



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FUNCIONAIS DE PAVIMENTOS EM VIAS
URBANAS COM O USO DE SMARTPHONE**

SARA DEL ROCIO OCHOA AVEROS

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FUNCIONAIS DE PAVIMENTOS EM VIAS
URBANAS COM O USO DE SMARTPHONE**

SARA DEL ROCIO OCHOA AVEROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza

Foz do Iguaçu

2022

SARA DEL ROCIO OCHOA AVEROS

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FUNCIONAIS DE PAVIMENTOS EM VIAS URBANAS
COM O USO DE SMARTPHONE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza
UNILA

Prof. Dr. Jose Leomar Fernandes Junior
USP

Prof. Dr. César Winter de Mello
UNILA

Prof. Dr. Ivan Dario Gomez Araujo
UNILA

Prof. Dr. Noe Villegas Flores
UNILA

Foz do Iguaçu, 29 de julho de 2022.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

O16

Ochoa Averos, Sara Del Rocio Ochoa.

Avaliação das condições funcionais de pavimentos em vias urbanas com o uso de smartphone / Sara Del Rocio Ochoa Averos. - Foz do Iguaçu-PR, 2022.

171 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Foz do Iguaçu-PR, 2022.

Orientador: Ricardo Oliveira de Souza.

1. Pavimentos Urbanos - gerenciamento. 2. Smartphones. 3. Raiz da Média Quadrática da Aceleração Vertical I. Souza, Ricardo Oliveira de. II. Título.

CDU 625.84

Dedico este trabalho a todos os que
fizeram parte desta trajetória, em
especial a minha família que nunca
deixaram de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus por cuidar das pessoas que amo durante este período de pandemia.

Aos meus pais, Mirian e César, que juntos nunca desistiram de meus sonhos, e me ensinaram a ser uma mulher forte. Aos meus avôs, Sarita, Ángel (†) e Luzmila (†) pelo carinho tão especial que sempre me tiveram, e semear o gosto por aprender. A Dennis pelo apoio, compressão e incentivo para sempre melhorar e aprender. A meu irmão, e a todos os demais familiares pelo carinho e incentivo nos estudos.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo Oliveira de Souza, pela paciência, apoio e empenho inestimáveis nesta caminhada acadêmica.

Aos membros da banca Prof. José Leomar Fernandes Júnior, Prof. César Winter de Mello, Prof. Ivan Dario Gomes Araujo e Prof. Noé Villegas pelas oportunas críticas e correções que contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos meus colegas de pavimentos por me auxiliar no levantamento de dados em campo.

Aos meus amigos que fazem parte da minha vida e compartilham cada sonho e queda Ignacio, Soledad, Camila, Ingrid, Lariza, Rodrigo, Pablo, Leticia, Ana e Margarita. Em especial aqueles que me mantiveram firme nesses dois anos de pandemia, Scarlet, Tatiana, Angel, Cristhian, Paul, e minha grande parceira Adriana.

Ao Prof. Ivan pelo auxílio na análise de sinais. Ao Eng. Erid e Eng. Dennis por compartilhar seu conhecimento em programação.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Integração Latino-Americana (UNILA) por proporcionar o conhecimento e ferramentas para a realização desta pesquisa. Particularmente, aos funcionários da Pró-reitora de Administração, Gestão e Infraestrutura, Divisão de Transporte, pelo suporte durante esta pesquisa, em especial ao motorista, Sr. Vasildo, que nos ajudou no levantamento dos dados.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho, meu sincero agradecimento.

*“O bom mesmo é ir à luta com determinação,
abraçar a vida com paixão, perder com classe e
vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem
se atreve”*

