d'água a 5 m de profundidade, aproximadamente. As Tabela 23 e Tabela 24 apresentam o quadro resumo dos resultados dos ensaios executados.

Tabela 23: Resultados – Análise granulométrica e Limites de Atterberg.

Amostra	Análise Granulométrica - ABNT - NBR-7181						Limites		
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila	LL (%)	LP (%)	IP (%)
AM-01	2%	9%	12%	12%	26%	39%	64	38	26
AM-02	4%	11%	7%	9%	18%	51%	61	30	31
AM-03	12%	17%	10%	10%	14%	37%	42	21	21
AM-04	6%	14%	7%	8%	17%	48%	57	27	30
AM-05	5%	12%	14%	16%	27%	26%	46	25	21
AM-06	4%	6%	7%	9%	26%	48%	52	32	20

Fonte: Os autores, 2020.

Tabela 24: Resultados - Classificações, Compactação Proctor Intermediário, ISC e expansão.

Amostra	Classificação		Compactação Proctor Intermediário		ISC (%)	Expansão (%)
	HRB AASHTO (IG)	U S C S	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	hot (%)		
AM-01	A-7-5(16)	MH	15,71	18,22	3	6,3
AM-02	A-7-6(19)	CH	16,97	15,68	3	8,5
AM-03	A-7-6(8)	CL	18,67	13,18	11	3,7
AM-04	A-7-6(17)	CH	16,15	20,08	1	9,7
AM-05	A-7-6(9)	CL	16,61	17,84	14	4,4
AM-06	A-7-5(14)	MH	15,1	22,68	15	3,7

Fonte: Os autores, 2020.



Assim, os resultados dos ensaios de caracterização indicam que o eixo a ser implantado estará assente, majoritariamente, sobre solo de composição argilosa, classificado segundo T.R.B. (Transportation Research Board) como A-7-5 e A-7-6. Além disso, observa-se a predominância da fração de argila em todas as amostras, com teores de 26% a 51%, seguida pela fração de silte, com teores de 14% a 27%. O limite de liquidez variou de 42% a 64% e o de plasticidade de 21% a 38%. Os valores de ISC das amostras ensaiadas figuram entre 1% e 15% no Proctor Intermediário, enquanto os resultados de expansão figuram entre 3,7% e 9,7%.

Foram realizados ensaios de módulo de resiliência e deformação permanente. O ensaio triaxial dinâmico de módulo de resiliência é de grande importância para a caracterização da capacidade de suporte das camadas do pavimento, uma vez que obtém parâmetros para identificar a resposta elástica do pavimento frente à aplicação de cargas repetidas que provem dos veículos.

Segundo Silva Filho (2018), o módulo de resiliência varia em função da constituição, da composição mineralógica, da textura e da plasticidade da fração fina. Outros fatores que devem ser considerados nessa variação são: umidade, densidade e estado de tensões.

O módulo de resiliência, MR, é definido pela equação (1) de Medina e Motta (2015).

$$M_r = k_1 * \sigma_3^{k_2} \quad (1)$$

sendo: k1, k2 as constantes de regressão do modelo obtidas com os resultados do ensaio triaxial dinâmico;  $\sigma_d$  a tensão desviadora; e  $\sigma_3$  a tensão confinante.

A Tabela 25 apresenta os valores obtidos para os ensaios realizados com as amostras coletadas. É apresentado também o módulo de resiliência médio (MRmédio), contudo, não é o valor mais significativo.

Tabela 25: Parâmetros experimentais obtidos dos ensaios triaxiais de módulo de resiliência

Amostra	MRmédio (MPa)	MR=f(sd)	
		k1 (MPa)	k2
AM-01	285	67,861	-0,577
AM-02	218	61,07	-0,518
AM-03	412	170,96	-0,363
AM-04	211	58,12	-0,528
AM-05	284	64,745	-0,593
AM-06	423	118,93	-0,514

Fonte: O autor (2020)

A equação (2) apresenta a expressão matemática utilizada para definir a deformação permanente,  $\epsilon_p$ .



$$\varepsilon_p = A * N^B \quad (2)$$

sendo: A, B as constantes de regressão do modelo obtidas com os resultados do ensaio triaxial dinâmico; e N, número de ciclos de carga.

A Tabela 26 apresenta os valores obtidos para os ensaios realizados com as amostras coletadas.

Tabela 26: Parâmetros experimentais obtidos a partir dos ensaios triaxiais de deformação permanente.

Amostra	A	B
AM-01	0,7453	0,0666
AM-02	0,4593	0,0401
AM-03	0,1704	0,0534
AM-04	0,6644	0,0714
AM-05	0,6789	0,0563
AM-06	0,3196	0,0774

Fonte: O autor (2020)

Com relação a deformação permanente, foi observado os valores se mantiveram baixos para todas as amostras, sendo a 2 mm.

Por fim, os ensaios de CBR mostraram uma expansão elevada, conforme apresentado na Tabela 24, indicando valores entre 3,7% e 9,7%. Assim, apesar do material presente no pátio possuir valores elevados de módulo de resiliência (especialmente para as Amostras 3 e 6) e baixos valores de deformação permanente, deve-se levar em consideração os valores de expansão elevados, os quais são atingidos na presença de água. Desse modo, estes solos não poderiam ser empregados como sublastro do pavimento ferroviário, pois o limite de expansão para esse material é de 1%.

Conforme apresentado no presente estudo, as condições dos solos da região da ampliação do pátio apresentaram limitações quanto a disponibilidade de material competente para constituir o pavimento ferroviário em função dos elevados níveis de expansão destes materiais, superior ao limite de 1%.

Deste modo, foi proposta a adição de 3,5% de cal para promover a estabilização química de uma das amostras (Amostra 6) de solo estudadas para verificar a possibilidade de emprego deste material tratado como sublastro do pavimento ferroviário. Para tanto, foi reensaiada a referida amostra para os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC), expansão e ensaio triaxial dinâmico para definição do módulo de resiliência e deformação permanente. A partir dos resultados obtidos, foram realizadas simulações da estrutura do pavimento ferroviário por meio do software Sysrain de modo a determinar se a referida

solução apresenta resultados satisfatório em termos de tensão deformação que permita o emprego do material estudado a referida obra.

Para a realização destas simulações foram consideradas a geometria da ferrovia estudada, as características do trem-tipo ferroviário real e as propriedades de todas as camadas conforme estudado em observância ao referencial bibliográfico pertinente.

