



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**ISABEL CRISTINA NIBON**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO E DE CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DE  
PAVIMENTOS NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM TRECHOS URBANOS DE  
GOIÂNIA-GO**

**FORTALEZA**

**2024**

ISABEL CRISTINA NIBON

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO E DE CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DE  
PAVIMENTOS NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM TRECHOS URBANOS DE  
GOIÂNIA-GO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Infraestrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N49a Nibon, Isabel Cristina.

Análise da Influência do Tráfego e de Condições Superficiais de Pavimentos no Consumo de Combustível em Trechos Urbanos de Goiânia-GO / Isabel Cristina Nibon. – 2024.  
70 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Junior.

1. Trechos Urbanos. 2. Combustível. 3. Tráfego. 4. Velocidade. 5. Irregularidade. I. Título.  
CDD 388

---

ISABEL CRISTINA NIBON

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO E DE CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DE  
PAVIMENTOS NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM TRECHOS URBANOS DE  
GOIÂNIA-GO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Infraestrutura de Transportes.

Aprovada em: 27/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Arielle Elias Arantes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus e à Virgem Maria Santíssima.

Ao meu esposo e meus filhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e à Virgem Maria, por tamanha misericórdia e benevolência comigo.

Ao meu esposo, por ser tão dócil e por me lembrar todos os dias dos meus deveres como estudante. Você é o único e grande amor da minha vida, minha maior inspiração como profissional.

Aos meus filhos que estão no céu e ao meu filho Antônio que está aqui na terra, que são meu principal combustível para ser uma pessoa melhor.

À minha mãe e à minha avó, minhas grandes inspirações de mulheres. Em especial à mamãe, por ter me ajudado na coleta de dados.

Aos colegas de Goiás, que tão bem me acolheram.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Ernesto Nobre, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Arielle Arantes e Fábio Porto pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus verdadeiros amigos de Fortaleza e a todos os profissionais que cruzaram meus caminhos na UFC.

“Cumpre o pequeno dever de cada momento;  
faz o que deves e está no que fazes.”

São Josemaría Escrivá

## RESUMO

As condições das vias afetam de maneira particular os custos operacionais de veículos e, conseqüentemente, afetam usuários de rodovias. Em se tratando de custos de usuários, o custo relacionado ao consumo de combustível representa mais de 50% do custo total operacional do veículo, e em alguns casos, a qualidade das estradas pode contribuir para até 15% do consumo de combustível de um veículo. Portanto, o objetivo do trabalho é analisar a influência do tráfego, da velocidade e da qualidade de trechos selecionados de vias no consumo de combustível, dentro do perímetro urbano de Goiânia-GO. A pesquisa avaliou tais pontos por meio de um estudo de caso utilizando dados coletados em trechos urbanos com características semelhantes, porém com qualidades de pavimento distintas. Foram selecionados três trechos de vias urbanas de fluxo ininterrupto, cada um com qualidade estrutural baixa, média e alta, de acordo com o valor do *International Roughness Index* (IRI) calculado pelo aplicativo Carbin. Tais trechos pertencem a duas vias de Goiânia: Av. Marginal Botafogo e Av. Perimetral Norte. Com o auxílio de um veículo de teste Ford Ka Hatch 2018 e do scanner OBD II, foi possível construir cenários de consumo de combustível quando há alto volume de tráfego e baixo volume de tráfego e construir cenários em que as três vias foram percorridas com uma velocidade baixa (30 km/h – 40 km/h), média (50 km/h – 60 km/h) e alta (70 km/h – 80 km/h). Com todas as coletas e os cálculos feitos, concluiu-se que o consumo de combustível é maior em trechos com alto volume de tráfego, em trechos percorridos em baixa velocidade e em trechos com altos valores de IRI. Na Av. Marginal Botafogo, por exemplo, a média de consumo a cada 100 m foi de 19,42 ml em alto volume de tráfego para 7,30 ml em baixo volume de tráfego e de 6,00 ml em alta velocidade para 9,50 ml em baixa velocidade. Além disso, os menores resultados de consumo de combustível foram coletados no trecho de menor valor de IRI.

**Palavras-chave:** Trechos Urbanos. Combustível. Tráfego. Velocidade. Irregularidade.

## ABSTRACT

Road conditions particularly affect the operating costs of vehicles and, consequently, affect road users. When it comes to user costs, the cost related to fuel consumption represents more than 50% of the total operating cost of the vehicle, and in some cases, road quality can contribute to up to 15% of a vehicle's fuel consumption. Therefore, the objective of the research is to analyze the influence of traffic, speed and quality of selected sections of roads on fuel consumption, within the urban perimeter of Goiânia-GO. The research evaluated these points through a case study using data collected in urban areas with similar characteristics, but with different pavement qualities. Three sections of urban roads with uninterrupted flow were selected, each with low, medium and high quality, according to the value of the International Roughness Index (IRI) calculated by the Carbin application. These stretches belong to two roads in Goiânia: Av. Marginal Botafogo and Av. North Perimeter. With the help of a 2018 Ford Ka Hatch test vehicle and the OBD II scanner, it was possible to build fuel consumption scenarios when there is high volume of traffic and low volume of traffic and to build scenarios in which the three lanes were driven at a speed low (30 km/h – 40 km/h), medium (50 km/h – 60 km/h) and high (70 km/h – 80 km/h). With all the collections and calculations made, it was concluded that fuel consumption is higher on sections with a high volume of traffic, on sections traveled at low speed and on sections with high IRI values. On Av. Marginal Botafogo, for example, the average consumption per 100 m went from 19.42 ml in high traffic volume to 7.30 ml in low traffic volume and from 6.00 ml in high speed to 9.50 ml at low speed. Furthermore, the lowest fuel consumption results were collected in the section with the lowest IRI value.

**Keywords:** Urban Areas. Fuel. Traffic. Speed. Roughness

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixas de variação do IRI .....	22
Figura 2 - Modelo de quarto de carro .....	22
Figura 3 – Parâmetros de irregularidade do PSD .....	26
Figura 4 – Abordagem do Carbin em escala local.....	27
Figura 5 - Abordagem do Carbin em escala estadual .....	27
Figura 6 - Aplicativo Car Scanner .....	32
Figura 7 - Etapas metodológicas .....	33
Figura 8 - Distribuição dos pontos semaforicos em Goiânia-GO .....	34
Figura 9 - Trechos selecionados .....	35
Figura 10 - Densidade semaforica Av. Marginal Botafogo .....	36
Figura 11 - Densidade semaforica Av. Perimetral Norte .....	36
Figura 12 - Métodos de cálculo de consumo de combustível.....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média de contagem volumétrica Av. Marginal Botafogo .....	38
Gráfico 2- Média de contagem volumétrica Av. Perimetral Norte .....	39
Gráfico 3 - Consumo em diferentes volumes de tráfego na Botafogo .....	44
Gráfico 4 - Consumo em diferentes volumes de tráfego na Perimetral Antes .....	45
Gráfico 5 - Consumo em diferentes volumes de tráfego na Perimetral Depois .....	46
Gráfico 6 - Consumo em diferentes velocidades na Botafogo .....	47
Gráfico 7 - Consumo em diferentes velocidades na Perimetral Antes .....	48
Gráfico 8 - Consumo em diferentes velocidades na Perimetral Depois .....	49
Gráfico 9 - Volume de Tráfego, IRI e Consumo.....	53
Gráfico 10 - Velocidade, IRI e Consumo .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do IRI.....	23
Tabela 2 - Classificação do IRI adotada no SmartIRI .....	23
Tabela 3 – Valores de R para as diferentes velocidades .....	24
Tabela 4 - Dados do veículo de teste .....	31
Tabela 5 - Valores de IRI para a Av. Marginal Botafogo.....	50
Tabela 6 - Valores de IRI para a Av. Perimetral Norte Antes.....	51
Tabela 7 - Valores de IRI para a Av. Perimetral Norte Depois .....	52
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos do consumo (ml) nos diferentes cenários e trechos .....	52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Contextualização.....	14
1.2 Justificativa .....	15
1.3 Questões de Pesquisa .....	16
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	16
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	17
1.5 Estrutura da Dissertação .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 Sistema Viário .....	18
2.1.1 <i>Caracterização Geral das Vias</i> .....	18
2.1.2 <i>Condições da Via</i> .....	19
2.2 Irregularidade .....	20
2.2.1 <i>International Roughness Index - IRI</i> .....	21
2.3 Aplicativo SmartIRI .....	23
2.4 Aplicativo Carbin.....	24
2.4.1 <i>Lógica do Carbin</i> .....	25
2.5 Custos Operacionais de Veículos .....	27
2.5.1 <i>Consumo de Combustível</i> .....	28
2.6 Scanner Automotivo .....	29
2.6.1 <i>OBD II</i> .....	29
<b>3 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	<b>31</b>
3.1 Materiais.....	31
3.2 Método .....	32
3.2.1 <i>Seleção de Trechos</i> .....	33
3.2.2 <i>Coleta de Dados</i> .....	37
3.2.2.1 <i>Coleta de Dados de Tráfego</i> .....	37
3.2.2.2 <i>Coleta de Dados de Consumo de Combustível</i> .....	39
3.2.3 <i>Elaboração de Planilhas</i> .....	41
3.2.4 <i>Comparação de Resultados</i> .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>43</b>
4.1 Tráfego.....	43

<i>4.1.1 Tráfego na Av. Marginal Botafogo</i> .....	43
<i>4.1.2 Tráfego na Av. Perimetral Norte Antes</i> .....	44
<i>4.1.3 Tráfego na Av. Perimetral Norte Depois</i> .....	45
<b>4.2 Velocidade</b> .....	46
<i>4.2.1 Velocidade na Av. Marginal Botafogo</i> .....	46
<i>4.2.2 Velocidade na Av. Perimetral Norte Antes</i> .....	47
<i>4.2.3 Velocidade na Av. Perimetral Norte Depois</i> .....	48
<b>4.3 Qualidade da Via</b> .....	49
<i>4.3.1 Qualidade na Av. Marginal Botafogo</i> .....	49
<i>4.3.2 Qualidade na Av. Perimetral Norte Antes</i> .....	50
<i>4.3.3 Qualidade na Av. Perimetral Norte Depois</i> .....	51
<b>4.4 Avaliação Estatística</b> .....	52
<i>4.4.1 Tráfego, IRI e Consumo</i> .....	53
<i>4.4.2 Velocidade, IRI e Consumo</i> .....	54
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
<b>APÊNDICE A – DADOS DE CONSUMO OBTIDOS COM CAR SCANNER</b> .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial, constam a abrangência do estudo e a justificativa dada a ele, mostrando a importância de sua execução. Junto a isso, estão as questões de pesquisa, os objetivos e a estrutura da dissertação.

### 1.1 Contextualização

Na história das estradas e das suas construções, os usuários delas sempre foram levados em consideração. Quanto mais importante é a rodovia, maior é o cuidado fornecido ao usuário. A partir da forte expansão da rede rodoviária, em 1950 nos Estados Unidos, foi necessário que fossem intensificadas pesquisas em métodos de quantificação dos efeitos que as características das rodovias têm nos custos operacionais dos veículos.

De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2022), aproximadamente 66% das rodovias brasileiras apresentam-se em condições inadequadas, com algum tipo de problema de maneira geral. Dos trechos analisados pela CNT (2022), 55,5% têm problemas no pavimento, 60,7% têm deficiência na sinalização e 64% têm falhas na geometria. Isso tem direta relação com o desenvolvimento do País, uma vez que um trecho de via com problemas impacta nos custos dos usuários, bem como nos custos totais dos transportes. Nesse contexto, os defeitos de pavimentos, além de interferirem no veículo, também interferem no conforto e nos custos do usuário da via (CHEN *et al.*, 2019).

Em se tratando de custos de usuários, segundo Islam e Buttlar (2012), o custo relacionado ao consumo de combustível representa mais de 50% do custo total operacional do veículo. Por causa disso, é importante dar foco à quantificação de tal item. É aceito, de acordo com Sandberg (1990), que o consumo de combustível de um veículo é causado pelas seguintes maiores perdas relacionadas a: perdas de motor, ventilador, escapamento e transmissão; perdas de arrasto aerodinâmico; perdas de resistência ao rolamento e perdas de suspensão. Além disso, ainda segundo Sandberg (1990), o consumo de combustível é também função da velocidade de condução, condições do vento, comportamento do condutor e design do veículo.

Outro fator citado que interfere no custo dos usuários são os defeitos presentes nos pavimentos, que influenciam no conforto do usuário durante o tráfego e são considerados um indicador para a determinação da condição do pavimento (CHEN *et al.*, 2019). Os

usuários têm direta relação com isso devido aos maiores gastos com manutenção mecânica, consumo de combustível, pneus e tempo de viagem (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Por sua vez, os defeitos de pavimentos têm a ver com a irregularidade longitudinal do pavimento, a qual, segundo Carey e Irick (1960), pode comprometer o propósito para o qual ele é construído: fornecer suavidade, segurança e conforto. A irregularidade das superfícies da rodovia é um dos vários fatores ligados aos custos operacionais de veículos, os quais são geralmente agrupados em três pontos: veículo, rodovia e tráfego (TAN *et al.*, 2012). Aplicativos para *smartphones*, como SmartIRI (ALMEIDA, 2018) e Carbin (CSHUB, 2019), têm sido desenvolvidos para se obter dados de irregularidade.

Há vários métodos de mensuração do consumo de combustível, com semelhanças e diferenças entre si. Um exemplo é a utilização de *scanners*, os quais medem diferentes sensores do veículo e, a partir de equações, torna-se viável o cálculo do consumo de combustível. Tecnologias que analisam o consumo de combustível em automóveis são essenciais para gerir, controlar e otimizar o custo dos abastecimentos e o custo dos usuários (FURRIELA, 2000). Nesse contexto é que surge o *On-Board Diagnostic* (OBD), um sistema de diagnóstico que, além de controlar e monitorar dados de emissões de gases veiculares, é utilizado para a coleta de dados de consumo de combustível.

Há disponível uma grande quantidade de estudos (SAYERS E KARAMIHAS, 1998; SANDBERG, 1990; TAN *et al.*, 2012; ISLAM E BUTTLAR, 2012; AZEVEDO, 2019) os quais relacionam a irregularidade longitudinal com o consumo de combustível. Entretanto, cabe a necessidade de relacionar não somente a irregularidade longitudinal com o consumo de combustível, mas também relacionar o tráfego (fluxo interrompido e fluxo ininterrupto) com o consumo de combustível e a mudança de faixas de velocidade com o consumo de combustível.

## 1.2 Justificativa

Alguns trechos urbanos do Brasil, na generalidade, estão em condições inadequadas de trafegabilidade, muitas vezes por causa da deterioração e da falta de manutenção das superfícies dos pavimentos (SOUSA; OLVEIRA, 2016). Isso aumenta o consumo de combustível, gerando aumento direto e custos para os usuários das vias. Segundo a U.S. Energy Information Administration (2011), o consumo mundial de petróleo pode aumentar 53% até 2035, o que contribui para o crescente aumento do custo de aquisição desse tipo de combustível.

Nesse contexto, as condições de trafegabilidade têm a ver com o adequado desempenho do comportamento estrutural e superficial do pavimento. Do ponto de vista do usuário, as condições superficiais são mais evidentes, pois estão ligadas ao conforto ao trafegar pelas vias (CASTRO *et al.*, 2019).

De acordo com Souza (2016), outros tópicos que têm influência na quantidade de consumo de combustível são as características de condução do veículo como: arrancadas bruscas, redução do acionamento da embreagem e constantes trocas de câmbios. Tais itens possuem relação com o volume de tráfego e com a velocidade escolhida para percorrer distâncias da via. Nesta conjuntura, com a demanda crescente de tráfego e com o inevitável aumento da idade dos pavimentos, fica cada vez mais difícil mitigar os efeitos da deterioração das vias (GOTO, 2010).

Entretanto, as relações entre o consumo de combustível, o tráfego, a velocidade de trajeto e a qualidade estrutural da via ainda não estão completamente estabelecidas nos vários trechos viários do território nacional. Em Goiânia-GO, onde há carência de estudos na área e crescente desgaste de importantes vias urbanas, a situação não é diferente. Portanto, são necessários estudos para a determinação da influência do tráfego, da velocidade e da qualidade das vias urbanas no consumo de combustível na capital do estado de Goiás.