Charles Chaplin

RESUMO

A malha viária é um elemento estruturador das cidades, contribuindo para o desenvolvimento econômico e trazendo importantes benefícios sociais para elas. Com o passar do tempo, as vias pavimentadas se deterioram por ação das cargas do tráfego e das intempéries, diminuindo sua capacidade de suporte e deixando a utilização destas estruturas menos segura, confortável e econômica aos usuários. O monitoramento periódico das degradações auxilia a tomada de decisão dos gestores sobre os trechos a serem priorizados nas futuras intervenções. Os levantamentos convencionais dessas degradações implicam custos e mão-de-obra treinada, tendo implicações na eficiência, frequência de aquisição de dados e valores dos índices calculados (por exemplo, Índice de Gravidade Global-IGG e Índice de Irregularidade Internacional-IRI). A medição das acelerações verticais experimentadas por um veículo, mediante uso de smartphones, poderia aperfeiçoar essas atividades de monitoramento. Nesta pesquisa se determinou o IGG em trechos de três vias urbanas pavimentadas, nas quais também foram efetuadas medições do IRI com equipamento do tipo Dipstick. Ainda nesses trechos, foram realizados levantamentos das acelerações verticais considerando quatro velocidades operacionais (25, 35, 45 e 55 km/h), dois tipos de veículos (de passeio e utilitário) e as posições de fixação dos smartphones (para-brisa e saída de ar). Estas acelerações foram submetidas à transformação de coordenadas e aplicação de filtros de Butterworth. A partir disto, calcularam-se valores de RMSVA (*Root Mean Square Vertical Acceleration*), os quais foram analisados estatisticamente mediante testes de hipóteses. Considerando 95% de confiança, se constatou ausência de diferença estatística entre os valores de RMSVA quando consideradas a posição do suporte do smartphone, tipo de veículo e intervalo de filtragem, em diferentes velocidades operacionais. Análises de correlação entre o IRI e a RMSVA identificaram fortíssima correlação ($R = 0.90$) entre ambos, quando consideradas as acelerações verticais medidas no veículo de passeio, com smartphone fixado na saída de ar e velocidades operacionais de 55 km/h. A análise de regressão linear entre ambos gerou modelo estatístico com $R^2=0.81$, ou seja, a RMSVA explicou, em média, 81% das variações do IRI em trechos com segmentos de 60 m de comprimento.

Palavras-chave: Gerência de Pavimentos Urbanos; smartphones; IGG; IRI; RMSVA.

ABSTRACT

The road network is a structuring element of cities, contributing to economic development and social benefits. Over time, paved roads deteriorate due to traffic loads and weather, reducing their carrying capacity and making using these structures less safe, comfortable, and economical for users. Periodic monitoring of degradation helps managers to make decisions about the stretches to be prioritized in future interventions. Conventional surveys of these degradations imply costs and trained human resources, having implications for efficiency, data acquisition frequency, and calculated index values (e.g., Global Severity Index-IGG and International Irregularity Index-IRI). Measuring the vertical accelerations experienced by a vehicle using smartphones could improve these monitoring activities. In this research, the IGG was determined in sections of three paved urban roads, in which IRI measurements were also carried out with Dipstick type equipment. Also, in these stretches, surveys of vertical accelerations were carried out considering four operating speeds (25, 35, 45, and 55 km/h), two types of vehicles (passenger and utility), and the smartphone attachment positions (windshield and exit of air). These accelerations were submitted to coordinate the transformation and application of Butterworth filters. RMSVA (Root Mean Square Vertical Acceleration) values were calculated and statistically analyzed through hypothesis tests. Considering 95% confidence, was no statistical difference between the RMSVA values when considering the position of the smartphone holder, type of vehicle, and filtering interval, at different operating speeds. Correlation analyses between the IRI and the RMSVA identified a robust correlation ($R = 0.90$) between them when considering the vertical accelerations measured in the passenger vehicle, with a smartphone attached to the air outlet and operating speeds of 55 km/h. The linear regression analysis between both generated a statistical model with $R^2=0.81$. The RMSVA explained, on average, 81% of the IRI variations in sections with 60 m long segments.