#### 4. RESULTADOS

No que se refere aos ensaios de expansão da amostra com adição de 3,5% de cal, tem-se que a medida no ensaio de CBR na mistura com zero dias de idade apresentou expansão de 1,65 % após cerca de apenas 24 horas de imersão em água, fechando o ensaio com 2,63%. Desse modo, os resultados obtidos a partir da mistura de solo da amostra 6 com um teor de 3,5% de cal hidratada, permitiu a diminuição da expansão final do solo em 30%, porém os resultados de expansão ainda se mantiveram superiores à 1% para a amostra estudada

Para o valor do módulo resiliente com adição de cal, tem-se que a média obtida para zero dias foi de 286 MPa, enquanto que após sete dias aumentou para 519 MPa, representando um aumento de 20%. Em relação ao ensaio de deformação permanente é possível observar que a curva apresentou valores acumulados muito baixos, inferiores a 1,00 mm, e uma clara tendência à acomodação destas deformações. Ao inserir os resultados dos ensaios realizados após adição de cal no software Sysrain como material de sublastro foram obtidos os resultados gráficos apresentados na Figura 5.

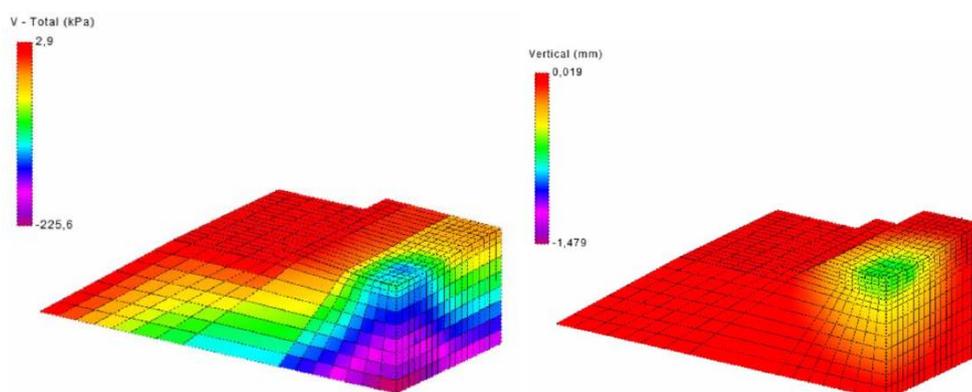


Figura 30: Resultados de deformação total e tensão vertical no subleito.

Fonte: O autor (2020)

O valor obtido para a deformação total do pavimento foi 1,45mm, estando inferior à deflexão admissível segundo a AREMA (2013) de 6,35 mm para ferrovias tipo B. A tensão



cisalhante no dormente foi de 1880 kPa, a tensão normal no lastro foi de 189 kPa, a tensão máxima normal do sublastro e subleito foram de 225 kPa, esta última permaneceu abaixo da tensão admissível para o subleito conforme a Equação 3 foi de 570kPa.

Em função dos resultados dos ensaios de expansão e visando aproveitamento dos materiais de terraplenagem, foi projetado o envelopamento do solo expansivo com material competente em uma camada de 1,50 m de espessura. Ainda em observância aos resultados obtidos, foi proposto que, para o pavimento ferroviário, o material fosse escavado em uma espessura de 30 cm e recompatado utilizando mistura de solo com teor de 3,5% de cal hidratada, de modo a reforçar a camada de subleito.

## 6. CONCLUSÕES

Ao longo dos estudos desenvolvidos na região do projeto foram constatadas condições geológico-geotécnicas que demandavam a definição de soluções de engenharia que garantissem a viabilidade técnica e econômica do projeto. Deste modo, foram realizados ensaios geotécnicos específicos para avaliar as condições do subleito da região.

Conclui-se que, com a realização dos ensaios de estabilização química, utilizando adição de 3,5% de cal hidratada, foi observado um acréscimo significativo no módulo de resiliência do material, bem como a diminuição da expansão em 30% e manutenção dos níveis de deformação permanente.

Ainda, foi realizada uma simulação numérica utilizando os valores de módulo de resiliência obtidos nos ensaios com mistura de solo-cal. Os resultados obtidos demonstraram a pertinência do uso do software Systrain para a referida análise de modo que foi possível verificar as condições de desempenho do pavimento ferroviário, o que demonstrou ser factível o uso do referido solo como material de pavimentação uma vez que os resultados de deformação e tensão no subleito permaneceram dentro dos limites admissíveis. No entanto, em função de não atender os requisitos de norma, foi proposto o uso do referido solo como núcleo de aterro e como camada de subleito.

## REFERÊNCIAS

ANTT (2020). **Anuário do Setor Ferroviário. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, DF.** Disponível em: < <https://www.antt.gov.br/anuario-do-setor-ferroviario>>. Acesso em: 16 de abr. 2018.



AREMA (2013). **Manual for Railway Engineering. American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association.** Lanham, MD

DE SOUZA ALMEIDA, L. W., DE SOUZA, L. H. P., DE SOUZA ALMEIDA, W. M., & DA SILVA JÚNIOR, F. V. (2019). **Estabilização química do solo com adição de sílica ativa e cimento, para utilização em camadas de pavimentação rodoviária.** *Engineering Sciences*, 7(1), 11-21.

DOS SANTOS, S. (2011) **Transporte ferroviário: História e Técnicas.** Cengage Learning, Boston, MA, EUA.

EISENMANN J. ET AL. (1974) **Forschungs arbeiten, auf dem gebiet des Eisenbahn- und strasse-nobernaues.**

EPL (2015). **Plano nacional de Logística.** Escritório de planejamento e Logística. Brasília, DF.

GUIMARÃES, J.E.P.(1985) Tijolos solo-cal. In: Reunião Aberta da Indústria da Cal, V, São Paulo. **Anais**, p. 121-130.

HEUKELOM, W.; KLOMP, A. J. G. (1962). **"Dynamic Testing as a Means of Controlling Pavements During and After Construction"**. Proceedings, 1 International Conference of Structures Design of Asphalt Pavements, 1962, Ann Arbor, University of Michigan,

MINEROPAR-MINERAIS, D. P. S. (2001). **Atlas geológico do Estado do Paraná.** Curitiba: Mineropar, 1.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. (2019) **Status dos Projetos de Parcerias. Departamento de Estruturação e Articulação de Parcerias (SFPP).** Disponível em: <[https://www.mattosfilho.com.br/Documents/SFPP\\_PARCERIAS\\_MODALIS\\_PU%CC%81BLICO\\_2019\\_05\\_17.pdf](https://www.mattosfilho.com.br/Documents/SFPP_PARCERIAS_MODALIS_PU%CC%81BLICO_2019_05_17.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2020.

MOTTA, L. M. G. DA; MEDINA, J. (2015). **Mecânica dos Pavimentos.** 3º ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

SENÇO, W. (1997) **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 1ª Edição, Pini. São Paulo,

SILVA FILHO, J. C. (2018). **Contribuição para o Desenvolvimento de um Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Ferroviários com Foco nos Solos Tropicais.** Tese de Doutorado. IME. Rio de Janeiro.