### **1.3 Questões de Pesquisa**

Esse estudo foi motivado pelas seguintes questões:

- a) Há trechos de vias de 2 km de extensão e de fluxo ininterrupto dentro do perímetro urbano de Goiânia-GO?
- b) Qual método utilizar para o cálculo do consumo de combustível?
- c) Como o tráfego influencia no consumo de combustível de veículos?
- d) Qual a relação entre velocidade percorrida e consumo de combustível?
- e) A qualidade da via impacta nos níveis de consumo de combustível?

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo Geral***

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a influência do tráfego, da velocidade e da qualidade da via no consumo de combustível de trechos selecionados, dentro do perímetro urbano de Goiânia-GO.

#### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

Como objetivos específicos do presente trabalho, podem ser destacados:

- a) Mapear trechos de vias urbanas de fluxo ininterrupto e com qualidades distintas em Goiânia-GO.
- b) Utilizar um scanner no veículo de teste para auxílio na obtenção de dados de consumo de combustível.
- c) Entender a interferência do fluxo veicular no consumo de combustível.
- d) Relacionar a velocidade de percurso com o consumo de combustível.
- e) Comparar valores de consumo de combustível em vias com diferentes qualidades.

#### **1.5 Estrutura da Dissertação**

O trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste Capítulo introdutório, no Capítulo 2 é apresentada uma revisão acerca da literatura, de forma que todo o conhecimento necessário para o entendimento dos resultados esteja embasado nos estudos citados. Os principais tópicos trabalhados têm a ver com vias urbanas e com o consumo de combustível.

Os capítulos remanescentes da dissertação são descritos a seguir. No Capítulo 3 é descrito o método utilizado durante a execução do trabalho, o qual é dividido em quatro etapas. Já no Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, extraídos de análises feitas em campo. Por fim, no Capítulo 5 constam as conclusões acerca dos resultados obtidos, além das limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será desenvolvida uma revisão da bibliografia a respeito do assunto em estudo, com a finalidade de compreendê-lo melhor e para um futuro entendimento dos resultados obtidos. Será abordado o conceito de sistema viário no geral, para o posterior aprofundamento em temas como irregularidade das vias e custos operacionais, com destaque para o custo referente ao consumo de combustível. Em relação a isso, serão levantados alguns estudos e alguns equipamentos para a mensuração.

### 2.1 Sistema Viário

O sistema viário diz respeito ao conjunto de vias públicas projetadas e construídas com a finalidade de auxiliar na mobilidade de veículos e pedestres (PLAN GERAL, 2001). Mais especificamente, as vias urbanas de circulação são espaços de uso público os quais têm a finalidade de facilitar a circulação de veículos e pedestres e que englobam as calçadas e as ruas (SALVADOR, 1985). Além disso, a via urbana é útil na distribuição de energia elétrica, na distribuição de sinais televisivos e de telefonia e na condução de água potável (ANTP, 2003).

Nesse contexto, o objetivo final do planejamento viário é garantir condições de tráfego seguras e suaves ao longo de todo o sistema de vias. Embora seja importante que as vias tenham capacidade suficiente para acomodar a demanda de tráfego, é fundamental reconhecer que o projeto e a gestão das vias devem ser tomados para assegurar que a capacidade disponível não seja indevidamente afetada pela criação de gargalos e conflitos (BAKER, 1975).

#### 2.1.1 Caracterização Geral das Vias

Ao fazer análise de vias, é necessário considerar que ambientes e vias urbanas e rurais têm diferentes condições operacionais para os usuários. Logo, técnicas de avaliação e de tratamento exitosas em uma situação podem ser ineficazes quando aplicadas em outro cenário (SAMPEDRO; CAMPOS, 2006).

De acordo com Goldner (2008), há vários possíveis critérios de classificação das vias, como quanto a: gênero (aerovias, ferrovias), espécie (urbana, rural), posição (radial, perimetral), número de pistas (simples, múltiplas) e função (expressa, arterial). Tais

classificações têm por base a melhoria das condições de vivência socioambiental e a melhoria ou manutenção da capacidade das vias (CARVALHO, 2002).

Em se tratando de vias urbanas, elas podem ser de um ou dois sentidos de circulação. Elas também podem ser classificadas em principais ou secundárias, de acordo com a prioridade de circulação nas interseções. No que diz respeito ao modo de circulação dos veículos, as vias urbanas podem ser classificadas em partilhadas, segregadas e exclusivas. As vias urbanas podem também ser classificadas de acordo com a função. Por definição, de acordo com Sampedro e Campos (2006), a classificação funcional das vias é “o agrupamento objetivo de vias, avenidas e ruas num sistema integrado, no qual é dada a categoria a cada um conforme a relevância para a cidade, para o uso do solo e para os tipos de usuários”. De maneira geral, são convencionados quatro níveis de vias, sendo elas: vias expressas ou de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais.

No nível mais baixo, há uma via local que dá acesso às unidades habitacionais. As vias locais alimentam as vias coletoras que ligam vários bairros. As vias coletoras alimentam as vias arteriais as quais fornecem conexões em larga escala. No nível mais alto estão as vias expressas ou de trânsito rápido que transportam o tráfego regional intermunicipal (BAKER, 1975).

Também de acordo com Baker (1975), as funções das vias evoluíram ao longo do tempo. À medida que uma região se torna mais intensamente construída ou urbanizada, os volumes de tráfego em uma via arterial podem aumentar e as velocidades podem diminuir. Um plano de transporte a longo prazo de uso do solo deve ser desenvolvido para determinar não apenas a classe funcional de uma via em particular, mas também para estabelecer a vida útil estimada dessa via dentro da classe.

### ***2.1.2 Condições da Via***

A importância da gerência de pavimentos consiste no fato de que ela proporciona aos usuários condições de vias aceitáveis a um custo mínimo, por meio da integrada e eficiente coordenação das etapas de concepção, construção e manutenção de pavimentos viários. Por isso, o correto diagnóstico a respeito das condições de pavimentos (conforto ao rolamento, segurança, irregularidade longitudinal e textura) em certo momento da vida de serviço requer bastante estudo e experiência. (GONÇALVES, 1999).

Os principais parâmetros funcionais de um pavimento (economia, rapidez, segurança e conforto) afetam de maneira mais direta usuários de rodovias, pela facilidade de

percepção. A economia tem a ver com os custos operacionais, ou ainda com consumo de combustível, e isso pode ser mensurado; a rapidez com tráfego e percepção de usuário sobre tempo de viagem; a segurança com a resistência à derrapagem ou com o atrito em pista molhada e o conforto ao rolamento diz respeito à irregularidade longitudinal da via, a qual, por sua vez, tem relação com o acúmulo de deformações permanentes sob cargas repetidas nas camadas do pavimento (GONÇALVES, 1999).

## 2.2 Irregularidade

Os métodos de gerência e avaliação de manutenção de pavimentos têm como base, de modo geral, avaliações estruturais e funcionais do pavimento, as quais identificam o seu estado atual e sua vida útil. Nesse contexto, a irregularidade tem relevância no que diz respeito à manutenção de pavimentos pelo seu aspecto econômico, além de ser um dos principais parâmetros que influenciam, na opinião pública, na qualidade e na condição da via (VIEIRA; SOARES, 2012).

A irregularidade longitudinal de um pavimento pode ser definida, segundo Bernucci *et al.* (2008), como “o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico” e tem relação com custos operacionais de veículos, pois, além de afetar a drenagem superficial da via, a irregularidade longitudinal afeta a dinâmica do veículo, a qualidade ao rolamento e o efeito dinâmico das cargas (BENEVIDES, 2006).

Dada a relevância de mensurar a irregularidade longitudinal de pavimentos, vários equipamentos podem ser usados para esse fim. Eles diferem entre si quanto à produtividade, às características e à eficiência do levantamento. A Irregularidade pode ser analisada por medidores de perfil, por exemplo o perfilômetro a laser ou por medidores tipo resposta.

Historicamente, os Estados Unidos criaram um dos primeiros equipamentos, chamado perfilógrafo, cujo fim era quantificar a qualidade de rolamento de pavimentos. O perfilógrafo do Departamento de Illinois foi um dos primeiros e que operava a baixa velocidade (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Ainda segundo Bernucci *et al.* (2008), ratifica-se que é possível mensurar a irregularidade tanto por meio de medidas topográficas quanto por meio de equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato. A irregularidade também pode ser indiretamente levantada com equipamentos do tipo “resposta”, os quais são capazes de fornecer a soma de desvios entre a suspensão e o eixo de um veículo. O termo “resposta” é

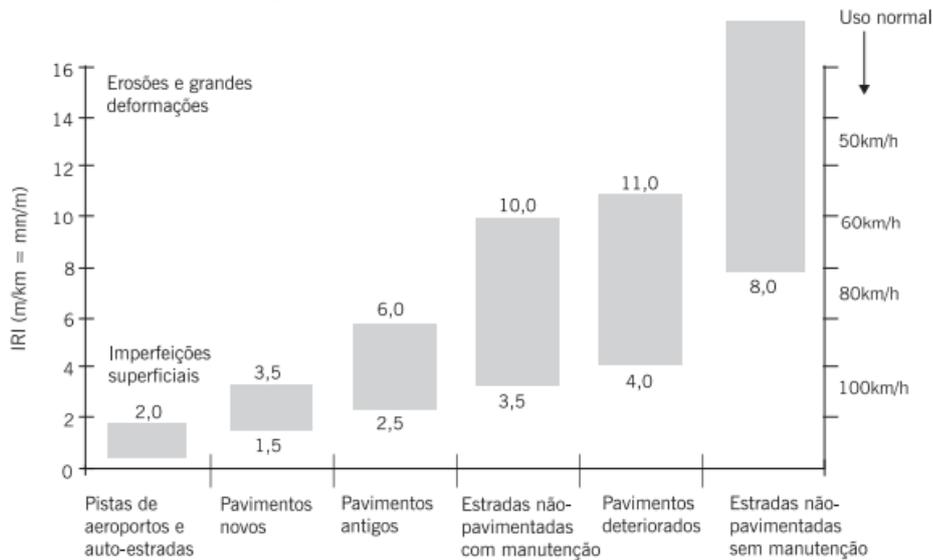
justificado porque tais equipamentos, em vez de medir efetivamente a irregularidade, medem mais o efeito da irregularidade nos veículos.

Como dito, há algumas maneiras de se obter dados a respeito da irregularidade de um pavimento, por exemplo com o levantamento de medidas topográficas. Ademais, de acordo com Nunes (2012), ferramentas computacionais também são bastante úteis para essa finalidade. É nesse contexto que surge o HDM-4 (*The Highway Development and Management System*), utilizado em mais de 100 países para investigar a viabilidade econômica de projetos rodoviários e otimizar os benefícios econômicos para os usuários das estradas sob os diferentes níveis de despesas. Além disso, esse modelo fornece ferramentas avançadas de análises de investimentos rodoviários com aplicabilidade em diversos climas e condições (KERALI, 2000). Ele surge em consequência do avanço, desenvolvimento e atualização do HDM III, posto que: leva em consideração diversos tipos de pavimentos, permite que modelos genéricos alterem valores de coeficientes em função do tipo de pavimento e utiliza modelos mais detalhados (CAMPOS, 2004).

### ***2.2.1 International Roughness Index - IRI***

A rugosidade do pavimento, ou ainda, a irregularidade do pavimento é medida geralmente pelo *International Roughness Index* (IRI). O IRI, índice estatístico medido em m/km, é um parâmetro de entrada para calcular a resistência ao rolamento, que é reconhecida por seu efeito direto no consumo de combustível (AZEVEDO, 2019). Na Figura 1 é mostrada as faixas de variação do IRI em vários casos e situações, para diferentes tipos de pavimento e de velocidade. De acordo com Sayers e Karamihas (1998), o IRI é uma propriedade geométrica da via e, por ser um índice estável ao longo do tempo, gera os mesmos valores para as mesmas vias.

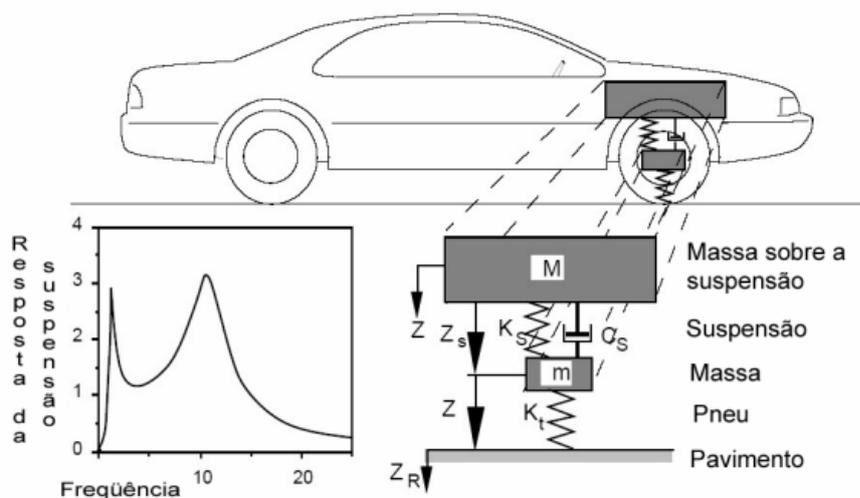
Figura 1 - Faixas de variação do IRI



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

O cálculo do IRI tem como base um modelo matemático chamado de modelo de quarto de carro, mostrado na Figura 2. Ele seria movimentado por toda a extensão longitudinal de um pavimento, simulando a movimentação de um quarto de carro a 80 km/h, com apenas mola, amortecedor, massa e pneu. Tal modelo matemático, por meio dos parâmetros da estrutura do carro e por meio dos deslocamentos do perfil medido, calcula a deflexão da suspensão do quarto de carro (MAGALHÃES, 2019).

Figura 2 - Modelo de quarto de carro



Fonte: Barella (2008).

De acordo com o estabelecido pelo Manual de Gerência de Pavimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a classificação do IRI está

dividida em quatro faixas, conforme a Tabela 1, a qual mostra a relação entre o valor de IRI e a condição da superfície do pavimento (DNIT, 2011).

Tabela 1 - Classificação do IRI

<b>Irregularidade (m/km)</b>	<b>Classificação</b>
IRI < 3	BOM
$3 \leq \text{IRI} < 4$	REGULAR
$4 \leq \text{IRI} < 5,5$	MAU
IRI $\geq 5,5$	PÉSSIMO

Fonte: adaptado de DNIT (2011).

### 2.3 Aplicativo SmartIRI

O SmartIRI é um aplicativo para *smartphone* que estima o IRI, o parâmetro que mais bem ilustra a irregularidade longitudinal de pavimentos flexíveis. Por meio do acelerômetro e do sensor do Sistema de Posicionamento Global (GNSS – *Global Navigation Satellite System*), é possível obter dados de aceleração vertical, localização e velocidade. O aplicativo SmartIRI calcula o valor do IRI tendo como base valores da *Root Mean Square* (RMS – Raiz da Média Quadrática) a cada 100 metros (ALMEIDA, 2018).

Por não existir uma padronização em relação aos valores de IRI adotados e suas respectivas classificações, o aplicativo fornece a opção de o usuário escolher a classificação segundo o programa *Highway Development and Maintenance* (HDM-4) ou segundo Sayers e Karamihas (1998). É mostrada a Tabela 2 classificatória do IRI pelo HDM-4.

Tabela 2 - Classificação do IRI adotada no SmartIRI

<b>Condições de trafegabilidade</b>	<b>HDM-4 (m/km)</b>
BOA	IRI $\leq 2$
REGULAR	$2 < \text{IRI} \leq 4$
RUIM	$4 \leq \text{IRI} \leq 6$
PÉSSIMO	$6 < \text{IRI}$

Fonte: adaptado de Almeida (2018)

Apesar do sucesso do uso do aplicativo para estimar dados de irregularidade longitudinal em pavimentos rodoviários, vale ressaltar, que como sugestões para trabalhos futuros, Almeida (2018) propôs que fosse analisada a coleta de índices de irregularidade com

o SmartIRI em trechos urbanos, onde as velocidades desenvolvidas são mais baixas. Tal sugestão tem a ver com a diminuição da importância relativa da irregularidade longitudinal e com o fato de que, em seu trabalho, Almeida (2018) sugeriu que para o uso do SmartIRI as velocidades operacionais estivessem entre 60 km/h e 80 km/h.