Key words: Urban Pavement Management; smartphones; IGG; IRI; RMSVA.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Etapas de um SGPU para cidades de pequeno e médio porte.....	23
FIGURA 2 – Irregularidade longitudinal de um pavimento rodoviário.....	35
FIGURA 3 – Esquema do equipamento Dipstick.....	37
FIGURA 4 – Equipamento APL francês.....	38
FIGURA 5 – Equipamento Merlin.....	38
FIGURA 6 – Sistema Quarto de Carro.....	39
FIGURA 7 – Ensaio de mancha de areia.....	44
FIGURA 8 – Aplicativo <i>AndroSensor</i>	46
FIGURA 9 – Processamento dos sinais de aceleração para obtenção dos deslocamentos	47
FIGURA 10 – Croqui do trecho na Av. Araucária.....	51
FIGURA 11 – Croqui do trecho na Av. José Maria de Brito.....	52
FIGURA 12 – Croqui do trecho na Av. Pedro Basso.....	52
FIGURA 13 – Levantamento das irregularidades longitudinais.....	54
FIGURA 14 – Suportes escolhidos para fixação dos smartphones.....	56
FIGURA 15 – Tipos de veículos escolhidos.....	57
FIGURA 16 – Combinações de RMSVA's para comparação das velocidades operacionais (0.5-20 Hz)	62
FIGURA 17 – Combinações de RMSVA's para comparação dos tipos de suporte (0.5 - 20Hz)	63
FIGURA 18 – Combinações de RMSVA's para comparação dos tipos de veículos (0.5 - 20Hz)	64
FIGURA 19 – Combinações de RMSVA's considerando os intervalos de filtragem (0.5- 20 Hz e 0.5Hz)	64
FIGURA 20 – Combinações avaliadas de IGG vs RMSVA e IRI vs RMSVA (0.5 - 20Hz)	67
FIGURA 21 – IGG dos trechos de estudo a cada 60 m.....	69
FIGURA 22 – Perfil da trilha de roda externa em cada via.....	70
FIGURA 23 – IRI dos trechos a cada 60 m.....	71
FIGURA 24 – Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos com o smartphone fixado, respectivamente, no para-brisa e na saída de ar do veículo de	

passeio.....74
FIGURA 25 – Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos com o smartphone fixado, respectivamente, no para-brisa e na saída de ar da pick-up.....74
FIGURA 26 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 240 m.....76
FIGURA 27 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 240 m77
FIGURA 28 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (veículo de passeio)78
FIGURA 29 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (pick-up)78
FIGURA 30 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (veículo de passeio)80
FIGURA 31 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (pick-up)80

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Nível de importância dos dados para SGPU em nível de rede.....	25
QUADRO 2 – Defeitos considerados no cálculo do IGG.....	29
QUADRO 3 – Sistemas medidores de irregularidade longitudinal.....	36
QUADRO 4 – Condições analisadas em segmento único de 240 m de comprimento.....	65
QUADRO 5 – Condições analisadas em segmentos consecutivos de 60 m.....	65
QUADRO 6 – Síntese dos Testes t de <i>Student</i> para segmento único de 240 m de comprimento.....	82
QUADRO 7 – Síntese dos Testes Mann-Whitney para segmentos com 60 m de comprimento.....	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Conceitos do estado de conservação do pavimento em função do IGG.....	34
TABELA 2 – Condição superficial do pavimento.....	41
TABELA 3 – Classificação da textura superficial.....	43
TABELA 4 – Classes de macrotextura.....	44
TABELA 5 – Resultados de Douangphachanch e Oneyama.....	48
TABELA 6 – Características dos trechos avaliados.....	51
TABELA 7 – Ficha técnica dos veículos escolhidos.....	57
TABELA 8 – Velocidades operacionais e respectivas marchas.....	57
TABELA 9 – Informação dos participantes dos levantamentos das irregularidades longitudinais.....	58
TABELA 10 – Condição do pavimento segundo o IGG (40 estações; segmento único de 240 m)	68
TABELA 11 – Resumo dos valores de IRI.....	71
TABELA 12 – Valores de macrotextura média.....	72
TABELA 13 – Ângulos de Pitch e Roll no veículo de passeio para cada trecho e fixação do suporte do smartphone.....	73
TABELA 14 – Ângulos de Pitch e Roll na pick-up para cada trecho e fixação do suporte do smartphone.....	73
TABELA 15 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 a 20 Hz) para segmento único com 240 m de comprimento.....	85
TABELA 16 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 Hz) para segmento único com 240 m de comprimento.....	85
TABELA 17 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 a 20 Hz) a cada 60 m.....	86
TABELA 18 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 Hz) a cada 60 m.....	86
TABELA 19 – Sínteses da avaliação funcional.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Alto
AARB	<i>Australian Road Research Board</i>
AASHTO	Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais
B	Baixo
cm	Centímetros
CPSD	<i>Cross Power Spectral Density</i>
CV	Coeficiente de Variação
DC	<i>Direct Current</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GIS	Sistema de Informações Geográficas
GMS	Sistema Global para Comunicações Móveis
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HS	Altura média da mancha de areia
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
in/mi	Polegadas por milha
IRI	Índice de Irregularidade Internacional
km/h	Quilômetros por hora
M	Médio
m	Metros
M&R	Manutenção e Reabilitação
m/km	Metros por quilômetro
MEMS	Micro-Eleto-Mecânico
MERLIN	<i>Machine for Evaluating Roughness using Low-cost</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
ProVAL	<i>Profile Viewing and Analysis</i>
RMSVA	Raiz da Média Quadrática da Aceleração Vertical

SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU	Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
TRL	<i>Transportation Research Laboratory</i>
μ	Média
σ	Desvio-padrão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	22
2.1.1 Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	23
2.2 DEFEITOS, AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ADERÊNCIA PNEU-MOVIMENTO.....	27
2.2.1 Diagnóstico de defeitos.....	28
2.2.2 Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG).....	33
2.2.3 Irregularidade longitudinal.....	34
2.2.4 Aderência pneu-pavimento.....	43
2.4 PESQUISAS DE PARÂMETROS DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTO A PARTIR DE SMARTPHONES.....	45
2.3.1 Limitações.....	47
2.3.2 Literatura recente.....	47
2.3.2 Aplicativos comerciais para determinação da condição do pavimento.....	49
3. ESTUDO DO MÉTODO	51
3.1 AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO.....	52
3.1.1 Levantamento de defeitos de superfície e cálculo do IGG.....	52
3.1.2 Obtenção da irregularidade longitudinal.....	53
3.1.3 Análise da aderência pneu-pavimento.....	55
3.2 LEVANTAMENTO DAS ACELERAÇÕES A PARTIR DE UM SMARTPHONE.....	55
3.2.1 Parâmetros.....	55
3.2.2 Metodologia de medição.....	58
3.2.3 Processamento dos dados.....	59
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	60
3.3.1 Comparações entre amostras.....	61
3.3.3 Análises de correlação e análises de regressão linear.....	66
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
4.1 ESTADO DE DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS.....	68

4.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS...	69
4.3 AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA DA SUPERFÍCIE DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS.....	72
4.4 ACELERAÇÕES VERTICAIS MEDIDAS COM SMARTPHONES.....	72
4.4.1 Repetitividade dos valores de RMSVA.....	75
4.4.2 Testes de hipóteses.....	81
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	90
REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICE A: SCRIPT RUÍDO.....	99
APÊNDICE B: SCRIPT CPSD.....	103
APÊNDICE C: SCRIPT BANDPASS.....	106
APÊNDICE D: SCRIPT PASSA ALTA.....	111
APÊNDICE E: ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	116
APÊNDICE F: CÁLCULO DO IGG E DA MACROTEXTURA.....	118
APÊNDICE G: VALORES OBTIDOS PARA O CÁLCULO DOS ÂNGULOS PITCH E ROLL, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, DURANTE 24 SEGUNDOS COM OS VEÍCULOS DESLIGADOS EM CADA TRECHO.....	120
APÊNDICE H: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RUÍDO SOBRE OS VALORES DE RMSVA.....	121
APÊNDICE I: RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE CROSS POWER SPECTRAL DENSITY (CPSD) PARA DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, COM OS VEÍCULOS DESLIGADOS.....	124
APÊNDICE J: VALORES DE RMSVA OBTIDOS EM SEGMENTOS COM 240 METROS DE COMPRIMENTO, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, EM CADA VEÍCULO E COM DIFERENTES VELOCIDADES OPERACIONAIS.....	127
APÊNDICE K: VALORES DE RMSVA OBTIDOS EM SEGMENTOS DE 60 METROS, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, EM CADA VEÍCULO E COM DIFERENTES VELOCIDADES OPERACIONAIS.....	131
APÊNDICE L: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DA NORMALIDADE DAS RMSVA'S (TESTE DE SHAPIRO-WILK).....	145
APÊNDICE M: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DA HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS DAS RMSVA'S (TESTE DE LEVENE).....	148
APÊNDICE N: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES (TESTE T DE <i>STUDENT</i>) EM SEGMENTOS COM 240 M DE COMPRIMENTO.....	151
APÊNDICE O: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES (TESTE DE MANN-WHITNEY) EM SEGMENTOS COM 60 M DE COMPRIMENTO.....	156
APÊNDICE P: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO E ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR.....	166
APÊNDICE Q: APLICAÇÃO EM LABVIEW	168