SPADA, J.L.G. (2003) **Uma Abordagem De Mecânica Dos Pavimentos Aplicada Ao Entendimento Do Mecanismo De Comportamento Tensão-Deformação Da Via Férrea** Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Coppe/UFRJ, Rio De Janeiro.

WITIUK, R. L., & FABIANA, B. Ferramenta de auxílio a tomada de decisão para locação de pátio de cruzamento ferroviário. **Anais Congresso ANPET, Balneário Camburiú.**



## **AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO PARA ESTRUTURAS DE ACOSTAGEM DE NAVIOS: ESTUDO DE CASO APLICADO AO TERMINAL PORTUÁRIO PÚBLICO DE ITAJAÍ-SC**

*Helena Paula Nierwinski<sup>1</sup>; Leandro Podda<sup>2</sup>; Marcelo Heidemann<sup>3</sup>; Breno Salgado Barra<sup>4</sup>*

*<sup>1-4</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharias da Mobilidade, curso de Eng. Civil de Infraestrutura*

*helenapaula@ufsc.br; lepodda.engenharia@gmail.com; marcelo.heidemann@ufsc.br; breno.barra@ufsc.br*

### **RESUMO**

O complexo portuário de Itajaí está estrategicamente localizado em um dos principais entroncamentos rodoviários do Sul do Brasil, próximo a grandes rodovias como a BR-101 e BR-470. Sua posição geográfica coloca o Complexo no centro da Região Sul, englobando em um raio de 600 quilômetros, as capitais de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo, tornando a região que movimenta aproximadamente 46% do PIB nacional. Tais características transformam o Complexo em um centro concentrador e distribuidor de cargas, favorecendo o Porto de Itajaí como um dos maiores portos de movimentação de contêineres do Brasil. Buscou-se neste trabalho avaliar os critérios de projeto utilizados para as estruturas de atracação, esforços de amarração e esforços nas defensas gerados pelas embarcações de projeto utilizadas no dimensionamento da reconstrução dos Berços 3 e 4 do Terminal Portuário Público de Itajaí – SC. Avalia-se neste trabalho o fator meio ambiente, amarração e atracação conforme a norma ABNT NBR 9782 (1987) de ambos os berços, considerando também recomendações nacionais de obras portuárias. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles efetivamente utilizados no projeto da estrutura e, com base nos resultados, verificou-se que o esforço de atracação foi 14% superior para a embarcação menor e 43,35% inferior para embarcação maior. Quanto aos esforços de amarração a norma brasileira foi mais conservadora comparada aos resultados dos memoriais de cálculo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Obras portuárias, Parâmetros de projeto, Esforços de amarração, Estruturas de atracação.

### **ABSTRACT**

*Itajaí Port complex is strategically located between the main roads of the south of Brazil, close to the major highways such as BR 101 and BR 470. Its geographic position places the complex in the center of the southern region, encompassing a radius of 600 kilometers of the capitals Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná and São Paulo, a region that generates approximately 46% of the Brazilian GDP. These characteristics allows the complex to become a freight hub and distributor, favoring the Port of Itajaí as one of the largest ports of container shipping in Brazil. The objective of this work was to evaluate the criteria of the docking structure project for the docking structures, mooring efforts and berthing in the group generated by the design vessels used in the dimensioning of the reconstruction of Cribs 3 and 4 of the terminal public port of Itajaí-SC. This final paper evaluates environmental factors, mooring, berthing and the land according to the norm NBR 9782:1987, for the structures as cribs considering as well national recommendations for port works. The results obtained were compared with those used in the design of the structure and, based on the results, it was found that the mooring effort was 14% higher for the smaller vessel and 43.35% lower for larger vessel. As for the mooring efforts the Brazilian standard was more conservative compared to the results of the calculation reports.*

**KEYWORDS:** Harbor constructions, Project Parameters, Efforts of Mooring, Structures Berthing.



## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Portuário Brasileiro, um dos mais tradicionais segmentos da economia nacional, tem origem nos primórdios da colonização do país, dado que o transporte aquaviário era utilizado para comercializar mercadorias entre a colônia e Portugal, conforme dados históricos da Secretaria Nacional de Portos (BRASIL, 2018). O Complexo Portuário de Itajaí é hoje a principal opção para os exportadores e importadores que operam em Santa Catarina e um dos principais complexos portuários do Brasil.

Para Comin (2015) a engenharia de estruturas portuárias engloba o planejamento, projeto e construção de estruturas fixas ancoradas ou flutuantes ao longo de costas oceânicas e de grandes rios e lagos, além das obras da categoria offshore. Comin (2015) menciona que a elaboração de um projeto de estrutura portuária necessita de estudos e dados técnicos para o seu devido desenvolvimento, dependendo basicamente de três características: (i) o tipo de carga a ser movimentada; (ii) os tipos de embarcações e (iii) as condições ambientais locais. Para o desenvolvimento de projetos de instalações portuárias devem ser considerados diversos fatores, além de cuidadosos requisitos operacionais, funcionais e de navegação, sempre se atentando para as verificações ambientais envolvidas e as resoluções estabelecidas pelos órgãos reguladores para as operações que serão realizadas.

Um dos primeiros itens a serem considerados no projeto de uma instalação portuária são os esforços gerados pelo impacto dos navios contra as mesmas e, a respectiva transferência da energia cinética do navio para as estruturas de defesa, devidamente instaladas na face de contato do cais com o navio. Da equivalência entre a energia cinética de impacto dos navios e a energia de deformação, considerando as diversas perdas e outros fatores que influem no processo, podem-se deduzir as forças de impacto para efeitos de dimensionamento das obras e defensas (MASON, 1982). Consequentemente, após a etapa de atracação é necessária uma análise dos esforços de fixação e amarração que serão aplicados nas estruturas portuárias, levando em consideração os fatores ambientais e de carregamento/descarregamento dos navios.

Neste contexto, o presente trabalho busca realizar um levantamento das considerações de projeto para estruturas de defesa e amarração na acostagem de navios, adotados na reconstrução dos berços 3 e 4 do Porto Público de Itajaí – SC. As avaliações são realizadas com base em recomendações da norma brasileira NBR 9782:1987, e comparar os resultados



com dados efetivos de projeto que, em muitos casos, seguiram recomendações internacionais de dimensionamento de estruturas portuárias.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste item serão abordados aspectos relacionados à ações atuantes sobre obras portuárias. No Brasil a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 9782 (1987) – Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais, fixa os valores representativos das ações que devem ser consideradas no projeto de estruturas que envolvam um de seus temas. Embora esta norma esteja cancelada, os critérios apresentados por ela serão discutidos neste trabalho para fins de entendimento e análises e por não existir nenhuma outra legislação nacional em substituição a esta. As diretrizes indicadas pela ABNT NBR 9782 (1987) se aplicam às estruturas de abrigo ou acostagem de navios, nas quais são consideradas as ações provenientes de: a) cargas permanentes; b) sobrecargas verticais; c) cargas móveis; d) meio ambiente; e) atracação; f) amarração; e, g) terreno.