Para corroborar tais relações entre velocidade e IRI, é válido destacar a pesquisa de Magalhães (2018). Ele estudou procedimentos para estimar a irregularidade longitudinal do pavimento por meio de veículos calibrados, utilizando dados de aceleração vertical de *smartphones*. Nesse estudo, ele calculou a correlação entre valores de Raiz da Média Quadrática da Aceleração Vertical (RMSVA – *Root Mean Square Vertical Acceleration*) e de IRI, a partir de dados medidos pelo método de Nível e Mira. Para os dois modelos de veículo utilizados (SUV Ix35 e HB20), os maiores coeficientes de correlação de Pearson (R) foram encontrados para as maiores velocidades, conforme mostrado na Tabela 3, sendo 80 km/h a velocidade de tráfego ideal. Isso pode ser explicado pela relação entre aceleração vertical e velocidade operacional, pois conforme a velocidade vai aumentando, aumentam-se também as vibrações sentidas pelos veículos devido à percepção de diferentes comprimentos de onda da superfície do pavimento, gerando maiores valores de R.

Tabela 3 – Valores de R para as diferentes velocidades

Velocidade (km/h)	Coeficientes de Correlação de Pearson	
	SUV Ix35	HB20
40	0,8	0,85
60	0,86	0,89
80	0,9	0,92

Fonte: adaptado de Magalhães (2018)

## 2.4 Aplicativo Carbin

Segundo o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT – *Massachusetts Institute of Technology*), os americanos, em geral, dirigem quase 5 trilhões de quilômetros por ano. No entanto, as estradas que eles dirigem estão em condições inadequadas, e isso aumenta tanto o consumo de combustível do veículo quanto os custos de manutenção. A partir do que diz CsHub (2019), explica-se que a má qualidade dos pavimentos dos Estados Unidos, em geral, causou um aumento de consumo de combustível de 1 bilhão de galões nos últimos 5 anos.

Então, em resposta, pesquisadores do MIT desenvolveram um aplicativo de navegação chamado Carbin, o qual permite que os usuários meçam a qualidade da via e o

impacto no consumo de combustível. O objetivo deles é apresentar um novo paradigma para a manutenção da via que possa ajudar a trazer a infraestrutura para a nação, em geral, no século XXI. Enquanto a resposta intuitiva deva ser simplesmente gastar mais com infraestrutura rodoviária, os desenvolvedores do Carbin se deram conta de que até isso não iria de fato eliminar os problemas acumulados. O problema não é sempre a quantidade de recursos, mas sim como eles são alocados.

Para mapear as rodovias do país, o time de pesquisadores do MIT, UMass Dartmouth e Universidade de Birzeit buscou desenvolver uma ferramenta tão eficiente quanto perfilômetros a laser por um preço bem menor. Eles decidiram aplicá-la em *smartphones* devido, por exemplo, ao fato de serem globalmente difundidos (CSHUB, 2021).

O que é feito é que são analisados dados de vibração que são coletados pelo acelerômetro do celular. A partir disso, derivam-se as métricas de qualidade da via, baseadas no IRI, do impacto da qualidade da via no consumo de combustível do veículo e do impacto ambiental. A maneira mais comum de acessar tais métricas de qualidade da via é a partir do IRI, ou seja, a partir do movimento vertical acumulado normalizado pela distância percorrida.

Existe uma real necessidade para esse tipo de dado de alta qualidade. Uma vez que o Carbin reúne informações constantemente e em tempo real, é possível, a partir disso, nortear e mostrar para autoridades como as estradas deterioram, a fim de identificar onde e quando devem ser feitos reparos com um orçamento fixo.

O aplicativo Carbin começou conectando as condições do pavimento com as propriedades do veículo, dois domínios que antes não tinham muito em comum. Usuários esperam ter uma experiência ao volante segura, confortável e com baixa emissão de carbono. Levando esses três pontos em consideração, o Carbin é parte de uma agenda de desenvolvimento sustentável da infraestrutura do século XXI (CSHUB, 2021).

Em breve, espera-se que o Carbin seja útil para além de métricas de qualidade da via, pois o aplicativo tem potencial para determinar, por exemplo, o tipo de material do pavimento (ROXON, 2021).

#### ***2.4.1 Lógica do Carbin***

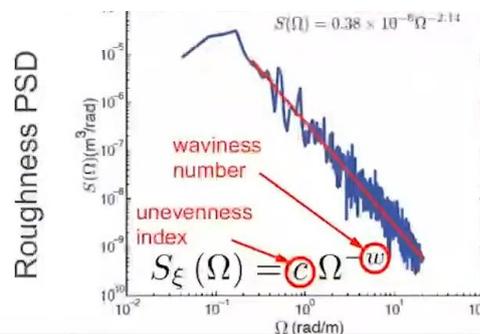
Como explicado, para melhorar rodovias e reduzir emissões foi criado o aplicativo Carbin. A explicação por trás do *software* é um instrumento acessível: um acelerômetro. Encontrado virtualmente nos *smartphones*, os acelerômetros medem a posição para orientar, por exemplo, a tela de um telefone.

De acordo com Botshekan *et al.* (2020), os sinais captados pelo acelerômetro permitem estimar a irregularidade da via. Por meio da estatística, o Carbin consegue também estimar a energia dissipada dentro da suspensão de um veículo a fim de calcular o impacto da qualidade da via no consumo de combustível.

O aplicativo calcula o impacto da viagem no consumo de combustível usando um algoritmo do grupo de pesquisa do MIT, Centro de Sustentabilidade de Concreto (CSHub – Concrete Sustainability Hub). O algoritmo é baseado na análise da aceleração vertical registrada por um *smartphone* colocado em uma posição aleatória no veículo (CSHUB, 2019).

Para entender o que há por trás do algoritmo, é preciso explicar o que acontece em segundo plano, como o IRI é calculado pelo *smartphone*. Sabe-se que o dado de saída do *smartphone* é o sinal de aceleração. O objetivo então é relacionar a Densidade Espectral de Potência (PSD - *Power Spectral Density*) do sinal de aceleração com o PSD da irregularidade da via. O PSD é uma ferramenta clássica de análise de sinal que fornece informações sobre a posição de diferentes comprimentos de onda ao longo do sinal. Para ter essa relação entre os dois PSDs, utilizam-se os princípios da Teoria da Vibração Aleatória (RVT - *Random Vibration Theory*). Os dois parâmetros de irregularidade nomeados de número de ondulação (*waviness number* -  $w$ ) e índice de irregularidade (*unevenness index* -  $c$ ) explicam a potente queda de irregularidade do PSD, mostrada na Figura 3. O “ $w$ ” e o “ $c$ ” são outro método de caracterização da irregularidade. Embora a natureza do “ $w$ ” e o “ $c$ ” sejam distintos para o IRI, o valor esperado de IRI pode ser relacionado a eles (BOTSHEKAN, 2020).

Figura 3 – Parâmetros de irregularidade do PSD

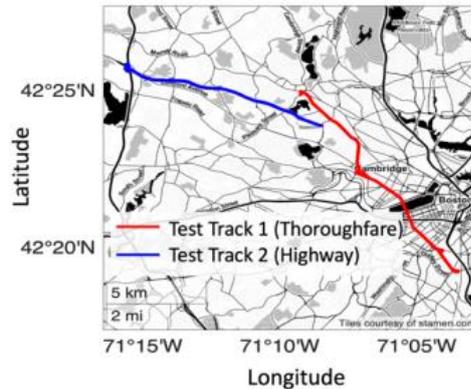


Fonte: Botshekan (2020)

A abordagem do Carbin para calibração e validação foi aplicada em duas escalas: a escala local e a escala estadual. Como é mostrado na Figura 4, primeiramente, foi medida a irregularidade de uma via pública, de aproximadamente 25 quilômetros (linha vermelha), e de uma rodovia, de aproximadamente 22 quilômetros (linha azul), próximas a Cambridge e

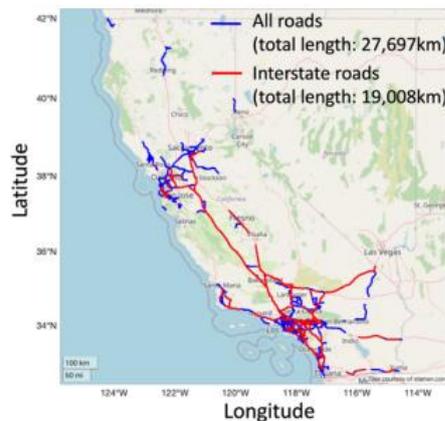
Boston. Em seguida, para a validação, o Carbin foi utilizado em escala estadual para identificar a irregularidade para o estado da Califórnia, como é mostrado na Figura 5. Tais análises locais e globais mostraram concordância com métodos consagrados utilizados para esse fim (BOTSHEKAN *et al.* 2020).

Figura 4 – Abordagem do Carbin em escala local



Fonte: Botshekan *et al.* (2020)

Figura 5 - Abordagem do Carbin em escala estadual



Fonte: Botshekan *et al.* (2020)

## 2.5 Custos Operacionais de Veículos

O crescimento de melhorias nas rodovias e em gastos públicos com transporte indica que as análises econômicas dos investimentos propostos em rodovias devem ser uma ferramenta amplamente utilizada por gestores de rodovias. Apesar de, desde 1847, a análise econômica estar presente na literatura como ferramenta de decisão gerencial, apenas recentemente foi dada a devida importância a isso (WINFREY; ZELLNER, 1971).

Os custos que estão relacionados ao usuário do veículo são o maior componente dos custos totais de transporte. Isso está relacionado aos custos operacionais do veículo,

segurança, conforto, tempo de viagem e impacto ambiental. Os custos operacionais do veículo têm a ver com consumo de combustível, pneus, uso de óleo lubrificante, depreciação, reparo e manutenção. Os custos operacionais dos veículos fazem parte dos custos que as agências rodoviárias devem considerar, portanto, ao avaliar as estratégias de investimento (BENNETT; GREENWOOD, 2003).

De acordo com Zaabar e Chatti (2014), o custo mais afetado pela irregularidade de pavimentos é o de combustível, seguido por reparo e manutenção e então desgaste de pneus. Além disso, veículos de portes diferentes, pavimentos de diferentes tipos ou ainda condições da rodovia podem gerar resultados diferentes. Por exemplo, a Pesquisa CNT (2019) mostra que o custo operacional de veículos aumenta em torno de 28,5% a cada ano, por causa das condições da rodovia e das deficiências do pavimento.

### ***2.5.1 Consumo de Combustível***

Como dito, um dos itens que têm a ver com o custo operacional de veículos é o de consumo de combustível, o qual também tem direta ligação com a irregularidade de pavimentos. Alguns estudos a serem citados mostram e exemplificam tais relações.

Sandberg (1990) analisou a influência das texturas do pavimento no consumo de combustível. Constatou-se que existe uma clara correlação entre consumo de combustível e macrotextura e uma correlação muito boa entre consumo de combustível e irregularidade de ondas curtas. Uma estrada irregular pode aumentar o consumo de combustível em até 12%, se comparada a uma estrada suave. Uma macrotextura mais rugosa, grosseira, pode aumentar o consumo de combustível em 7%, quando comparada a uma macrotextura mais polida.

Tan *et al.* (2012) fizeram uma revisão dos custos operacionais de veículos e da irregularidade da via. Com isso, notou-se que a irregularidade da via afeta a quantidade de combustível consumida nos veículos. Sob velocidades constantes, os modelos utilizados para cálculo de consumo de combustível mostraram que um aumento na irregularidade levou a um maior consumo de combustível em carros de passeio e um consumo ainda maior em veículos pesados. Para velocidades variáveis, houve falta de consistência nos resultados. Enquanto o aumento na irregularidade aumenta o consumo de combustível em qualquer velocidade, o aumento da irregularidade também reduz a velocidade de deslocamento, o que reduz o consumo de combustível.

Islam e Buttlar (2012), em um estudo sobre o efeito da irregularidade de pavimentos no custo dos usuários, viram que os custos aumentaram em 50 vezes com o

aumento da irregularidade de um valor inicial de 1 m/km para 3 m/km. Concluíram também que, se fossem investidos mais de 100 mil dólares na reabilitação de pavimentos, os usuários teriam uma economia de 52% relacionada principalmente ao consumo de combustível.

Azevedo (2019) estudou os efeitos do IRI em emissões veiculares. De acordo com esse estudo, existe uma forte e linear relação entre o IRI e todos os tipos de emissões veiculares. Foi, então, mostrado que 97,6% das variações de consumo de combustível foram decorrentes de variações do IRI. Se também for levada em consideração as mudanças de velocidade, esse valor passa para 99,8%.

Meseguer *et al.* (2015) avaliaram o impacto do comportamento do motorista na condução no consumo instantâneo de combustível e demonstraram que o estilo de condução está diretamente relacionado ao consumo de combustível. Especificamente, adotar um estilo de condução eficiente permite obter economias de combustível que variam de 15 a 20%. Um estilo de condução agressivo sempre resulta em maior consumo de energia, emissões de gás carbônico e combustível, enquanto uma condução menos agressiva acaba proporcionando melhores resultados.

## **2.6 Scanner Automotivo**

Um veículo, por ser um meio de transporte complexo, necessita de vários subprocessos para que ele possa funcionar de maneira adequada. Cada parte de um automóvel é controlada e monitorada por meio de sensores os quais mandam informações para a Unidade de Controle do Motor (ECU - *Engine Control Unit*). Logo, dados referentes à temperatura, velocidade, rotação do motor e estado de funcionamento são obtidos na ECU (ISO 11898-1, 2015).

Com a finalidade de identificar falhas eletrônicas em automóveis, foi desenvolvido um sistema de autodiagnóstico. O objetivo maior de tal sistema é escanear, monitorar e armazenar dados referentes a falhas, para que sejam realizados diagnósticos os quais serão armazenados na ECU (BOSCH, 2005). Scanner automotivo é um equipamento bastante utilizado em oficinas mecânicas e que serve basicamente para o diagnóstico do sistema de injeção eletrônica do veículo e para a coleta de dados para um futuro reparo.

### **2.6.1 OBD II**

A partir de 1996, na Europa e nos Estados Unidos, tornou-se obrigatório em

veículos produzidos o conector chamado de *On-Board Diagnostic* (OBD). A primeira fase do sistema OBD I foi criada em 1988 e o OBD II em 1994, ambos diferenciados pelo monitoramento da funcionalidade do sistema (BOSCH, 2005). No Brasil, a obrigação veio a partir de 2010, com o padrão de segunda geração, OBD II.

Inicialmente, o OBD surgiu pela necessidade de conhecer, entender e controlar os níveis de emissão de gases dos automóveis e adequá-los aos níveis exigidos pelas leis. Atualmente, o OBD é um sistema de diagnóstico que concede acesso e monitoramento a diversos dados, tais como: volume de combustível, velocidade, nível de emissão de gases poluentes, rotações por minuto do motor, temperatura do óleo do motor e posição da válvula de aceleração. Entretanto, destaca-se que nem todos os automóveis possuem todas essas opções implementadas (ALMEIDA, 2017).

O OBD II atende às necessidades deste estudo, pois fornece: velocidade, posição da válvula de aceleração do automóvel em tempo real e coleta indireta dos valores de nível de combustível (ALMEIDA, 2017). Para conectar o leitor OBD ao veículo, é preciso, com o carro desligado, conectar o dispositivo na saída correspondente. Feito isso, conecta-se o OBD ao *bluetooth* de um *smartphone*. Um exemplo de aplicativo de *smartphone* compatível com o OBD é o Car Scanner. Nele, algumas características do perfil do veículo precisam ser definidas, tais como modelo do veículo e tipo de combustível.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

A partir deste tópico, são descritos os materiais utilizados no estudo e as etapas necessárias para atingir os objetivos descritos.

#### 3.1 Materiais

Com o veículo de teste utilizado neste trabalho, Ford Ka Hatch, ano 2018, foram feitos todos os levantamentos de trechos das vias, considerando-se, portanto, invariáveis as características do veículo de uma coleta para outra. Na Tabela 4 são mostradas informações do automóvel disponíveis no seu manual.