1. INTRODUÇÃO

A malha viária é um elemento estruturante da cidade, contribuindo para o desenvolvimento econômico e trazendo importantes benefícios sociais. Portanto, é necessário um sistema adequado de manutenção e reabilitação para preservar e potencializar esses benefícios (SOARES; GONÇALVES, 2014; WORLD HIGHWAYS MAGAZINE, 2015).

O sucesso de um sistema de transporte é inerentemente dependente do conforto e segurança dos usuários, para quem a detecção de falhas e a manutenção oportunas são de extrema importância. No entanto, essa decisão é prejudicada por quem tem o poder de decisão em suas mãos, uma vez que os recursos financeiros investidos na conservação dos pavimentos são limitados, não satisfazendo plenamente as necessidades (RANYAL; SADHU; JAIN, 2022).

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de ferramentas e processos sistemáticos que auxiliam em todas as etapas do pavimento, incluindo a pesquisa (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994). O SGP pode ser considerado administrativamente em nível de rede e em nível de projeto. A malha viária é analisada no primeiro caso, enquanto no segundo caso, um determinado trecho pavimentado é analisado com mais detalhes (DNIT, 2011).

Cada cidade possui algum método de gestão de pavimentos, que varia de acordo com o tamanho da população, experiência e número de profissionais, extensão da malha viária, volume de tráfego, condições ambientais, políticas públicas envolvidas e orçamento disponível (BERTOLLO, 1997).

Os componentes básicos do SGP incluem dados do inventário, coleta da informação, base de dados, módulos de análise, relatórios e ciclos de feedback. Além disso, a avaliação da condição do pavimento é um elemento chave do SGP, pois fornece os dados necessários para decidir como as intervenções devem ser realizadas, relatar a condição atual do pavimento, ter um banco de dados e prever o desempenho futuro (THYAGARAJAN, 2021).

Vários estudos enfatizam que realizar inspeções frequentemente pode economizar custos para os órgãos responsáveis e obter menores gastos com manutenção de veículos, consumo de combustível e pneus. No entanto, atualizar as condições com mais frequência é relativamente dispendioso, dependendo da metodologia utilizada (CHUANG; PERNG; HAN, 2019; SHON; LEE, 2021).

Dois métodos principais são usados para coletar os dados: manual e automatizado (ou semiautomatizado). A coleta manual é baseada em inspeção visual. No entanto, a complexidade da malha viária, a falta de mão de obra e a imprecisão dos avaliadores tornam esse procedimento difícil e ineficaz (DONG *et al.*, 2021).

Por outro lado, a coleta automatizada de dados é precisa, rápida, segura e altamente repetível. No entanto, os dispositivos utilizados são muito caros para comprar, operar e manter. Assim, raramente é viável para as autoridades municipais de países em desenvolvimento coletarem usando esses dispositivos e frequentemente monitorarem toda a rede viária (YEGANEH *et al.*, 2019).

O nível de importância de um tipo de dado varia para o SGP de acordo com seu nível (rede ou projeto), fluxo de tráfego e tipo de via. Por exemplo, os dados para um SGP urbano em nível de rede têm um alto nível de importância para a condição da superfície do pavimento e um baixo nível para a irregularidade longitudinal do pavimento, atrito superficial e deflexões (ASTM E 1777-09, 2019).