Tendo em vista que os estudos na área estrutural sejam difundidos e amplamente conhecidos, neste trabalho não serão abordados os tópicos referentes às cargas permanentes, sobrecargas verticais e cargas móveis aplicadas nas estruturas de concreto. O desenvolvimento deste trabalho será embasado nos itens relacionados ao meio ambiente e ações provenientes da atracação e amarração, cuja determinação envolve a análise de diversos fatores relacionados ao porto, além de constituírem pontos de maiores dúvidas no momento do desenvolvimento de projetos de obras portuárias.

### **2.1. Ações ambientais**

Pela ABNT NBR 9782 (1987) entendem-se como ações ambientais sobre as estruturas portuárias, marítimas e fluviais, aquelas que são decorrentes das ações das correntes, das marés, das ondas e dos ventos. O valor a ser adotado para a velocidade da corrente fluvial ou marítima, altura de maré e dados de ondas em projetos de estruturas portuárias deve preferencialmente ser aquele obtido através de medições no local da implantação da estrutura portuária.

O período de recorrência dos níveis de água e altura da onda de projeto não pode ser menor que o da expectativa da vida útil da obra, sendo no mínimo de 50 anos. Para o projeto definitivo de obras portuárias expostas à ação de ondas deve-se, sempre que possível,



confirmar o efeito das ações por meio de testes em modelo reduzido, com ondas irregulares e/ou regulares, realizados em laboratório idôneo e laudos finais dos ensaios realizados.

## 2.2. Ações de atracação

De acordo com a ABNT NBR 9782 (1987), as ações de atracação são as decorrentes dos impactos das embarcações sobre as estruturas de acostagem de embarcações. A energia de atracação trata-se da energia cinética característica ( $E_c$ ) transmitida pelo navio durante a atracação, e que deve ser considerada no dimensionamento das estruturas e defensas. Esta energia é determinada pela Equação 1:

$$E_c = \frac{1}{2} \times (M_1 + M_2) \times V^2 \times C_e \times C_r \quad (1)$$

Onde:  $E_c$ = Energia característica nominal;  $M_1$ = Massa deslocada pelo navio;  $M_2$ = Massa de água adicional;  $V$ = Velocidade de aproximação;  $C_e$ = Coeficiente de excentricidade;  $C_r$ = Coeficiente de rigidez.

De acordo com a ABNT NBR 9782 (1987), para a definição dos esforços de atracação devem ser adotados também coeficientes de ponderação, que majoram os valores representativos das ações variáveis, que provoquem efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura, nos esforços perpendiculares às estruturas. No caso de esforços paralelos à estrutura de atracação, novos esforços poderão ser verificados, em função do atrito entre o navio e o sistema de defensas, sendo que o esforço dependerá do material que comporá as defensas. O valor de  $E_c$  ao ser majorado dará origem à energia de projeto ( $E_d$ ).

De acordo com a ABNT NBR 9782 (1987), para absorver a energia de atracação dos navios, as estruturas de acostagem devem ser equipadas com um sistema de defesa que atenda aos seguintes requisitos mínimos de absorção da energia aplicada pelos navios.

## 2.3. Esforços de Amarração

As ações de amarração são as decorrentes dos esforços exercidos pelos cabos de amarração das embarcações nos cabeços ou outros dispositivos de amarração a partir das forças atuantes sobre os navios ou embarcações pela ação dos ventos e correntes.

A norma NBR 9782 (1987) estabelece a fórmula para o cálculo do esforço devido aos ventos sobre um navio (Equação 2):



$$R = k \frac{V^2}{1600} (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \quad (2)$$

Onde:  $R$  = Força devida ao vento em kN;  $V$  = Velocidade característica do vento em m/s;  $k$  = Coeficiente de forma (adimensional);  $A_T$  = Área da seção transversal do navio acima do nível d'água em m<sup>2</sup>;  $A_L$  = Área da seção longitudinal do navio acima do nível d'água em m<sup>2</sup>;  $\theta$  = Ângulo formado pela direção do vento com eixo longitudinal do navio.

A ABNT NBR 9782 (1987) estabelece que para velocidades de vento que provoquem pressões superiores a 1 kN/m<sup>2</sup> não devem ser consideradas, porém não cita os motivos pelos quais esse valor deve ser desconsiderado nos cálculos.

Conforme a norma ABNT NBR 9782 (1987), o esforço devido às correntes sobre um navio pode ser calculado pela Equação 3:

$$R = 0,528 \cdot V^2 \cdot L \cdot D \cdot k \quad (3)$$

Onde:  $R$  = Valor do esforço na direção da corrente, em kN;  $k$  = Coeficiente de forma para ação do vento (adimensional);  $V$  = Velocidade da corrente, em m/s;  $L$  = Comprimento do navio entre perpendiculares, em m;  $D$  = Calado da embarcação, em m.

Os dispositivos de amarração devem ser dimensionados a partir dos esforços exercidos sobre os navios ou embarcações pela ação dos ventos e correntes ou outras ações possíveis ou importantes no caso (ABNT, 1987). Esta avaliação deve ser feita por meio de critérios estáticos, empregando-se fórmulas da aerodinâmica no caso da ação dos ventos e da hidrodinâmica, no caso da ação das correntes. Podem ser empregados, também, resultados de ensaios em modelos reduzidos realizados por laboratórios idôneos.

Para a determinação dos esforços nos cabeços e dispositivos de amarração devem ser verificadas as combinações mais desfavoráveis das ações de ventos e correntes ou outras causas, caso existam, bem como, a disposição de linhas de amarração, incluindo os cabos lançantes, través e espringues na região de atracação.

### 3. METODOLOGIA

Este item as informações referentes ao Porto Público de Itajaí – SC, local de estudo deste trabalho, e em seguida, apresenta-se a metodologia utilizada para a realização das análises.

### 3.1. Local de estudo

O terminal Portuário de Itajaí está localizado a uma latitude 26°54'04'' S e longitude 48°40'06'' W. Sua área de influência, além de abranger o estado de Santa Catarina, é referência para algumas regiões produtoras dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Rio Grande do Sul (ALBERTIN, 2011). Na Figura 1 verifica-se a localização do Porto de Itajaí. O Porto de Itajaí possui como infraestrutura de acostagem quatro berços e um Píer Turístico. O Porto de Itajaí possui quatro berços de atracação, dois são arrendados e dois são públicos.