Tabela 4 - Dados do veículo de teste

<b>Car Scanner</b>	
Nome do Perfil	Ford KA 2018
Peso Total do Veículo (kg)	1007
Tipo de Combustível	Gasolina
Capacidade do Tanque de Combustível (l)	52
Nível do Combustível Durante Levantamento (%)	50
Consumo cidade (km/l)	9,20
Consumo Estrada (km/l)	10,80
Custo Combustível (R\$)	4,69 a 5,99
Pressão dos pneus (psi)	30

Fonte: elaborada pela autora

Para a coleta de dados relacionada ao referido estudo, fez-se necessária a aquisição de um scanner automotivo *bluetooth* OBD II, versão 2.1. De acordo com a Amazon (2022), onde foi efetuada a compra, a marca do produto é Chipsce, e ele tem as seguintes dimensões: 5x10x10 cm. Seu peso é de, aproximadamente, 0,1 g.

Tal aparelho, além de ler e verificar os códigos do veículo, também monitora os dados dos sensores em tempo real. É preciso apenas conectar o scanner no automóvel e receber dados no celular ou computador. Dentre as funções, destacam-se algumas: ler código de diagnóstico e mostrar dados atuais do sensor, como velocidade do veículo, ajuste de combustível, temperatura do ar de admissão, *status* do sistema de combustível e pressão do combustível. A título de explicação, para a instalação, inicialmente conectou-se o aparelho a

uma entrada próxima ao volante do carro, até que se acendesse uma luz vermelha referente à passagem de energia.

O outro material necessário à pesquisa é um *smartphone*. Conectou-se o OBD ao *bluetooth* do celular e utilizou-se o aplicativo Car Scanner, por ser simples, gratuito e intuitivo, cuja interface está exposta na Figura 6. Uma luz verde acendeu, mostrando que houve a troca de dados entre o aparelho e o celular. Foi necessária, também, a compra de um suporte rígido de celular da marca Exbom, para a coleta de dados referentes à irregularidade longitudinal, o qual ficasse bem fixado para evitar a transferência de vibrações excessivas ao aparelho.

Figura 6 - Aplicativo Car Scanner



Fonte: aplicativo Car Scanner (2022)

### 3.2 Método

As etapas cumpridas neste trabalho, ilustradas na Figura 7, foram: seleção de trechos, coleta de dados, elaboração de planilha e comparação de resultados.

Figura 7 - Etapas metodológicas



Fonte: elaborada pela autora

### 3.2.1 Seleção de Trechos

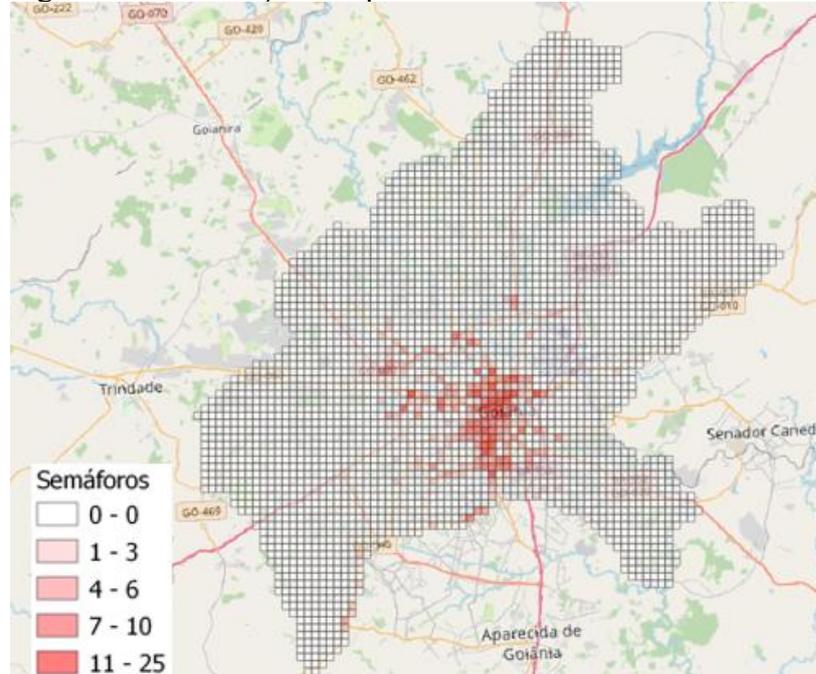
Tendo em vista que a área de estudo está totalmente localizada na cidade de Goiânia-GO, fez-se necessário delimitar as vias do perímetro urbano. Foram, então, feitas as coletas em função das características das respectivas vias.

Para delimitar a área a ser estudada, o critério inicial foi a escolha de uma via urbana de fluxo ininterrupto. O intuito era encontrar trechos de via urbana os quais tivessem a menor interferência semafórica possível. Para tanto, desenhou-se o mapa de densidade semafórica de Goiânia e o mapa com os pontos semafóricos.

Foram, então, utilizadas três ferramentas. A primeira foi a base de dados do Open StreetMap de 2022, que é um projeto colaborativo, com o auxílio de uma extensão do QGIS, para identificação e localização dos semáforos de Goiânia. A segunda ferramenta foi o formato de dados, ou *shapefile*, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o desenho do mapa da capital. Por fim, a terceira ferramenta foi o QGIS versão 3.34, que é um *software* de código aberto, o qual fornece visualização, edição e análise de dados espaciais. Assim como outros sistemas de informação geográfica, o QGIS permite que usuários criem mapas de elevação, usando várias projeções cartográficas, além de outras funcionalidades (PEJOVIĆ *et al.*, 2014). Logo, por meio dele foi possível utilizar o *shapefile* do IBGE e contar os semáforos em Goiânia da base de dados do Open StreetMap.

A partir da contagem semafórica e da plotagem dos semáforos no desenho, foi possível gerar o mapa da Figura 8. Para a malha quadriculada, dividiu-se o mapa de Goiânia em quadrados de 500x500m e contaram-se os pontos que tinham dentro de cada quadrado.

Figura 8 - Distribuição dos pontos semafóricos em Goiânia-GO



Fonte: elaborada pela autora

Além do critério inicial de escolha de trechos de fluxo ininterrupto, utilizou-se o aplicativo Carbin para a seleção de trechos de qualidade estrutural boa, média e ruim, por ele ser de fácil manuseio, gratuito e por fazer uma análise em tempo real, o que significa que, uma vez que a viagem é finalizada, é possível ver os resultados logo em seguida. Com isso, foram selecionados três trechos de via, com qualidades distintas e de, aproximadamente, 2 quilômetros de extensão.

O primeiro trecho fica localizado na Av. Marginal Botafogo (roxo) e o segundo (vermelho) e o terceiro (verde) na Av. Perimetral Norte, conforme mostrado na Figura 9. Os 3 trechos escolhidos têm tais características em comum: 2 km de extensão; ausência de semáforos; velocidade máxima da via de 80 km/h e 2 faixas de rolamento.

Figura 9 - Trechos selecionados

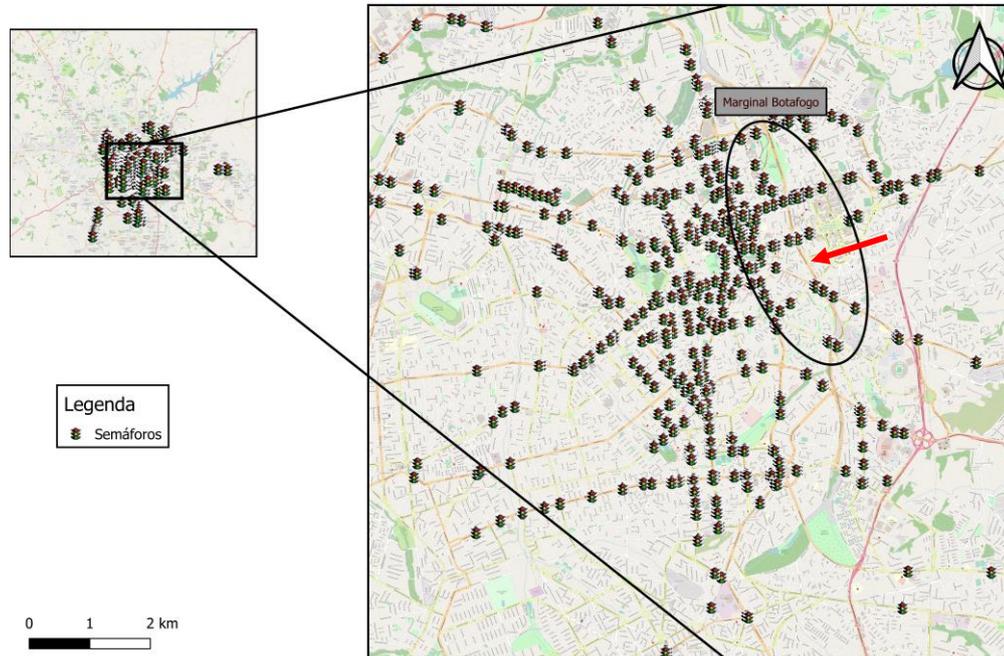


Fonte: Google Earth (2022)

Explica-se que o segundo e o terceiro trecho fazem parte da mesma avenida, sendo o segundo referente a dados coletados antes da reciclagem feita na via (primeiro semestre de 2023) e o terceiro referente a dados coletados depois da reciclagem feita na via (segundo semestre de 2023). Contextualizando, a prefeitura da cidade de Goiânia, por meio da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana (Seinfra), colocou em prática o Projeto 630, que prevê a reconstrução asfáltica de mais de 600 vias, por meio de recapeamento, reciclagem ou asfalto novo até o fim de 2024. O trecho em análise passou por uma reciclagem da base, ou ainda, por uma retirada da capa existente e colocação de uma nova capa de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) de 5 cm de espessura (ABREU, 2023). Com o andamento das obras em 2023, foi possível a coleta de dados tanto antes quanto depois das operações no trecho.

Na Figura 10, é mostrada a densidade semafórica de Goiânia, com destaque para a Av. Marginal Botafogo. No mapa, nota-se que não há semáforos no trecho escolhido da Marginal, os semáforos aparentes são das vias que passam por cima dela.

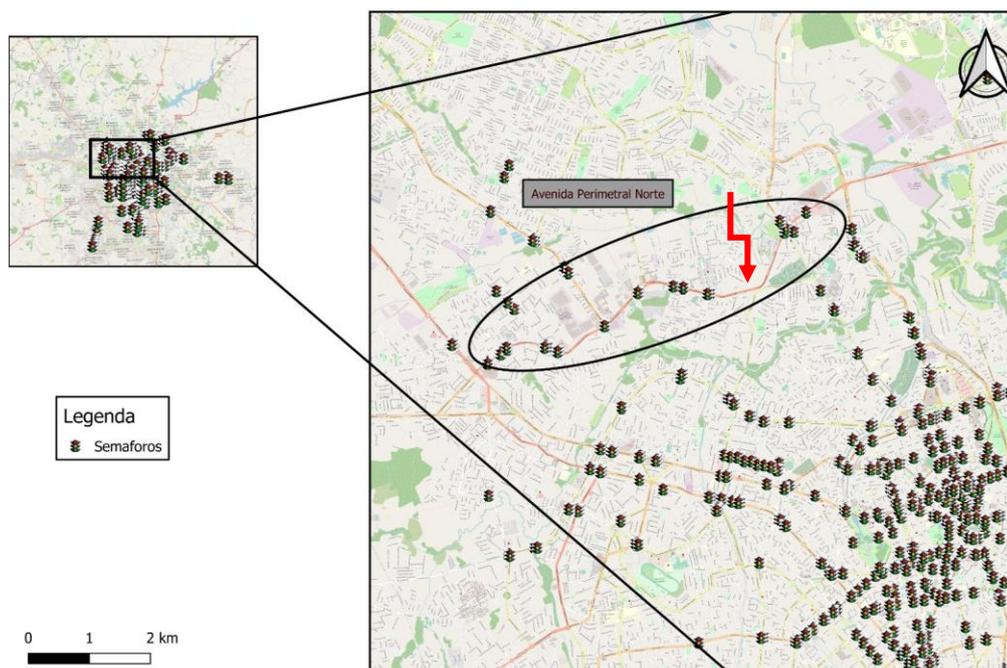
Figura 10 - Densidade semafórica Av. Marginal Botafogo



Fonte: elaborada pela autora

Já na Figura 11, é mostrada a densidade semafórica de Goiânia, com destaque para a Av. Perimetral Norte com um grande trecho sem interferência de semáforo. Ressalta-se que não houve adição ou remoção de semáforos durante as obras ocorridas no trecho em estudo.

Figura 11 - Densidade semafórica Av. Perimetral Norte



Fonte: elaborada pela autora

### **3.2.2 Coleta de Dados**

As escolhas de pontos e horários de coletas em campo foram feitas com base em planilhas com informações de fluxos veiculares, fornecidas por órgão da Prefeitura de Goiânia. Daí em diante, utilizou-se o adequado aplicativo Car Scanner para coleta de dados de consumo de combustível.

#### **3.2.2.1 Coleta de Dados de Tráfego**

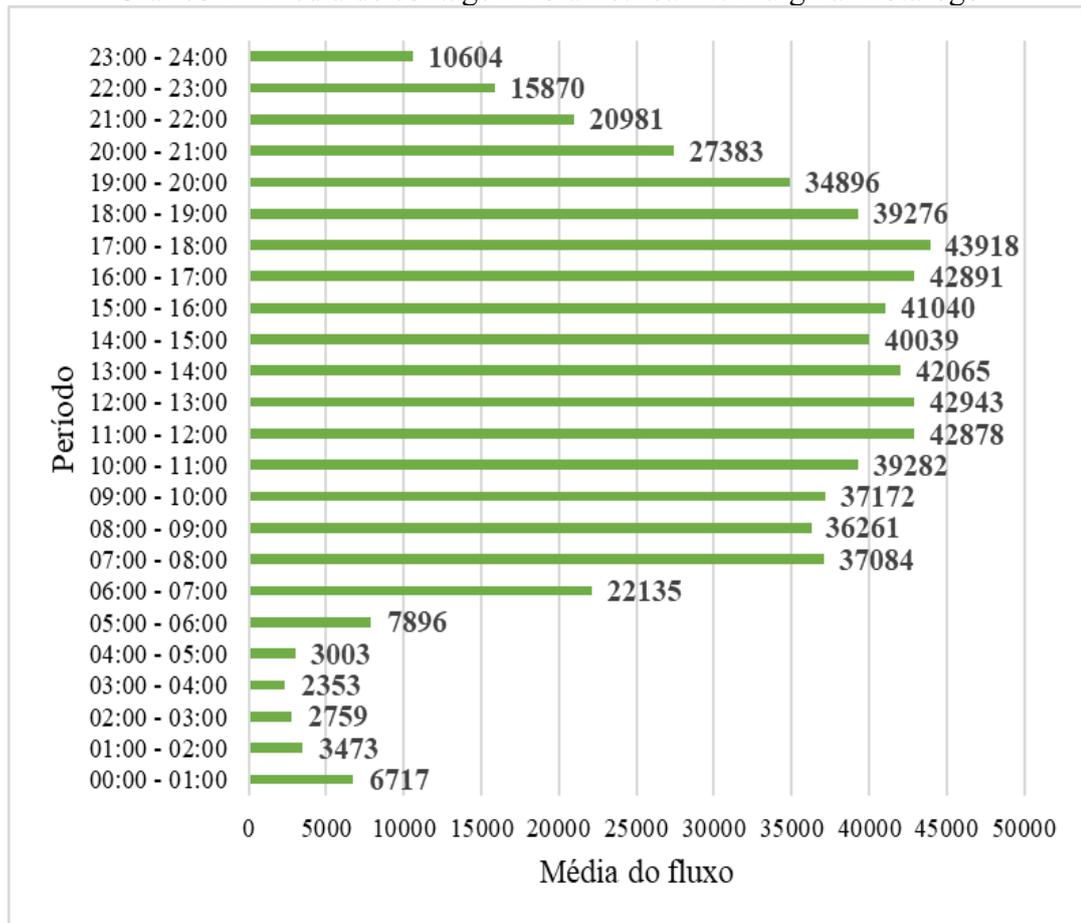
Para a coleta dos dados de tráfego, a Secretaria Municipal de Mobilidade (SMM) forneceu os dados de contagem volumétrica de diversos pontos de vias de Goiânia-GO. Foram fornecidos relatórios de fluxo por período mensal, de hora em hora, separados por categoria de automóvel e pista. Tais dados se referem aos meses do ano de 2021, entretanto não há informações de fluxo de setembro e outubro, pois o equipamento utilizado para esse fim estava desligado.