Assim, na era da digitalização o uso de tecnologias como *Micro-Electro-Mechanical Systems* (MEMS), Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistema Global para Comunicações Móveis (GMS) com dispositivos móveis, bem como o mapeamento no Sistema de Informações Geográficas (GIS), podem fornecer suporte na gestão de infraestrutura de forma sustentável (STANIEK, 2021).

Os smartphones são os dispositivos móveis mais utilizados pelas tecnologias digitais e podem ser uma alternativa promissora na aquisição de dados. Os smartphones modernos possuem acelerômetros de três eixos, giroscópio e GPS, que permitem medir informações sobre o usuário e o ambiente ao seu redor. Acrescenta-se a isso a facilidade de empregabilidade nos veículos devido ao seu tamanho e peso. No entanto, possui uma limitação na resolução da imagem e seus dados podem ser influenciados por ruídos externos (DOUANGPHACHANH; ONEYAMA, 2014; RANYAL; SADHU; JAIN, 2022; YEGANEH *et al.*, 2019).

Na bibliografia, há pesquisas relacionadas ao uso de smartphones para medir a irregularidade longitudinal de um pavimento, ou mesmo localizar defeitos tais como painéis e remendos. No entanto, pouca atenção tem sido dada para pesquisar a correlação entre os resultados obtidos pelos smartphones em diferentes cenários, com os tipos de suporte para fixação do smartphone, tipos de veículos utilizados, velocidades operacionais e intervalos de filtragem de acelerações.

No Brasil, os recursos econômicos destinados à manutenção e reabilitação de pavimentos são muito escassos. Além disso, o país não possui uma extensa infraestrutura consolidada, ao contrário dos países utilizados como referência no SGP (ALVAREZ; ABREU; ORLANDI, 2017).

No âmbito urbano, a maioria dos municípios não utiliza nenhum método sistemático para o inventário de sua malha viária. Além disso, foram desenvolvidas normas para avaliação de pavimentos em vias rurais e rodovias interurbanas, desconsiderando questões associadas ao ambiente urbano (BOURAHLI; JACQUES, 1997; LÁZARO *et al.*, 2022).

A maioria das prefeituras tem poucos engenheiros, motivo pelo qual trabalham em diversas áreas. Como consequência disso, os procedimentos adotados são corretivos e não preventivos. Os dois procedimentos mais comuns para conservação da malha viária incluem: operações tapa buracos e recapeamentos. Essas estratégias resultam em pavimentos de alto custo para a sociedade (ZANCHETTA, 2017).

Para o levantamento do estado de um pavimento flexível, é necessário o conhecimento das condições de superfície, condições estruturais, condições de irregularidades longitudinais, avaliação das solicitações do tráfego e condições de aderência pneu/pavimento (DNIT, 2006).

Neste contexto, o presente trabalho pretende avaliar o uso de acelerômetros instalados em smartphones para coletar as acelerações em trechos de pavimentos urbanos, e posteriormente processar e filtrar esses dados para a obter os RMSVA's (Raízes das Médias Quadráticas das Acelerações Verticais).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente estudo é avaliar a efetividade do uso de smartphones como ferramenta para estimar a condição funcional de pavimentos urbanos em baixas e médias velocidades.

Em decorrência do objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a repetitividade das amostras coletados em termos de RMSVA, a través do coeficiente de variação dos dados

- coletados;
- b) Examinar a diferença estatística em termos de RMSVA do ponto de vista da fixação do suporte, tipo de veículo e velocidade operacional; e
 - c) Determinar o grau de correlação entre o IRI vs RMSVA e entre o IGG vs RMSVA.

1.2 JUSTIFICATIVA

Pesquisas recentes vêm implementando smartphones em diferentes abordagens para medir o estado de conservação de pavimentos, pois é uma ferramenta promissora devido ao seu baixo custo, fácil adaptação (tamanho e peso) e possibilita a coleta mais rápida.