Figura 1 – Localização do Porto de Itajaí-SC  
Fonte: Autoridade Portuária

Os berços 3 e 4 compõem o cais público, onde podem operar todos os operadores portuários credenciados junto ao Porto de Itajaí e estes serão objeto de estudo do presente trabalho. O berço 3 possui 248 metros de comprimento. Já o berço 4 possui 215 metros de comprimento. Anteriormente os berços 3 e 4, formavam uma frente de atracação triangular, e dessa forma, impossibilitava a atracação de navios de grande porte. Com as obras de reestruturação, ambos os berços foram reforçados e realinhados.

### 3.2. Metodologia de pesquisa

A metodologia de análise adotada é descrita nos itens a seguir e apresentada, para melhor entendimento, no fluxograma da Figura 2. Inicialmente buscou-se o maior número de informações referentes ao Porto de Itajaí. No desenvolvimento do trabalho, verificou-se também a necessidade da realização de visitas técnicas ao Porto, sendo realizadas 3 visitas

durante o período de estudos. Durante estas visitas, projetos e memoriais de cálculo das obras avaliadas foram disponibilizados pelos responsáveis de engenharia da Superintendência do Porto de Itajaí.

Os dados de movimentação das embarcações e praticagem foram fornecidos em visita a sede da empresa responsável pelo serviço de entrada e saída de embarcações do Complexo do Portuário de Itajaí. Informações de temperatura, pluviometria e ventos foram obtidos através do EPAGRI/CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina.

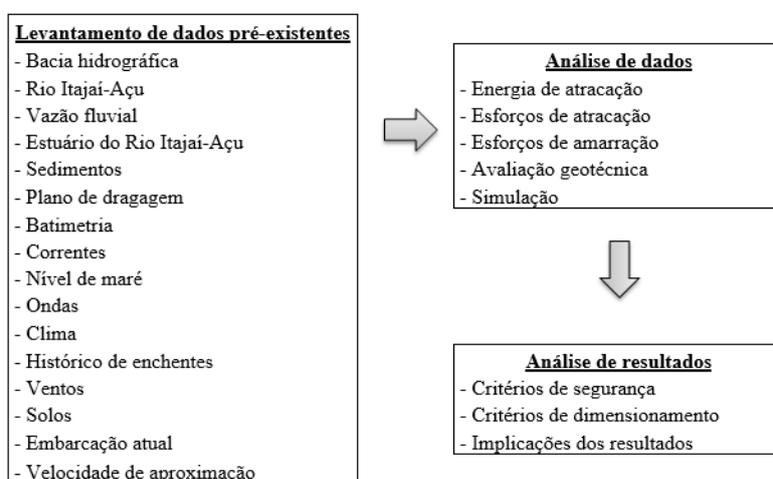


Figura 2 – Fluxograma de organização da pesquisa

Fonte: Autoral

Para uma melhor avaliação dos ventos atuantes na área do Porto, foi elaborada uma rosa dos ventos com auxílio do software WRPLOT View® – Lakes Environmental, simulando-se os ventos registrados para o período da pesquisa. Destaca-se que para a elaboração da rosa dos ventos, os dados fornecidos pelo EPAGRI/CIRAM não foram suficientes, sendo necessário a obtenção de dados através do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia para períodos de vento de hora em hora diários para o local.

Os dados batimétricos puderam ser analisados com base em dados fornecidos pela Marinha do Brasil - Delegacia da Capitania dos Portos em Itajaí.

A avaliação quanto aos esforços foi baseada nos dimensionamentos realizados para a reconstrução do Porto Público de Itajaí, conforme memoriais de cálculo, que foram obtidos durante as visitas ao local. Neste trabalho os dados de energia, esforços de atracação, esforços de amarração e dimensionamento de estruturas foram realizados com base na norma



brasileira ABNT NBR 9782 (1987). Os resultados obtidos foram comparados com os valores apresentados através dos memoriais de cálculo das obras, os quais se basearam em normativas internacionais como a metodologia da *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure* – PIANC e a *British Ship Research Association* – BRSA.

Por fim, por questões visuais de entendimento, simulações foram realizadas com a utilização do software *Infraworks* 2018 da empresa Autodesk®, utilizando os valores obtidos através dos cálculos através das diretrizes da ABNT NBR 9782 (1987). O programa online disponível pela empresa *Trelleborg* também foi utilizado para simulações, permitindo verificar as defensas e cabeços necessários para resistir aos esforços das embarcações.

#### 4. RESULTADOS

Realizando-se um levantamento das informações referentes à bacia hidrográfica do Rio Itajaí verificou-se que o rio possui uma descarga média de aproximadamente 228 m<sup>3</sup>/s, sendo que em períodos de estiagem a 17 m<sup>3</sup>/s (SCHETTINI, 2002). A máxima vazão evidenciada para a região foi de 5,5 mil m<sup>3</sup>/s em períodos de grandes chuvas. Os aspectos sedimentológicos de fundo durante períodos de baixa descarga fluvial são dominados por siltes e argilas, podendo ocorrer entrada de areia fina, em períodos de baixa vazão.

De acordo com dados de batimetria, verificou-se que para os locais dos Berços 3 e 4 do Porto de Itajaí as profundidades atingem a marca de -14,0 metros. A máxima velocidade média de corrente observada no canal do Rio Itajaí-Açu, é de 0,42 m/s na desembocadura, 0,35 m/s na bacia de evolução e 0,55 m/s no meandro situado a montante da bacia de evolução. Do relatório elaborado pelo Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMAR de monitoramento ambiental do estuário do rio Itajaí-Açu do Porto de Itajaí, verificou-se que em novembro de 2018 (período de maior registro de chuvas) a velocidade de corrente atingiu o valor de 0,93 m/s.

De acordo com Truccolo *et al.* (2000), o regime de vento da região é caracterizado por ventos provenientes do quadrante nordeste durante todo o ano, combinado localmente com o efeito das brisas marinha. Os ventos são influenciados por ciclones extratropicais que são mais intensos durante o inverno e primavera, modificando o padrão do vento local, uma vez que, no inverno e primavera existe ocorrência de ventos oriundos do quadrante sul, responsáveis pela entrada de frentes frias na região. Os ventos apresentam velocidade média mensal entre 1,7 m/s (junho) a 2,32 m/s (novembro). Em todos os meses há, em média,

calmaria durante 14 dias. Os ventos dos quadrantes norte e leste, quando fortes, costumam tornar a barra impraticável. Com intuito de comparação foi realizado um levantamento com base nos dados fornecidos pelo INMET para o período. Com o auxílio do software WRPLOT View® – Lakes Environmental foi realizado a simulação dos ventos registrados para o período, conforme Figura 3.