Foram filtrados os dados de contagem volumétrica de pontos da Av. Marginal Botafogo e da Av. Perimetral Norte. Selecionaram-se informações referentes a um ponto de contagem o qual estivesse dentro do trecho de 2 km escolhido para análise do consumo de combustível.

Todas as análises foram feitas com dados da faixa de rolamento da direita, pois, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (2010, p. 24), “em vias com faixas de mesmo sentido, as da direita são destinadas aos veículos mais lentos e de maior porte; as faixas da esquerda são utilizadas para ultrapassagens e deslocamento de veículos mais rápidos.” Além disso, para todas as coletas foi escolhido o sentido da via com o maior fluxo veicular. As planilhas trazem contagens horárias de motocicleta (M), veículo leve (VL), veículo médio (VM), veículo pesado (VP) e de veículo articulado ou biarticulado (ML).

Para a Avenida Marginal Botafogo, foi utilizada a seguinte localização: Quadra 20B, Lote 20, sentido Norte/Sul, pista da direita. No Gráfico 1 é possível ver a média dos meses de contagem volumétrica.

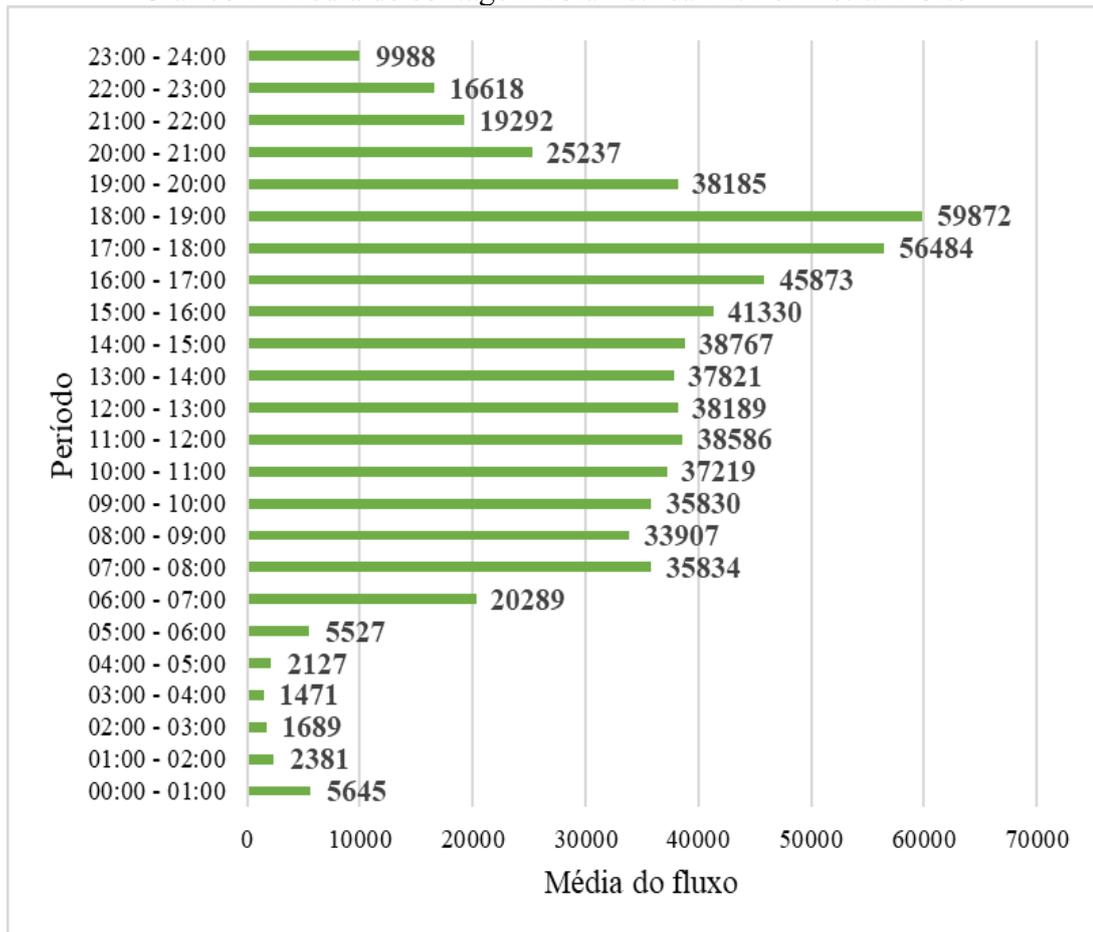
Gráfico 1 - Média de contagem volumétrica Av. Marginal Botafogo



Fonte: elaborado pela autora

Para a Avenida Perimetral Norte, tanto antes quanto depois da reciclagem, a localização foi: próxima ao número 3483, Quadra Área, sentido Norte/Sul, pista da direita. No Gráfico 2 é possível ver a média dos meses de contagem volumétrica, e, como não houve nova contagem volumétrica depois da reconstrução, utilizou-se a mesma de 2021 fornecida pela SMM.

Gráfico 2- Média de contagem volumétrica Av. Perimetral Norte



Fonte: elaborado pela autora

### 3.2.2.2 Coleta de Dados de Consumo de Combustível

Para os dados de consumo de combustível, foi preciso, primeiramente, obter familiaridade com o Car Scanner. Ele oferece diferentes métodos de cálculo de consumo, os quais são mostrados na Figura 12. O modelo escolhido para as coletas foi o automático, apesar de o aplicativo não apresentar as equações para o cálculo do consumo a partir desse modelo, e o combustível utilizado nas coletas foi a gasolina, com o valor do litro a R\$4,69, em média.

Figura 12 - Métodos de cálculo de consumo de combustível

← Consumo de combustível

Método de cálculo de consumo:

Automático

Segundo MAF

Segundo carga absoluta

Segundo MAP+IAT

Segundo o parâmetro "Consumo de combus."

De acordo com o tempo de injeção de combustível

Consumo cíclico

Determinar consumo zero de combustível

Use PID especial para consumo zero de combustível:

Fonte: aplicativo Car Scanner

Para a análise do consumo de combustível, foram coletados dados referentes a dois quilômetros de extensão para cada um dos trechos de vias escolhidos. As informações de consumo foram fornecidas pelo aplicativo Car Scanner a cada 100 metros.

Para diferentes volumes de tráfego, foram realizadas duas coletas para cada via, sendo uma no horário de pico e outra no horário de menor média anual de contagem volumétrica, segundo as planilhas de 2021 fornecidas pela SMM. A escolha dos horários com maior e menor fluxo de veículos foi feita com base na média de volume de tráfego para cada horário ao longo dos meses de 2021. Ressalta-se que a velocidade que foi feita a coleta no horário de maior fluxo foi semelhante à velocidade com que foi feita a coleta no horário de menor fluxo veicular, tendo em vista que o objetivo é a verificação da influência da variação da velocidade no horário de maior fluxo *versus* a manutenção da velocidade constante.

Para a análise do consumo de combustível em diferentes velocidades em horários de pequeno fluxo veicular foram realizadas três coletas para cada via, uma em cada faixa de velocidade. A primeira foi em velocidade baixa (30 km/h – 40 km/h), a segunda em

velocidade média (50 km/h – 60 km/h) e a terceira em velocidade alta (70 km/h – 80 km/h). Vale ressaltar que todos os levantamentos tiveram início com o veículo em movimento, com a velocidade dentro da faixa escolhida.

Por fim, comparou-se o consumo de combustível entre os três trechos de via, pois cada um possui valores destoantes de IRI, fornecidos indiretamente tanto pelo Carbin quanto pelo SmartIRI, e isso tem direta relação com a qualidade do pavimento. Para quantificar o valor do IRI, percorreu-se o trecho na faixa de velocidade alta (70 km/h – 80 km/h) utilizando-se o aplicativo SmartIRI, o qual fornece dados numéricos de irregularidade a cada 100 metros percorridos. Vale ressaltar que antes do início do levantamento, o aparelho precisa estar calibrado na posição correta. Há, no SmartIRI, um indicador verde ou vermelho de ajuste de posição que auxilia o usuário na configuração da posição correta (indicador verde) do telefone no suporte. Entretanto, no momento da calibração, o veículo deve estar em uma posição plana e desligado (CERTIFIC NET, 2019).

### ***3.2.3 Elaboração de Planilhas***

Com as coletas e a correta fundamentação teórica, foram elaboradas planilhas e feitos os cálculos necessários para analisar o tráfego, o consumo de combustível e a qualidade das vias. Para a análise do tráfego por meio da contagem volumétrica, foi preciso filtrar os dados fornecidos pela SMM, deixando apenas os das vias estudadas e foi preciso fazer os cálculos de média horária anual de automóveis.

Para a análise do consumo de combustível, foi possível selecionar a opção de gravação de dados para registrar os levantamentos pelo aplicativo Car Scanner. Para a exportação dos dados gravados, bastou pressionar ou arrastar o arquivo correspondente ao levantamento de interesse. Com isso, foi possível obter arquivos de extensão CSV, facilmente lidos pelo Microsoft Excel. Para valores de quilometragem não diretamente fornecidos pelo Car Scanner, foram feitas interpolações lineares com os valores de consumo imediatamente anterior e imediatamente posterior ao do quilômetro procurado.

Para a análise da qualidade das vias, utilizaram-se o Carbin e o SmartIRI. O último permite o envio de levantamentos e imagens, em que são geradas planilhas com dados, agrupados e trechos, de velocidade média, classificação, latitude e longitude, distância e IRI. A partir disso, foi possível desenvolver Tabelas e Gráficos comparativos. Por fim, para a posterior comparação de resultados, utilizou-se dados estatísticos e gráficos boxplot

### ***3.2.4 Comparação de Resultados***

Foi possível comparar os resultados de três cenários distintos, sendo esses: 1) consumo de combustível em um mesmo trecho, quando há o menor e o maior volume de tráfego horário; 2) consumo de combustível em um mesmo trecho, com faixas de velocidades distintas e 3) consumo de combustível em trechos com diferentes qualidades, com velocidades similares e constantes.

Já por meio da análise estatística e uso de gráficos boxplot, performaram-se dois cenários como: diferentes patamares de volume de tráfego e IRI, desconsiderando os patamares de velocidade; e diferentes patamares de velocidade e IRI, desconsiderando o volume de tráfego.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são descritas a análise e a discussão dos resultados obtidos a partir das coletas feitas nos 3 trechos de vias da cidade de Goiânia com o auxílio da ferramenta OBD II e dos aplicativos Car Scanner, Carbin e SmartIRI. Foram realizadas coletas de consumo de combustível sob a ótica da variação horária do fluxo veicular, da variação da velocidade e da classificação da via de acordo com o IRI.

### 4.1 Tráfego

De acordo com os gráficos 1 e 2, desenhados a partir das informações extraídas das planilhas fornecidas pela SMM, nota-se que: para a Av. Marginal Botafogo, o horário com menor média de volume de tráfego é entre 03h e 04h e o horário com maior média de volume de tráfego é entre 17h e 18h. Por sua vez, para a Av. Perimetral Norte, o horário com menor média de volume de tráfego é entre 03h e 04h e o horário com maior média de volume de tráfego é entre 18h e 19h.

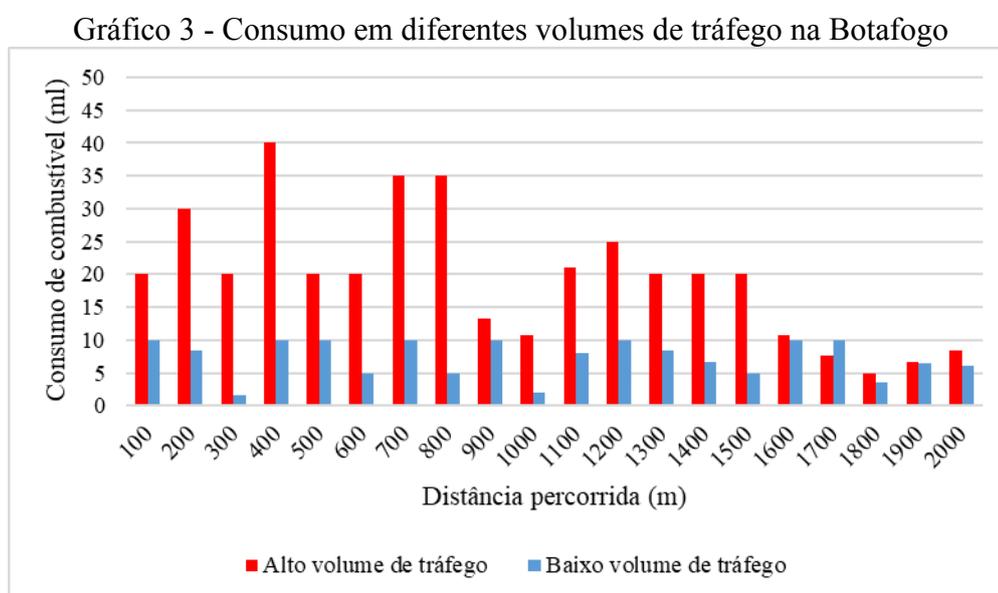
#### 4.1.1 Tráfego na Av. Marginal Botafogo

Depois de definidos os horários com o maior volume de tráfego e com o menor volume de tráfego, foram feitas coletas de dados de consumo de combustível em ambos os horários na Av. Marginal Botafogo. Primeiro, coletou-se o consumo de combustível entre 17h e 18h, conforme mostrado na tabela de alto volume de tráfego na Botafogo presente no Apêndice A. O aplicativo Car Scanner fornece os valores numéricos de consumo acumulado, à medida que se percorrem os quilômetros. Para a obtenção dos valores de consumo a cada 100 metros, foi necessário fazer a subtração do valor de consumo do trecho anterior. A coleta foi realizada no dia 20/10/2022, quinta-feira. O dia estava ensolarado, com temperatura média de 33 °C. Por causa do congestionamento, a velocidade média de percurso foi em torno de 30 km/h.

O horário com menor média anual de volume de tráfego para a Av. Marginal Botafogo foi entre 03h e 04h. Optou-se, entretanto, por realizar a coleta em outro horário de também baixo volume de tráfego: entre 23h e 00h. A coleta foi realizada no dia 21/10/2022, sexta-feira. A noite estava nublada, com temperatura média de 22 °C. Os dados encontram-se no Apêndice A. Como a velocidade média da coleta de alto volume de tráfego foi menor que a

velocidade mínima da via (40 km/h), tentou-se manter constante a velocidade de 40 km/h durante a coleta do consumo de combustível para baixo volume de tráfego.

A partir disso, é possível, então, gerar o Gráfico 3, em que se visualiza comparativamente o consumo em ml de combustível em um horário de alto volume de tráfego e em um horário de baixo volume de tráfego. Nele, nota-se, de maneira geral, que o consumo de combustível no trecho percorrido em horário de alto volume de tráfego, de congestionamento, é maior que nos trechos percorridos em horário de baixo volume de tráfego, de fluxo livre. Contrariando, entretanto, a tendência de aumento de consumo com o aumento do volume do tráfego destaca-se apenas um trecho, o de 1700 metros. Nele o consumo, em vez de aumentar, diminuiu 23,1%, sem motivos aparentes.



Fonte: elaborado pela autora

#### 4.1.2 Tráfego na Av. Perimetral Norte Antes

Assim como foi feito na Av. Marginal Botafogo, também foram coletados dados de consumo de combustível para o trecho da Av. Perimetral Norte, antes da reciclagem da via. Então, fez-se a coleta entre 18h e 19h para alto volume de tráfego, conforme a tabela do Apêndice A. A coleta aconteceu no dia 29/06/2023, quinta-feira, com velocidade média de 30 km/h, por causa do engarrafamento.