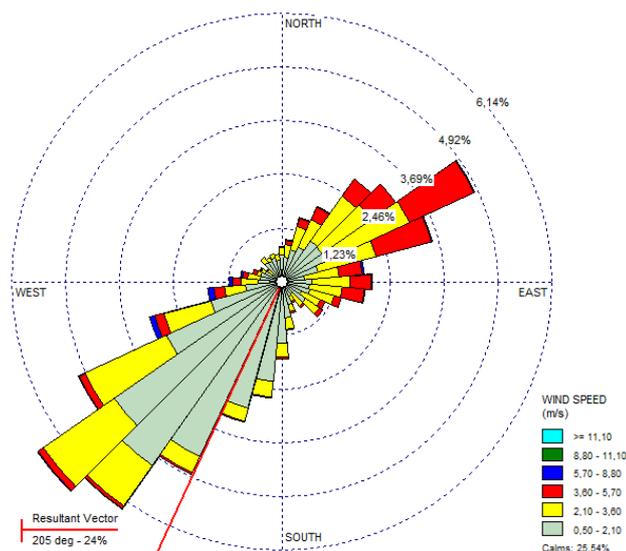


Figura 3 – Rosa dos ventos para o período de 2018 a 2019 – Porto de Itajaí

Fonte: Autoral

O valor médio de rajada de vento para o local de estudo foi de 47 km/h (13 m/s) de acordo com o estudo de impacto ambiental elaborado pelo Laboratório de Climatologia a pedido da SEP / PR – Secretaria de Portos da Presidência da República e Superintendência do Porto de Itajaí.

Para definir a embarcação de projeto foram levantados dados a partir dos relatórios estatísticos mensais cedidos pela Superintendência do Porto de Itajaí e pelo monitoramento online realizado pela empresa responsável pelo serviço de praticagem das embarcações no Complexo Portuário de Itajaí. Sendo assim, a embarcação de menor porte adotada para o dimensionamento foi a embarcação Full Container Post Panamax com 70.000 toneladas de peso bruto (TPB) e a de maior porte foi a embarcação MSC Clorinda 166.000 TPB. A velocidade de atracação verificada para o Complexo Portuário de Itajaí é de aproximadamente  $V_B = 0,12 \text{ m/s}$ , conforme relatos da empresa de praticagem.

Para definição da energia de atracação de ambas as embarcações, utilizou-se a metodologia proposta pela ABNT NBR 9782 (1987), bem como os coeficientes de



ponderação ditados pela mesma. Tais valores foram comparados com os valores apresentados pelo memorial de cálculo da obra, que se baseou na metodologia PIANC. Da mesma forma, os esforços de amarração foram calculados com base nas diretrizes da ABNT NBR 9782 (1987) e posteriormente comparados com os valores apresentados pelo memorial de cálculo da obra, que se baseou na metodologia BRSA. A Tabela 1 indica o comparativo entre os resultados encontrados.

Tabela 1 – Comparativo entre esforços calculados pela NBR 9782 e apresentados no memorial da obra

Esforço	Embarcação	Cálculo NBR 9782	Memorial Projeto
Atracação	Post Panamax	$E_d = 63,02 \text{ tf.m}$	$E_d = 55,5 \text{ tf.m}$
	MSC Clorinda	$E_d = 111,53 \text{ tf.m}$	$E_d = 160 \text{ tf.m}$
Amarração	Post Panamax	Lastro* = 224,82 tf	98,1 tf
		Carregado* = 427,32 tf	
	MSC Clorinda	Lastro* = 499,72 tf	283,1 tf
		Carregado* = 647,36 tf	

\* NBR 9782 considera combinação de ações de vento e correntes no cálculo de esforços de amarração e os valores apresentados correspondem a ventos de rajada (condição crítica)

Fonte: Autoral

Considerando os esforços de atracação, verifica-se que os cálculos baseados na norma brasileira demonstraram que a embarcação Post Panamax apresenta energia de atracação superior ao calculado nos memoriais de cálculo, totalizando uma diferença de 14% no valor de projeto. Para a embarcação MSC Clorinda verifica-se que a energia de atracação é 43,35% inferior a realizada pelo cálculo da PIANC nos memoriais de cálculo.

Já para os esforços de amarração, verifica-se uma divergência expressiva entre os valores encontrados seguindo-se as diretrizes da norma brasileira e os dados fornecidos pelo memorial de cálculo da obra, baseados na metodologia BRSA. Comparando o resultado da embarcação Post Panamax pela metodologia brasileira, verifica-se uma diferença 4,35 vezes superior aos valores obtidos pela BRSA, para a embarcação carregada. A norma brasileira ainda considera necessária a consideração de efeitos mínimos de correnteza, que majoram ainda mais os esforços. Comin (2015) realizou um estudo comparando valores de esforços obtidos entre diferentes normas e constatou que a norma brasileira é mais conservadora e

apresenta valores superiores quando analisada com metodologias de cálculos estrangeiras, corroborando com os resultados do presente estudo. Entretanto, verificou-se que no memorial de cálculo do projeto a maior embarcação não foi considerada totalmente carregada, supondo que a estrutura do porto não teria condições para receber a embarcação nestas condições, o que pode ter contribuído com as altas divergências observadas entre os valores dos esforços.

Considerando-se os esforços de atracação calculados pela norma brasileira, verificou-se que o sistema de defesa poderia ser um pouco inferior ao definido pelo projeto, sendo possível adotar defensas do tipo *Hyper Omega 1150h* ou invés da *Trelleborg SCN 1600*, que foi implantada na obra. Em relação aos cabeços para suportar os esforços de amarração, de acordo com os valores obtidos por meio do cálculo baseado na norma brasileira, os mesmos teriam que ser substituídos por elementos com maior capacidade de suporte.

A Figura 4-a demonstra os resultados obtidos na simulação realizada com o auxílio do software *Infraworks*, em simulação de máxima ocupação da área do porto. Já as Figuras 4-b e 4-c apresentam a simulação para as embarcações de projeto através do programa disponibilizado pela empresa *Trelleborg*, sendo possível visualizar as defensas e cabeços a serem utilizados na estrutura do cais

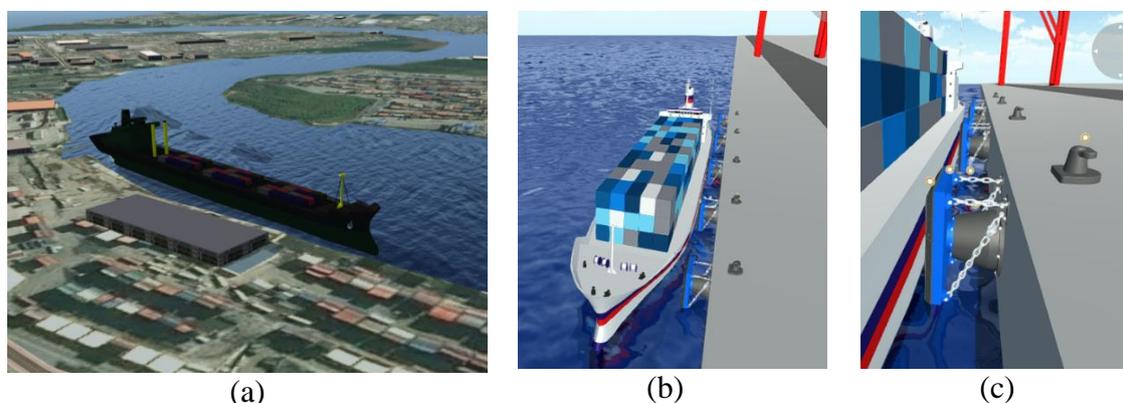


Figura 4 – Simulação através dos softwares *Infraworks* e da empresa *Trelleborg*

Fonte: Autoral

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o levantamento de informações referentes às ações ambientais e operacionais atuantes sobre o Porto de Itajaí, permitindo o cálculo de esforços de atracação e amarração das menores e maiores embarcações. Verificou-se que os resultados encontrados por meio das diretrizes da ABNT NBR 9782 (1987) levaram a um



valor de esforço de atracação 14% superior para a maior embarcação e 43,35% inferior para a embarcação menor, quando comparado aos valores do memorial de cálculo das estruturas, baseados em normas internacionais. Já os esforços quanto aos esforços de amarração, a norma brasileira foi muito mais conservadora comparada aos resultados dos memoriais de cálculo. Como apresentado no documento, normas internacionais tem sido rotineiramente adotadas nos projetos de obras portuárias.

## REFERÊNCIAS

ALBERTIN, C. C. **Porto de Itajaí - SC**. Piracicaba: Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial Esalq-log, 2011. Disponível em: [esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Porto-de-Itajai-SC-ALBERTIN-C.-C.pdf](http://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Porto-de-Itajai-SC-ALBERTIN-C.-C.pdf). Acesso em: 01 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9782: Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas ou Fluviais**. Rio de Janeiro, 1987. Indisponível em: <http://www.abnt.org.br/pesquisas/?searchword=9782&x=0&y=0>. Acesso em: 19 set. 2018.

BRASIL. **Assessoria de Comunicação Social. Secretaria Nacional de Portos. Histórico 2018**. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-1/institucional/base-juridica-da-estrutura-organizacional/historico>. Acesso em: 17 set. 2018.

COMIN, C. **Estruturas Portuárias - Distribuição de Esforços na Infraestrutura devidos à Amarração e Atracação de Embarcações**. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: [www.ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/cristiano.pdf](http://www.ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/cristiano.pdf). Acesso em: 16 set. 2018.

MASON, Jayme. **Obras Portuárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus Ltda. - Portobrás, 1982.

SCHETTINI, Carlos Augusto França. **Dinâmica de sedimentos finos no estuário do Rio Itajaí-Açu**. 2001. 1 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Ufrgs - Programa de Pós-graduação em Geociências, Porto Alegre, 2001.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F.; GERHARDINGER, L. C.; FERREIRA e OLIVEIRA, F. M. **Evidências da circulação induzida pela meteorologia no estuário do rio Itajaí-açu**. In: Semana Nacional de Oceanografia, 13, Anais, UNIVALI, 448-450. 2000.

---

## **EIXO TEMÁTICO: INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

---

**Relatórios de Pesquisa em Andamento**

---





# PROPOSIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO MESTRE DE MANUTENÇÃO PARA PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM

*Ingrid Rebouças de Moura<sup>1</sup>; Herbert Ricardo Garcia Viana<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [ingridmoura@ufrn.edu.br](mailto:ingridmoura@ufrn.edu.br)*

## RESUMO

A indisponibilidade das pistas de pouso e decolagem tem consequências diretas no processamento dos voos, na segurança e na satisfação dos usuários. Visando auxiliar operadores de aeródromos na estruturação da manutenção, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de avaliação dos pavimentos para construção de um Plano Mestre de Manutenção Preventiva, tendo como base um estudo de caso desenvolvido no Aeroporto de Natal/RN. A proposta fundamenta-se na análise de falhas e no estudo do banco de dados do aeroporto, por meio de duas abordagens de manutenção preventiva: sistemática, e condicional. A primeira conta com a utilização de um modelo de previsão em Redes Neurais Artificiais, e a segunda com o Planejamento de Cenários. A abordagem Multicritério de Análise da Decisão foi usada para determinação dos tratamentos a partir de critérios que levem em consideração aspectos técnicos e econômicos da manutenção de pavimentos aeroportuários. Os resultados preliminares mostram-se favoráveis ao desenvolvimento da ferramenta, que considera as diferentes variáveis que interferem no desempenho do pavimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de avaliação, análise multicritério, gestão da manutenção.

## 1. INTRODUÇÃO

O pavimento de um aeroporto está exposto a diversas formas de deterioração, que em geral prejudicam sua confiabilidade durante a vida útil, por isso se faz importante a adoção de medidas que mantenham as condições operacionais, e de segurança (FATURECHI *et al.*, 2014). A ICAO (2017) em seu relatório do Programa de Segurança de Pista, exhibe os dados de acidentes, em sua maioria resultado de excursões em pista, representando 34% das justificativas, em seguida está o contato anormal e as colisões, com respectivamente 28% e 14%. Neste contexto, insere-se a importância da confiabilidade do ativo, que deve ser capaz de manter seus padrões de funcionamento, e embora não exista um rigor relacionado aos elementos de um Sistema de Gerenciamento dos Pavimentos, a ANAC (2017) orienta a utilização de modelos de previsão e a definição de alternativas ótimas de manutenção e reabilitação.

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo a validação de estratégias de pavimentos aeroportuários, a partir da construção de um modelo de avaliação das condições dos pavimentos com base em métodos de inteligência artificial e análise de decisão multicritério



na avaliação de diferentes estados do pavimento, aplicados no Aeroporto de Natal – INFRAMERICA, com PPD do tipo flexível.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a ANAC (2020), os operadores de aeródromo devem realizar avaliações funcionais e estruturais dos pavimentos, sem tomar como base somente ações corretivas próximas do limite aceitável. Bernucci *et al.* (2007) sugere um plano de manutenções periódicas com manutenções preventivas, e Pigozzi *et al.* (2014) e ANAC (2017) ressaltam a importância em se desenvolver ferramentas e metodologias ágeis e fáceis de manipular para as análises. Nesse contexto, entra a utilização de ferramentas como Redes Neurais Artificiais, que de acordo com Ceylan *et al.* (2014), vem sendo empregada na área de pavimentos com as mais diversas finalidades: previsão, elaboração de estratégias de manutenção ou avaliação das condições.