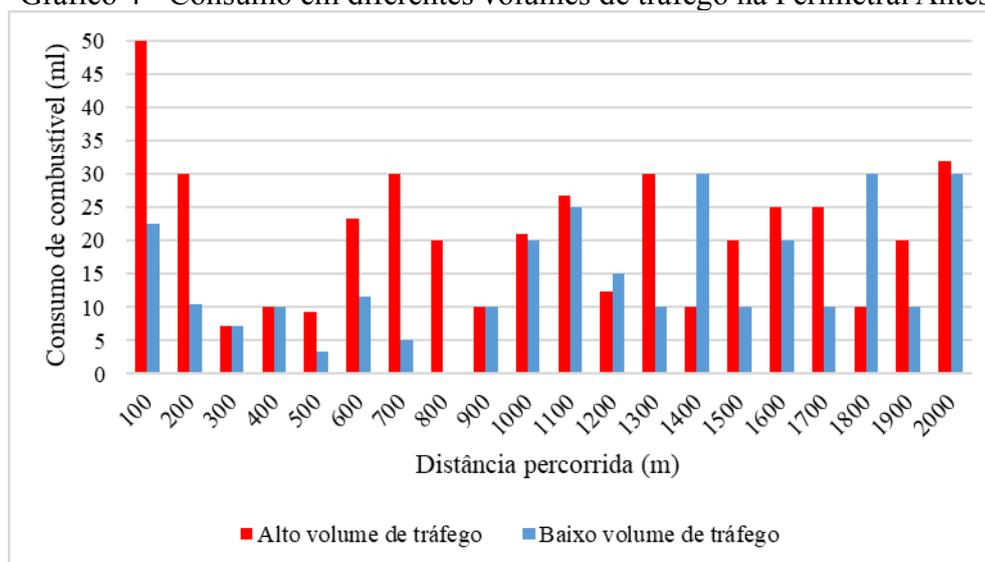
Para o menor volume de tráfego, optou-se por realizar a coleta entre 23h e 00h, a qual deveria acontecer entre 03h e 04h, mas era um horário inexecutável. Os dados foram apanhados também no dia 28/09/2023, noite nublada e de temperatura amena, e estão

mostrados no Apêndice A. Ressalta-se que tentou-se manter uma velocidade constante de 40km/h, sendo esse o valor mínimo permitido na via.

Destaca-se que, como os valores de consumo são obtidos a partir dos valores de consumo acumulado, foram encontrados valores 0 de consumo para algumas distâncias. Não significa que, efetivamente, não houve consumo, mas sim que o valor foi tão insignificante, que estava abaixo da precisão do equipamento de medição.

Decorrente disso, gera-se o Gráfico 4, o qual facilita o entendimento e a comparação do consumo de combustível em horários de alto e baixo volume de tráfego, respectivamente. Observa-se que houve um comportamento predominante: o consumo de combustível diminuiu consideravelmente com a diminuição do fluxo veicular. Entretanto, houve um comportamento contrário nos trechos de 1200 m, 1400 m e 1800 m, em que o consumo de combustível aumentou 21,95%, 200% e 200%, respectivamente, podendo ser justificado por uma ultrapassagem realizada no momento da coleta.

Gráfico 4 - Consumo em diferentes volumes de tráfego na Perimetral Antes



Fonte: elaborado pela autora

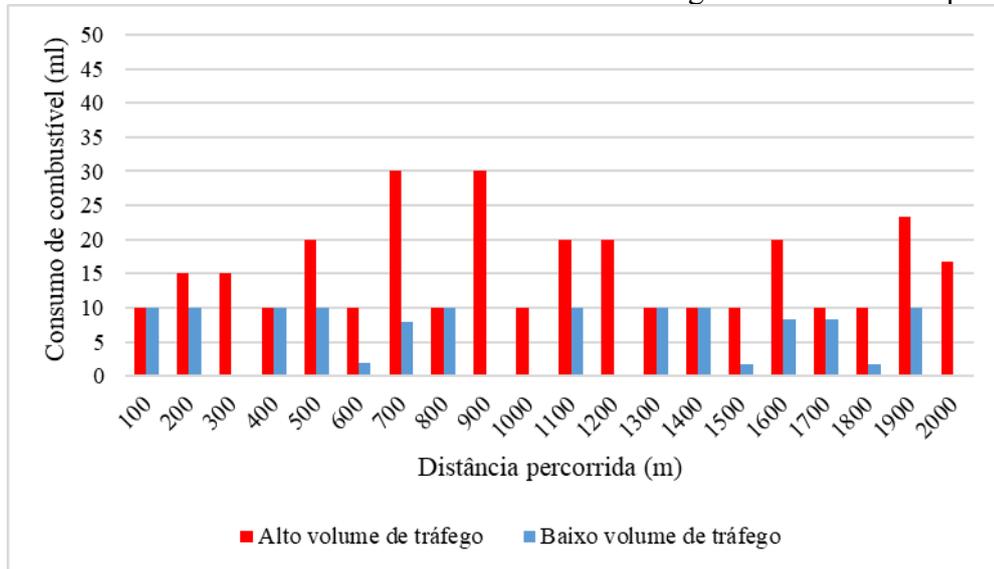
#### 4.1.3 Tráfego na Av. Perimetral Norte Depois

Por fim, na coleta de consumo de combustível com análise voltada ao tráfego, foram feitas coletas dia 09/11/2023, quinta-feira à noite, quando já havia sido finalizada a obra no trecho em análise. Para o alto volume de tráfego, a coleta foi executada entre 18h e 19h, de acordo com os dados de fluxo da SMM, com velocidade média de 30 km/h. Os dados podem ser encontrados no Apêndice A.

A coleta de dados de baixo volume de tráfego não foi realizada no horário de maior fluxo (entre 03h e 04h), mas sim entre 23h e 00h do dia 09/11/2023, com a velocidade mínima da via de 40 km/h. Os valores encontrados de consumo de combustível estão discriminados no Apêndice A.

Com isso, desenha-se o Gráfico 5. Nele, vê-se, com clareza, que o consumo de combustível é maior quando o trecho está congestionado. Em todos os 20 trechos houve um decréscimo no consumo de gasolina com a diminuição do fluxo de veículos, mas mantendo a faixa de velocidade.

Gráfico 5 - Consumo em diferentes volumes de tráfego na Perimetral Depois



Fonte: elaborado pela autora

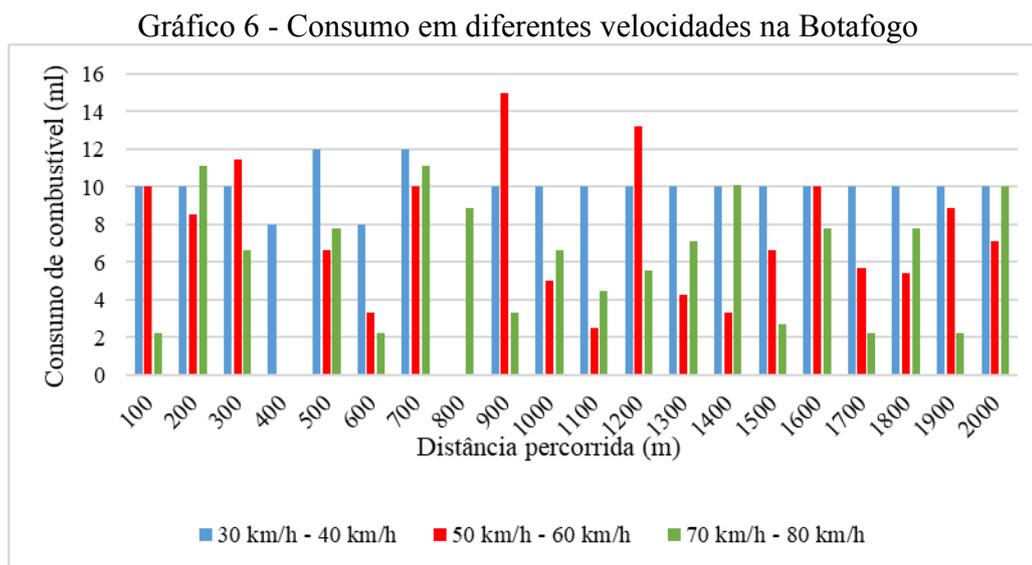
## 4.2 Velocidade

Além da análise do consumo de combustível em relação à variação horária do tráfego, analisou-se também o consumo em relação à variação de faixas de velocidade de percurso. Portanto, para as 3 vias, foram feitas coletas para baixas, médias e altas velocidades no trajeto.

### 4.2.1 Velocidade na Av. Marginal Botafogo

As coletas feitas na Avenida Marginal Botafogo foram realizadas no dia 19/11/2022, sábado, no turno da noite. A noite estava nublada, com temperatura média de 27,5 °C. Não houve intercorrências, mas vale registrar a necessidade de fazer algumas

ultrapassagens pela esquerda na coleta da faixa de velocidade mais alta. A partir desses dados coletados pelo aplicativo, foi possível gerar as tabelas do Apêndice A, nas quais estão mostrados o consumo acumulado de combustível e o consumo a cada 100 metros percorridos. Com isso, é possível gerar o Gráfico 6, em que se visualiza comparativamente o consumo em ml de combustível nas faixas baixa, média e alta de velocidade.



De acordo com os dados mostrados, é possível notar que, de modo geral, o consumo de combustível no trecho percorrido em baixa velocidade é maior que nos trechos percorridos em média e alta velocidade. Além disso, os níveis de consumo possuem comportamento semelhante no decorrer do percurso. Destaca-se, entretanto, trechos em que o comportamento foi contrário. O primeiro é o trecho de 800 metros, em que o consumo passou de 0 ml para 8,89 ml. O segundo é o trecho de 1300 metros, no qual houve um aumento de aproximadamente 66,4% entre as faixas de velocidade média e alta. O terceiro trecho é o de 1400 metros, em que o maior consumo de combustível foi na faixa de velocidade alta. Como citado, foram realizadas algumas ultrapassagens durante a coleta, o que pode justificar o comportamento anômalo em tais trechos.

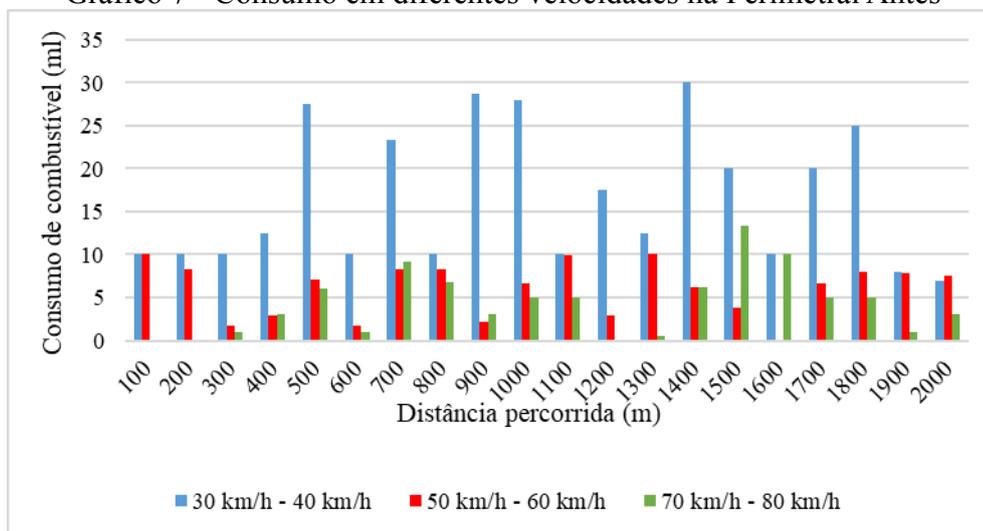
#### **4.2.2 Velocidade na Av. Perimetral Norte Antes**

Para a comparação de consumo de combustível na Avenida Perimetral Norte antes da reconstrução asfáltica, foram realizadas coletas na data 18/06/2023, domingo à tarde, sem imprevistos. Com isso, geraram-se as tabelas do Apêndice A com as informações de consumo

e consumo acumulado a cada 100 metros percorridos no trecho.

A partir disso, então consegue-se esboçar o Gráfico 7 com as comparações de consumo de combustível em cada uma das 3 faixas de velocidades percorridas. Em regra, o consumo foi maior quando o veículo estava na menor faixa de velocidade e menor quando o veículo estava na maior faixa de velocidade. A exceção foram os trechos de 1500 m e 1600 m, nos quais o menor consumo ocorreu na faixa média de velocidade. Nessa parte do trecho de 2 km, há uma leve curva vertical que pode ser a causa de tais valores.

Gráfico 7 - Consumo em diferentes velocidades na Perimetral Antes



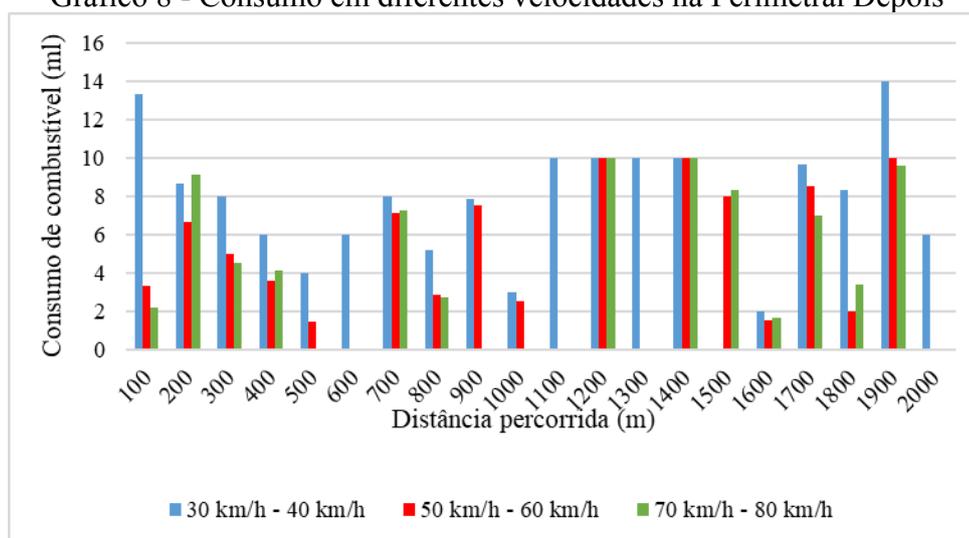
Fonte: elaborado pela autora

#### 4.2.3 Velocidade na Av. Perimetral Norte Depois

As coletas em diferentes faixas de velocidade ocorreram dia 11/11//2023, sábado à tarde, sem observações atípicas. As informações estão nas tabelas do Apêndice A.

No Gráfico 8 é mostrada a comparação do consumo de combustível nas faixas baixa, média e alta de velocidade percorrida. De maneira esperada, o consumo foi maior em velocidades menores. As exceções foram os trechos de 200 m e de 1500 m: no de 200 m, o maior consumo ocorreu na coleta realizada com velocidade alta e o menor consumo ocorreu na coleta realizada com velocidade média; no de 1500 m (onde há uma discreta curva vertical), o consumo na velocidade baixa foi de 0 ml.

Gráfico 8 - Consumo em diferentes velocidades na Perimetral Depois



Fonte: elaborado pela autora

### 4.3 Qualidade da Via

Um dos critérios para a escolha das Avenidas foi a qualidade do trecho de via. Foi, então, utilizado o aplicativo Carbin em diversas vias, com a faixa de velocidade alta, até que se encontrassem trechos de, aproximadamente, 2 km e com qualidades distintas, pois ele fornece a média do valor de IRI instantaneamente após o trajeto percorrido.

De acordo com o que foi medido no aplicativo Carbin, com uma assertividade de 96%, o IRI encontrado para o trecho da Avenida Marginal Botafogo foi de 2,71 m/km. Segundo critérios do HDM-4 a qualidade do trecho é regular, pois está entre 2 m/km e 4 m/km.

Para o segundo trecho, na Avenida Perimetral Norte antes da reciclagem, o valor de IRI médio calculado pelo Carbin, com uma assertividade de 99%, foi de 4,10 m/km. Segundo a faixa de valores proposta pelo HDM-4 a qualidade do trecho é ruim, pois é maior ou igual a 4 m/km e menor ou igual a 6 m/km. Por fim, no terceiro trecho, também na Avenida Perimetral Norte, mas depois da reciclagem, o valor de IRI médio fornecido pelo Carbin foi de 1,98 m/km, com 98% de assertividade. De acordo com HDM-4, esse último valor é classificado como bom, por ser menor ou igual a 2.

#### 4.3.1 Qualidade na Av. Marginal Botafogo

Para a análise do valor de IRI a cada trecho de 100 metros percorridos, utilizou-se o SmartIRI. A coleta foi feita no dia 25/11/2022, sexta-feira à tarde, na faixa de velocidade

alta (70 km/h – 80 km/h). O dia estava nublado e sem chuvas, com temperatura média de 29 °C. Como o trecho analisado na Avenida Marginal Botafogo tem uma extensão de 2 quilômetros, obtiveram-se 20 valores médios de IRI, presentes na Tabela 5. O IRI médio encontrado foi de 2,78 m/km, sendo, portanto, classificado como regular, segundo HDM-4. Nota-se que os valores de IRI médio calculados pelo Carbin e pelo SmartIRI foram bastante similares.

Tabela 5 - Valores de IRI para a Av. Marginal Botafogo

<b>Trecho (m)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
<b>1</b>	3,03
<b>2</b>	2,60
<b>3</b>	2,56
<b>4</b>	2,47
<b>5</b>	2,59
<b>6</b>	2,66
<b>7</b>	2,89
<b>8</b>	2,87
<b>9</b>	2,58
<b>10</b>	3,11
<b>11</b>	3,03
<b>12</b>	3,24
<b>13</b>	2,85
<b>14</b>	2,63
<b>15</b>	2,46
<b>16</b>	2,61
<b>17</b>	2,83
<b>18</b>	2,96
<b>19</b>	2,89
<b>20</b>	2,79

Fonte: elaborada pela autora

#### ***4.3.2 Qualidade na Av. Perimetral Norte Antes***

Foi realizada uma coleta no dia 30/06/2023, tarde de sexta-feira, para a análise do valor de IRI a cada trecho de 100 metros percorridos com o uso do SmartIRI. O trecho foi percorrido na faixa de velocidade alta, e, com isso, foram obtidos 20 valores médios de IRI, presentes na Tabela 6. O IRI médio encontrado foi de 3,71 m/km, próximo ao valor de 4,10 m/km calculado pelo Carbin. Apesar de o valor encontrado pelo SmartIRI inserir o IRI na classificação regular segundo HDM-4, será adotada a classificação ruim, baseado no valor de IRI encontrado pelo Carbin.

Tabela 6 - Valores de IRI para a Av. Perimetral Norte Antes

<b>Trecho (m)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1	3,53
2	3,98
3	3,65
4	3,20
5	3,23
6	3,86
7	3,92
8	3,76
9	3,72
10	3,74
11	3,63
12	3,59
13	3,81
14	3,68
15	3,72
16	3,78
17	3,76
18	3,81
19	3,88
20	3,93

Fonte: elaborada pela autora

#### ***4.3.3 Qualidade na Av. Perimetral Norte Depois***

Para a análise da qualidade do pavimento trecho a trecho na Avenida Perimetral Norte depois da reconstrução asfáltica, foi feita coleta dia 10/11/2023, sexta-feira no turno da tarde. Os 20 valores de IRI encontrados para cada um dos respectivos 20 trechos estão expostos na Tabela 7. O valor médio de IRI encontrado foi de 1,81 m/km, classificado como bom de acordo com HDM-4 e próximo ao de 1,98 m/km calculado pelo Carbin.

Tabela 7 - Valores de IRI para a Av. Perimetral Norte Depois

Trecho (m)	IRI (m/km)
1	3,17
2	2,07
3	1,42
4	1,49
5	1,38
6	1,22
7	1,29
8	1,30
9	1,48
10	1,81
11	1,56
12	1,68
13	1,73
14	1,85
15	1,69
16	1,62
17	1,88
18	2,32
19	2,50
20	2,70

Fonte: elaborada pela autora

#### 4.4 Avaliação Estatística

Em um panorama geral, têm-se os parâmetros estatísticos para cada trecho de via analisado e para cada tipo de coleta realizado, sendo eles: média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Tais valores numéricos podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos do consumo (ml) nos diferentes cenários e trechos

		Alto volume de tráfego	Baixo volume de tráfego	Baixa velocidade	Média velocidade	Alta velocidade
<b>Botafogo</b>	Média:	19,42	7,30	9,50	6,86	6,00
	Desvio padrão:	9,69	2,77	2,36	3,97	3,31
	CV:	0,50	0,38	0,25	0,58	0,55
<b>Perimetral Antes</b>	Média:	21,10	14,50	16,50	6,00	4,20
	Desvio padrão:	10,39	8,89	7,80	3,07	3,61
	CV:	0,49	0,61	0,47	0,51	0,86
<b>Perimetral Depois</b>	Média:	15,50	6,00	7,50	4,50	4,00
	Desvio padrão:	6,58	4,43	3,46	3,57	3,81
	CV:	0,42	0,74	0,46	0,79	0,95

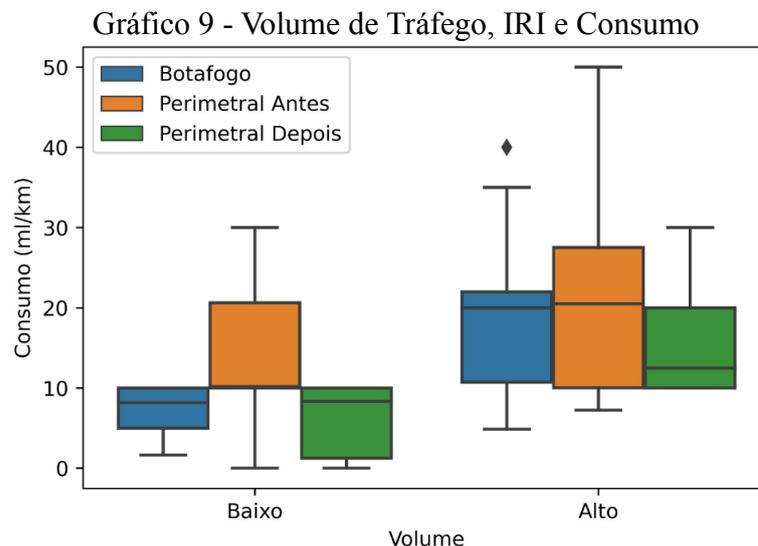
Fonte: elaborada pela autora

Acentua-se que em todas as 3 vias a média de consumo foi diretamente proporcional ao volume de tráfego e inversamente proporcional à velocidade de percurso. Além disso, na maioria das coletas, os resultados de consumo foram menores na Avenida Perimetral Norte Depois e maiores na Avenida Perimetral Norte Antes.

Com o auxílio da análise estatística e por meio de boxplot, foram analisados dois cenários para cada trecho de via. O primeiro foi a avaliação da influência do volume de tráfego e do IRI no consumo de combustível. O segundo cenário foi a avaliação da influência da velocidade e do IRI no consumo de combustível.

#### 4.4.1 Tráfego, IRI e Consumo

Foi possível traçar o boxplot, mostrado no Gráfico 9, dos dados coletados para a condição considerada: consumo para diferentes patamares de volume de tráfego e IRI, desconsiderando a influência da velocidade.



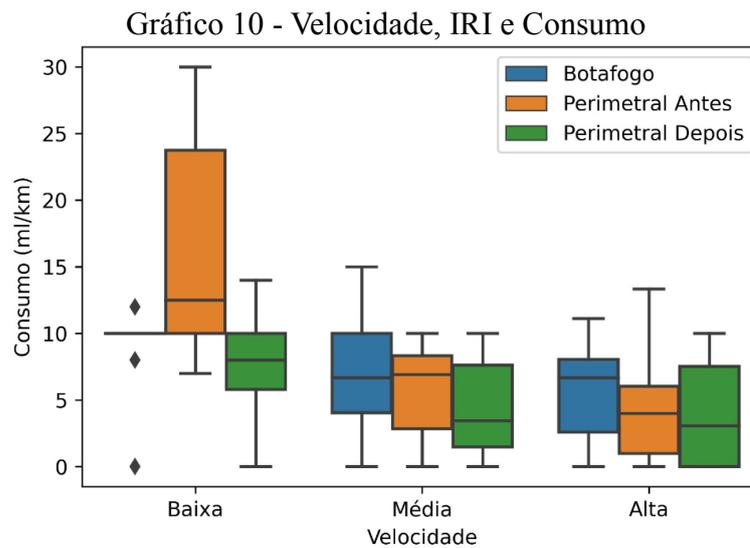
Fonte: elaborado pela autora

O Gráfico 9 aponta para uma relação direta do volume de tráfego e consumo, uma vez que as medianas do consumo para baixo volume de tráfego são menores que as medianas do consumo para alto volume de tráfego. Para alto volume de tráfego, constata-se que a mediana do consumo da Av. Perimetral Norte Antes se assemelha à mediana do consumo da Av. Marginal Botafogo, enquanto a mediana do consumo para a Av. Perimetral Norte Depois apresenta um valor bem abaixo das supracitadas. Apesar da semelhança citada, destaca-se que em ambos os cenários de volume de tráfego, a Av. Perimetral Norte Antes apresentou maior

amplitude nos dados.

#### 4.4.2 Velocidade, IRI e Consumo

O Gráfico 10 abaixo é o boxplot dos dados coletados de consumo para diferentes patamares de velocidade e IRI, desconsiderando a influência do volume de tráfego.



Fonte: elaborado pela autora

A partir do Gráfico 10, é possível observar uma relação inversa entre velocidade e consumo, uma vez que a mediana dos boxplots diminuem à medida que a categoria de velocidade transita entre baixo até alto. Esse comportamento é observado para todas as rodovias com diferentes valores de IRI, todavia constatou-se pouca alteração na mediana dos boxplots da Av. Marginal Botafogo para as velocidades média e alta.

Ainda na Av. Marginal Botafogo, também se destacam as leituras de consumo para baixas velocidades, com uma amplitude interquartil quase nula, indicando que grande parte dos dados, exceto os classificados como *outliers*, estão próximos da mediana.

A influência do IRI nos boxplots do Gráfico 10 também é digno de nota. Para velocidades baixas, observa-se que o consumo é mais elevado na via de IRI alto (Perimetral Antes) do que nas demais rodovias. Para velocidades médias, a mediana do consumo da via com IRI alto (Perimetral Antes) já se iguala à mediana do consumo da via com IRI médio (Botafogo). Para velocidades altas, a maior mediana do consumo foi o da via com IRI médio (Botafogo). Em todas as categorias de velocidade, a menor mediana do consumo foi o da via com IRI baixo (Perimetral Depois).

## 5 CONCLUSÃO

Com este trabalho, analisou-se a influência do tráfego, da velocidade e da qualidade de pavimentos no consumo de combustível em trechos de fluxo ininterrupto em vias urbanas de Goiânia-GO. Foram escolhidos três trechos de 2 km de via, os quais tivessem o mínimo possível de interferência semaforica e de outros redutores de velocidade. Para a escolha dos trechos, foi gerado no QGIS o mapa de densidade semaforica da cidade de Goiânia-GO e foi utilizado o Carbin para identificação da qualidade deles. Cada um dos três trechos tem valor de IRI bastante distintos, o que os qualifica como trecho de boa qualidade, média qualidade e má qualidade.

Para a análise do tráfego, coletaram-se dados de consumo de combustível no horário de pico e em um horário de fluxo livre, mantendo a velocidade em ambos os casos. A média de valores de consumo de combustível foi mais alta no horário com maior volume de tráfego para os 3 trechos, o que está dentro do esperado, tendo em vista que o consumo tem a ver com a variação de aceleração do veículo.

Coletaram-se também dados de consumo de combustível para faixas de velocidade baixa, média e alta. Notou-se, na totalidade das coletas, que houve uma maior média de consumo de combustível para a faixa baixa de velocidade (30km/h – 40 km/h) e um menor consumo para a faixa alta de velocidade (70km/h – 80 km/h). Enquanto o aumento na irregularidade aumenta o consumo de combustível em qualquer velocidade, o aumento da irregularidade também reduz a velocidade de deslocamento, o que reduz o consumo de combustível.

Em relação à qualidade das vias, de maneira geral, o trecho de via com o menor valor de IRI (Avenida Perimetral Norte Depois) foi também o trecho com menores valores de consumo de combustível. Já o trecho da Avenida Perimetral Norte Antes, que tem o maior valor de IRI do estudo, foi o que teve maiores valores de consumo de combustível para os cenários coletados. Isso está dentro do esperado, por saber que o IRI tem a ver com os desvios e defeitos da superfície da via e representa a percepção do usuário em relação à trafegabilidade e conforto ao rolamento.

Alguns parâmetros estatísticos foram calculados, para fins de ratificação de conclusões acima tiradas. Foram eles: média, desvio padrão e coeficiente de variação. Também com o auxílio da estatística, mais especificamente de gráficos boxplot, foi possível analisar dois cenários. O primeiro cenário levou em consideração volume de tráfego e IRI, desconsiderando a influência da variação de velocidade e o segundo cenário analisou

velocidade e IRI, desconsiderando variação de volume de tráfego.

Nesse contexto, é importante dar destaque a três limitações encontradas durante a execução desta dissertação. A primeira diz respeito à escassez de informações sobre como é feito o cálculo do consumo de combustível a partir do aplicativo Car Scanner, pois não são fornecidas equações que embasam o modelo de cálculo automático. A outra é que tal aplicativo fornece os valores numéricos de consumo acumulado de combustível com a precisão de apenas dois algarismos decimais, entretanto um terceiro algarismo decimal influencia bastante nos resultados. A última é que os dados de tráfego mais recentes fornecidos pela SMM são do ano de 2021, ano posterior à pandemia, o que significa dizer que o fluxo ainda poderia estar menor que o atual.

Por fim, sugere-se que em trabalhos futuros sejam refeitas coletas de consumo de combustível nesses mesmos trechos, a partir da utilização de outras ferramentas de coleta, para fins de comparação com os atuais dados. Recomenda-se, também, que o consumo nessas vias seja analisado variando-se outros parâmetros, por exemplo emissão de poluentes. Também seria de grande valia para usuários de veículos, de maneira geral, terem fácil acesso a aplicativos de *smartphones* que indiquem o consumo de combustível de cada opção de trajeto a ser percorrido.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Vandr . **Perimetral Norte em Goiânia será reformada em 150 dias**. Disponível em: <https://opopular.com.br/cidades/perimetral-norte-em-goiania-sera-reformada-em-150-dias-1.3042337>. Acesso em: 25 out. 2023.
- ALMEIDA, Rodrigo de Deus. **Sistema Móvel de Análise de Consumo de Combustível de Veículos Automotores**. 2017. 65 f. TCC (Gradua o) - Curso de Ciência da Computa o, O Instituto Federal de Educa o, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga, 2017.
- ALMEIDA, Lucas Cavalcante de. **Aplicativo para Smartphone Destinado   Medida da Irregularidade Longitudinal em Rodovias**. 2018. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- AMAZON. **Scanner Automotivo Bluetooth Obd2 - Versão 2.1**. Disponível em: [https://www.amazon.com.br/gp/product/B08L7S276W/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o00\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.com.br/gp/product/B08L7S276W/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1). Acesso em: 13 jan. 2022.
- ANTP. **Política Nacional de Trânsito – PNT**, 2003. Disponível em: <http://www.antp.org.br>. Acesso em: 05 out. 2022.
- AZEVEDO, Priscilla Oliveira. **Effects of International Roughness Index (IRI) on Vehicle Emissions**. 2019. 81 f. Disserta o (Mestrado) - Curso de Planejamento de Infraestrutura, University Of Stuttgart, Stuttgart, 2019.
- BAKER R., **Handbook of highway engineering**, Van Nostrand Reinhold Company, EUA, 1975.
- BARELLA, R. M. **Contribui o para a Avalia o da Irregularidade longitudinal dos pavimentos com Perfil metros Inerciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BARRETO, Guilherme de Alencar. **Regressão Linear Simples e Múltipla**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023. 66 slides, color.
- BENEVIDES, S. A. S. **Modelos de Desempenho de Pavimentos Asfálticos para um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará**. Tese (Doutorado) apresentada   Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.
- BENNETT, C. R.; and GREENWOOD, I. D. 2003. Volume 7: **Modeling Road User and Environmental Effects in HDM-4**, Version 3.0, International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), World Road Association (PIARC), ISBN 2-84060-103-6, 2003.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimenta o asfáltica: Forma o básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.

BISCONSINI, Danilo Rinaldi. **Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones**. 2016. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. Tradução de Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini, Sueli Pfeferman. 25° ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

BOTSHEKAN, Mexan. **“The Carbin App: Assessing Road Quality Using Crowdsourced Smart-phone Measurements”**, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9YmFum6gSWg>. Acesso em: 22 out. 2022

BOTSHEKAN, M., Roxon, J., Ulm, F. J. (2020). **“Assessing Road Quality Using Crowdsourced Smart- phone Measurements”**, Research Brief, Volume 2020, Issue 6.