Outra importante ferramenta é o Planejamento de Cenários, que auxilia na tomada de decisões, pois cria situações futuras que esclarecem incertezas e propiciam a adesão de alternativas estratégicas de como lidar com eventos que podem ou não acontecer, já a análise multicritério de apoio à decisão, complementa essa metodologia quantificando o desempenho das opções dentro do contexto apresentado (MONTIBELLER *et al.*, 2006).

## 3. METODOLOGIA

Inicialmente, foram estabelecidas as principais falhas presentes em pavimentos e cada um dos efeitos de falhas potenciais, que pode ocorrer separadamente ou em combinação. Portanto, entende-se que o problema parte da necessidade da implantação de medidas estratégicas, com o intuito de preparar operadores de aeródromos quanto aos efeitos de falhas principais que possam afluir. Em reunião com a equipe do aeroporto, construiu-se a Tabela 1 para análise de falhas. Pautando-se a decisão do tipo de manutenção nas características de projeto e nas consequências das patologias indicadas, foi proposto: a utilização de um modelo de previsão do coeficiente de atrito para determinação sistemática das atividades relacionadas à aderência da pista; e à manutenção sob condição pela parametrização dos modos de falhas elencados. Para avaliar o risco e definir os tratamentos, foi feita uma mesclagem dos índices provenientes do método de Análise de Modo e Efeito de Falha, com parâmetros relacionados a pavimentos aeroportuários. Esses critérios serão analisados com



o emprego dos métodos de apoio a decisão multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para estabelecer a importância dos critérios, e o método da Teoria do Valor de Atributos Múltiplos, para quantificar o desempenho de cada tratamento em cada critério.

Tabela 1 - Análise de falhas potenciais em pavimentos aeroportuários e proposta de avaliação das estratégias de manutenção.

<b>Análise</b>	<b>Modos de Falha</b>	<b>Efeitos de Falha</b>	<b>Causas de Falha</b>	<b>Avaliação</b>
Aderência	1.Acúmulo de água 2.Baixo atrito entre pneu-pavimento	1.Derrapagem/Perda de controle direcional 2. Redução da ação de frenagem	1.Acúmulo de borracha 2.Características da superfície do pavimento 3.Parâmetros de operação dos veículos 4.Propriedades dos pneus 5.Condições ambientais	Sistemática
Conforto e rolamento	1.Irregularidade do pavimento 2.Defeitos na superfície 3.Detritos de objetos estranhos (FOD)	1.Aumento da fadiga dos componentes das aeronaves 2.Vibrações no cockpit da aeronave	1.Idade do pavimento 2.Condições ambientais 3.Problemas construtivos 4.Material utilizado 5.Condições de tráfego 6.Intervenções no pavimento 7.Acúmulo de borracha 8.Derramamento de óleo ou combustível 9.Materiais externos ao pavimento	Sob condição
Estrutural	1.Trincas do tipo couro de jacaré 2.Afundamento da trilha de roda 3.Solevamento da camada asfáltica 4.Bacias de deflexão	1. Opera voos com restrições	1.Tráfego de aeronaves 2.Condições ambientais 3.Problemas construtivos 4.Qualidade do solo do subleito 5.Materiais de composição	Sob condição

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

Para efeito de avaliação dos cenários resultantes dos modelos de avaliação propostos, foram identificados os critérios da Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para avaliação das estratégias de manutenção a nível funcional e estrutural.

<b>Critérios para avaliação</b>	<b>Descrição</b>
C1 – Impacto operacional	Probabilidade da falha parar ou prejudicar as operações de voo.
C2 – Localização	Probabilidade da falha está presente em local crítico de tráfego.
C3 – Orçamento	Probabilidade da falha existir e gerar gastos extensos com restauração.
C4 – Ocorrência	Probabilidade da causa existir e provocar uma falha.
C5 – Detecção	Probabilidade da falha ser detectada antes do início das operações de voo.
C6 – Severidade	Probabilidade em que o cliente identifica e é prejudicado pela falha.

Este trabalho considera para fins de avaliação onze ações: inspeções de rotina; remoção do contaminante; remendo superficial; remendo profundo; lama asfáltica; tratamentos superficiais; tratamento prévio do pavimento existente; construção de camada intermediária; projeto da camada de recapeamento; reconstrução; e implantação de *grooving*. A opção “não fazer nada”, não foi considerada por questões de segurança aeroportuária.



## 5. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Até o momento obteve-se a análise das principais normativas relacionadas a pavimentos aeroportuários e conhecimento das metodologias empregadas. Pretende-se obter até o fim deste trabalho: um modelo de avaliação para manutenção sistemática, e condicional; estabelecer as ações que melhor atendam a PPD; analisar o risco de cada falha; e construir uma escala de verificação das falhas para otimização do processo de análise.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Superintendência do Aeroporto de Natal – INFRAMERICA.

## REFERÊNCIAS

ANAC. Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil N° 153**, Emenda nº 05. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília/DF, 2020. 112p.

ANAC. **Manual de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários – SGPA**. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília: Assessoria de Comunicação Social (ascom), 2017.

FATURECHI, Reza; LEVENBERG, Eyal; MILLER-HOOKS, Elise. Evaluating and optimizing resilience of airport pavement networks. **Computers & Operations Research**. [s. l.], p. 335-348. mar. 2014.

ICAO. **Runway Safety Programme** – Global Runway Safety Action Plan. Peru: Global Runway Safety Action Plan, 2017.

CEYLAN, Halil; BAYRAK, Mustafa Birkan; GOPALAKRISHNAN, Kasthurirangan. Neural Networks Applications in Pavement Engineering: A Recent Survey. **International Journal of Pavement Research And Technology**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.434-444, nov. 2014.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2007. 504 p.

PIGOZZI, Franco et al. Implementation of deflection bowl measurements for structural evaluations at network level of airport pavement management system. **International Journal on Pavement Engineering & Asphalt Technology**. [s.l.], p. 1-16. dez. 2014.

MONTIBELLER, Gilberto; GUMMER, Haidee; TUMIDEI, Daniele. Combining scenario planning and multi-criteria decision analysis in practice. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, [s.l.], v. 14, n. 1-3, p.5-20, jan. 2006.



# Realização

---