CAMPOS, A. C. R., 2004, **“Métodos de Previsão de Desempenho de Irregularidade Longitudinal Para Pavimentos Asfálticos: Aplicação e Proposição de Critérios de Ajuste”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960) **The Pavement Serviceability-Performance Concept**. Highway Research Board Bulletin, No 250, USA. P. 40-58.

CARVALHO, Nuno Miguel Soares Martins de. **Planeamento e Traçado de Vias Urbanas**. 2002. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, Portugal. 2002.

CASTRO, Cecília Catarina Oliveira de et al. **Análise das Condições de Superfície do Pavimento por meio do VSA e do Iri Obtido com o Aplicativo SmartIRI: Estudo De Caso Aplicado à Rodovia Ce-401**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., 2019, Fortaleza. Anais [...] . Balneário Camboriú: Anpet, 2019.

CERTIFIC NET. **Tutorial de Utilização do SmartIRI: Versão 2.0**. 2019. Disponível em: <<https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/smartiriapp-prod.appspot.com/o/config\2FTutorial\20SmartIRI.pdf?alt=media&token=2689d87f-77f9-4cd3-857a-26be65afec68>>. Acesso em: 03 fev. 2023.

CHEIN, Flávia. **Introdução aos Modelos de Regressão Linear**. Brasília: Enap, 2019.

CHEN, D., HILDRETH, J. e MASTIN, N. **Determination of IRI and Tresholds for Flexible Pavements**. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 145(2), 1-10, 2019.

CNT (Confederação Nacional dos Transportes). **Relatório Gerencial: Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2019.

CSHUB – CONCRETE SUSTAINABILITY HUB. **Crowdsourcing Pavement Data with Carbin**. Massachusetts: MIT, 2019.

CSHUB – CONCRETE SUSTAINABILITY HUB. **Measuring Road Quality and Excess Fuel Consumption with Smartphones**. Massachusetts: MIT, 2021.

CTB. **LEI N° 9.503**: Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: Ministério da Justiça, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2011.

FURRIELA, R. **Educação para o consumo sustentável**. USP, São Paulo, 2000.

GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de Tráfego: 1º Módulo. Programa de Educação Tutorial em Engenharia Civil**. Universidade Federal de Santa Catarina. Material de Apoio Didático. 99 p. 2008.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos**. Rio Grande do Sul: 1999.

GOTO, Raphaela Sobreira. **Estudo da aplicabilidade do rejeito de quartzo como agregado na composição do concreto asfáltico**. 119 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil, 2010.

ISLAM, S.; BUTTLAR, W. G. **Effect of Pavement Roughness on User Costs**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 2285, pp. 47-55, 2012.

ISO 11898-1, 2015, **Road vehicles — Controller Area Network (CAN) — Part 1: Data Link Layer and Physical Signaling**, 2015.

KERALI, H.G.R. Volume one: Overview of HDM-4. **The Highway Development and Management Series Collection**, ISOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

MAGALHÃES, Fabrício Helder Mareco. **Procedimentos para Estimar a Irregularidade Longitudinal do Pavimento por meio de Veículos Calibrados, Utilizando-se Dados de Aceleração Vertical Obtidos de Smartphones**. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MARCONI M. A.; LAKATOS E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª edição. São Paulo: Atlas S. A., 2003.

MESEGUER, Javier E. et al. **Assessing the Impact of Driving Behavior on Instantaneous Fuel Consumption**. 12Th Annual Ieee Consumer Communications And Networking Conference (Ccn), Valência, 2015.

NUNES, Diego Frinhani. **Procedimento para Análise de Sensibilidade do Programa HDM-4**. 2012. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

PEJOVIĆ, Milutin; GOSPAVIĆ, Zagorka; MILOVANOVIĆ, Branko; ARSIĆ, Igor. **Solving a surveying problem by using R and QGIS - Setting out of a land expropriation zone**. Geonauka, v. 2, p. 12-18, jun. 2014.

**PLAN XERAL DE ORDENACION MUNICIPAL DE FERROL**, 2001. Disponível em: <http://www.ferrol-concello.es/comezo.html>. Acesso em: 05 out. 2022

ROXON, Jake, 2021. “**Carbin: Crowdsourcing Road Conditions at Scale**”, Research Brief. Volume 2021, Issue 6.

SALVADOR, **Decreto N° 12.086, de 25 de agosto de 1998** – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – Salvador 2000, aprovado pela Lei nº 3.525/85, de 11.09.1985. Disponível em: <http://www.seplam.pms.ba.gov.br>. Acesso em: 05 out. 2022

SAMPEDRO, A.; CAMPOS, V. B. G.. **Avaliação e Tratamento das Características da Infra-Estrutura Viária Urbana que Influenciam a Segurança do Tráfego**. Revista Engenharia Civil, Braga, n. 27, p. 123-134, 2006.

SANDBERG, U. **Road Macro and Megatexture Influence on Fuel Consumption**. Surface characteristics of roadways: International Research and Technologies, International Symposium on Surface Characteristics, State College, Pennsylvania, m. 1031, pp. 460-479, 1990.

SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. **The Little Book of Profiling - Basic information about measuring an interpreting road profiles**. The Regent of the University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA, 1998.

SOUSA, Diego Lucena de; OLIVEIRA, Mateus Gonçalves de. **Avaliação Funcional e Estrutural do Pavimento nas Principais Vias do Município de Tucuruí**. 2016. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2016.

SOUZA, E. J. de. **Manual do condutor de veículos**. ENGETRAN, Belo Horizonte - MG, 2016.

TAN, F.; THORESEN, T.; EVANS, C. **Review of Vehicle Operating Costs and Road Roughness: Past, Current and Future**. 25th ARRB Conference – Shaping the future: Linking policy, research and outcomes, Perth, Australia, 2012.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **China and India account for half of global energy growth through 2035**. Washington, Dc: Energy Information Administration, 2011.

VIEIRA, Rubens; SOARES, Elaine Maria. Avaliando pavimentos. **Notícias da Construção**, São Paulo, p.42-44, dez. 2012.

WANG, Yanni et al. **Impacts of Road Grade on Fuel Consumption of Light Vehicles by Use of Google Earth DEM**. In: 2015 International Conference on Cyber-enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CYBERC), 2015, XI'An. 2015 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. XI'An: Ieee, 2015. p. 360-364.

WINFREY, R. and ZELLNER, C. **Summary and Evaluation of Economic Consequences of**

**Highway Improvements.** NHCRP Report 122, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1971.

ZAABAR, Imen; CHATTI, Karim. Estimating Vehicle Operating Costs Caused by Pavement Surface Conditions. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.** Washington, Dc, p. 63-76. jan. 2014.

## APÊNDICE A – DADOS DE CONSUMO OBTIDOS COM CAR SCANNER

<b>Alto Volume de Tráfego na Botafogo</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	20,00	20,00
200	50,00	30,00
300	70,00	20,00
400	110,00	40,00
500	130,00	20,00
600	150,00	20,00
700	185,00	35,00
800	220,00	35,00
900	233,33	13,33
1000	244,00	10,67
1100	265,00	21,00
1200	290,00	25,00
1300	310,00	20,00
1400	330,00	20,00
1500	350,00	20,00
1600	360,77	10,77
1700	368,46	7,69
1800	373,33	4,87
1900	380,00	6,67
2000	388,39	8,39

Fonte: elaborada pela autora

<b>Baixo Volume de Tráfego na Botafogo</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	18,33	8,33
300	20,00	1,67
400	30,00	10,00
500	40,00	10,00
600	45,00	5,00
700	55,00	10,00
800	60,00	5,00
900	70,00	10,00
1000	72,00	2,00
1100	80,00	8,00
1200	90,00	10,00
1300	98,33	8,33
1400	105,00	6,67
1500	110,00	5,00
1600	120,00	10,00
1700	130,00	10,00
1800	133,64	3,64
1900	140,00	6,36
2000	146,00	6,00

Fonte: elaborada pela autora

**Alto Volume de Tráfego na Perimetral Antes**

<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	50,00	50,00
200	80,00	30,00
300	87,25	7,25
400	97,30	10,05
500	106,67	9,37
600	130,00	23,33
700	160,00	30,00
800	180,00	20,00
900	190,00	10,00
1000	211,00	21,00
1100	237,70	26,70
1200	250,00	12,30
1300	280,00	30,00
1400	290,00	10,00
1500	310,00	20,00
1600	335,00	25,00
1700	360,00	25,00
1800	370,00	10,00
1900	390,00	20,00
2000	422,00	32,00

Fonte: elaborada pela autora

**Baixo Volume de Tráfego na Perimetral Antes**

<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	22,50	22,50
200	32,86	10,36
300	40,00	7,14
400	50,00	10,00
500	53,33	3,33
600	65,00	11,67
700	70,00	5,00
800	70,00	0,00
900	80,00	10,00
1000	100,00	20,00
1100	125,00	25,00
1200	140,00	15,00
1300	150,00	10,00
1400	180,00	30,00
1500	190,00	10,00
1600	210,00	20,00
1700	220,00	10,00
1800	250,00	30,00
1900	260,00	10,00
2000	290,00	30,00

Fonte: elaborada pela autora

---

**Alto Volume de Tráfego na Perimetral Depois**


---

<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	25,00	15,00
300	40,00	15,00
400	50,00	10,00
500	70,00	20,00
600	80,00	10,00
700	110,00	30,00
800	120,00	10,00
900	150,00	30,00
1000	160,00	10,00
1100	180,00	20,00
1200	200,00	20,00
1300	210,00	10,00
1400	220,00	10,00
1500	230,00	10,00
1600	250,00	20,00
1700	260,00	10,00
1800	270,00	10,00
1900	293,33	23,33
2000	310,00	16,67

Fonte: elaborada pela autora

---

**Baixo Volume de Tráfego na Perimetral Depois**


---

<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	20,00	10,00
300	20,00	0,00
400	30,00	10,00
500	40,00	10,00
600	42,00	2,00
700	50,00	8,00
800	60,00	10,00
900	60,00	0,00
1000	60,00	0,00
1100	70,00	10,00
1200	70,00	0,00
1300	80,00	10,00
1400	90,00	10,00
1500	91,67	1,67
1600	100,00	8,33
1700	108,33	8,33
1800	110,00	1,67
1900	120,00	10,00
2000	120,00	0,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Baixa Velocidade (30km/h - 40 km/h) na Botafogo</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	20,00	10,00
300	30,00	10,00
400	38,00	8,00
500	50,00	12,00
600	58,00	8,00
700	70,00	12,00
800	70,00	0,00
900	80,00	10,00
1000	90,00	10,00
1100	100,00	10,00
1200	110,00	10,00
1300	120,00	10,00
1400	130,00	10,00
1500	140,00	10,00
1600	150,00	10,00
1700	160,00	10,00
1800	170,00	10,00
1900	180,00	10,00
2000	190,00	10,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Média Velocidade (50 km/h - 60 km/h) na Botafogo</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	18,57	8,57
300	30,00	11,43
400	30,00	0,00
500	36,67	6,67
600	40,00	3,33
700	50,00	10,00
800	50,00	0,00
900	65,00	15,00
1000	70,00	5,00
1100	72,50	2,50
1200	85,71	13,21
1300	90,00	4,29
1400	93,33	3,33
1500	100,00	6,67
1600	110,00	10,00
1700	115,71	5,71
1800	121,11	5,40
1900	130,00	8,89
2000	137,14	7,14

Fonte: elaborada pela autora

<b>Alta Velocidade (70 km/h - 80 km/h) na Botafogo</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	2,22	2,22
200	13,33	11,11
300	20,00	6,67
400	20,00	0,00
500	27,78	7,78
600	30,00	2,22
700	41,11	11,11
800	50,00	8,89
900	53,33	3,33
1000	60,00	6,67
1100	64,44	4,44
1200	70,00	5,56
1300	77,14	7,14
1400	87,27	10,13
1500	90,00	2,73
1600	97,78	7,78
1700	100,00	2,22
1800	107,78	7,78
1900	110,00	2,22
2000	120,00	10,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Baixa Velocidade (30km/h - 40 km/h) na Perimetral Antes</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	20,00	10,00
300	30,00	10,00
400	42,50	12,50
500	70,00	27,50
600	80,00	10,00
700	103,33	23,33
800	113,33	10,00
900	142,00	28,67
1000	170,00	28,00
1100	180,00	10,00
1200	197,50	17,50
1300	210,00	12,50
1400	240,00	30,00
1500	260,00	20,00
1600	270,00	10,00
1700	290,00	20,00
1800	315,00	25,00
1900	323,00	8,00
2000	330,00	7,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Média Velocidade (50 km/h - 60 km/h) na Perimetral Antes</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	10,00	10,00
200	18,33	8,33
300	20,00	1,67
400	22,86	2,86
500	30,00	7,14
600	31,67	1,67
700	40,00	8,33
800	48,33	8,33
900	50,50	2,17
1000	57,17	6,67
1100	67,14	9,98
1200	70,00	2,86
1300	80,00	10,00
1400	86,25	6,25
1500	90,00	3,75
1600	90,00	0,00
1700	96,67	6,67
1800	104,67	8,00
1900	112,50	7,83
2000	120,00	7,50

Fonte: elaborada pela autora

<b>Alta Velocidade (70 km/h - 80 km/h) na Perimetral Antes</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
100	0,00	0,00
200	0,00	0,00
300	1,00	1,00
400	4,00	3,00
500	10,00	6,00
600	11,00	1,00
700	20,25	9,25
800	27,00	6,75
900	30,00	3,00
1000	35,00	5,00
1100	40,00	5,00
1200	40,00	0,00
1300	40,50	0,50
1400	46,67	6,17
1500	60,00	13,33
1600	70,00	10,00
1700	75,00	5,00
1800	80,00	5,00
1900	81,00	1,00
2000	84,00	3,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Baixa Velocidade (30km/h - 40 km/h) na Perimetral Depois</b>		
<b>Distância percorrida</b>	<b>Consumo acumulado</b>	<b>Consumo</b>
<b>(m)</b>	<b>(ml)</b>	<b>(ml)</b>
100	13,33	13,33
200	22,00	8,67
300	30,00	8,00
400	36,00	6,00
500	40,00	4,00
600	46,00	6,00
700	54,00	8,00
800	59,17	5,17
900	67,00	7,83
1000	70,00	3,00
1100	80,00	10,00
1200	90,00	10,00
1300	100,00	10,00
1400	110,00	10,00
1500	110,00	0,00
1600	112,00	2,00
1700	121,67	9,67
1800	130,00	8,33
1900	144,00	14,00
2000	150,00	6,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Média Velocidade (50 km/h - 60 km/h) na Perimetral Depois</b>		
<b>Distância percorrida</b>	<b>Consumo acumulado</b>	<b>Consumo</b>
<b>(m)</b>	<b>(ml)</b>	<b>(ml)</b>
100	3,33	3,33
200	10,00	6,67
300	15,00	5,00
400	18,57	3,57
500	20,00	1,43
600	20,00	0,00
700	27,14	7,14
800	30,00	2,86
900	37,50	7,50
1000	40,00	2,50
1100	40,00	0,00
1200	50,00	10,00
1300	50,00	0,00
1400	60,00	10,00
1500	68,00	8,00
1600	69,50	1,50
1700	78,00	8,50
1800	80,00	2,00
1900	90,00	10,00
2000	90,00	0,00

Fonte: elaborada pela autora

<b>Alta Velocidade (70 km/h - 80 km/h) na Perimetral Depois</b>		
<b>Distância percorrida (m)</b>	<b>Consumo acumulado (ml)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
<b>100</b>	2,22	2,22
<b>200</b>	11,36	9,14
<b>300</b>	15,91	4,55
<b>400</b>	20,00	4,09
<b>500</b>	20,00	0,00
<b>600</b>	20,00	0,00
<b>700</b>	27,27	7,27
<b>800</b>	30,00	2,73
<b>900</b>	30,00	0,00
<b>1000</b>	30,00	0,00
<b>1100</b>	30,00	0,00
<b>1200</b>	40,00	10,00
<b>1300</b>	40,00	0,00
<b>1400</b>	50,00	10,00
<b>1500</b>	58,33	8,33
<b>1600</b>	60,00	1,67
<b>1700</b>	67,00	7,00
<b>1800</b>	70,41	3,41
<b>1900</b>	80,00	9,59
<b>2000</b>	80,00	0,00

Fonte: elaborada pela autora