No entanto, o pós-processamento dos dados obtidos por esses dispositivos é mais demorado do que os métodos tradicionais, pois é necessário um tratamento adequado dos sinais para evitar distorções na reconstrução do sinal. Além disso, ainda há dúvidas sobre a qualidade e repetibilidade dos dados quando influenciados por diversos fatores, como experiência do motorista, estado do veículo e velocidade.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, descritos detalhadamente abaixo:

Capítulo 1: Trata da introdução, onde se descreve a importância da escolha da temática, os objetivos, justificativa e estrutura deste trabalho;

Capítulo 2: Apresenta uma revisão bibliográfica, que abordam os conceitos da análise funcional de um pavimento de forma tradicional e com o auxílio dos smartphones;

Capítulo 3: Define e descreve o estudo do método para atingir os objetivos propostos pelo trabalho, estruturando o programa experimental desenvolvido;

Capítulo 4: Apresenta e discute os resultados de acordo com as etapas de

trabalho definidas na metodologia;

Capítulo 5: Aborda as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. Ao término do capítulo 5 encontram-se as referências bibliográficas, seguida dos apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos envolvidos na temática abordada nesta pesquisa. São dissertados tópicos sobre gestão de pavimentos, avaliação da condição funcional, avaliação da aderência pneu-pavimento e levantamentos a partir de smartphones para correlacionar com parâmetros do estado de conservação do pavimento.

2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de componentes que interagem entre si, abrangendo todas as atividades, e sendo afetadas por fatores externos. Envolve planejamento, projeto, construção, manutenção periódica e reabilitação (M&R), avaliação e pesquisa do pavimento (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994). O DNIT (2011) cita como fatores externos do SGP, os recursos orçamentários, diretrizes políticas e administrativas.

A finalidade do SGP é utilizar dados técnicos confiáveis do estado de conservação do pavimento e critérios de decisão para desenvolver de forma eficiente um programa de construção e manutenção do modo rodoviário (QUEIROZ, 1981).

Os componentes básicos do SGP incluem dados do inventário, coleta de informações, base de dados, módulos de análise, relatórios e ciclos de feedback. As características de cada componente variam de acordo com as exigências das agências ou concessionárias (THYAGARAJAN, 2021).

Nos níveis administrativos, a gerência de pavimentos é dividida em nível de rede e nível de projeto, e ambos estão inter-relacionados, pois o nível de projeto completa o nível de rede. A gerência ao nível de rede analisa toda a malha rodoviária, esta informação é utilizada principalmente para a tomada de decisões administrativas de planejamento, programação e orçamento. A gerência em nível de projeto avalia as informações técnicas de um determinado trecho pavimentado e, com essas informações, são buscadas as prováveis causas da degradação e, então, desenvolvidas estratégias corretivas (DNIT, 2011).

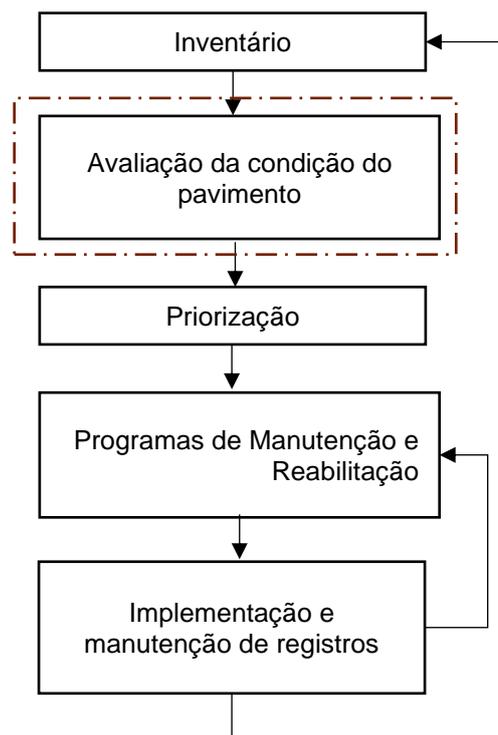
As considerações conceituais do SGP foram desenvolvidas com base em pavimentos rodoviários e rurais. No entanto, são tradicionalmente utilizados em

Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos (SGPU). Entre as principais diferenças estão a maior interferência de redes de infraestrutura pública em vias urbanas, e a diferença nas velocidades de operação dos veículos e tipos de solicitações exclusivas de pavimentos urbanos, como acelerações ou frenagens nas interseções (FERNANDES JUNIOR; PANTIGOSO, 1998; ZANCHETTA, 2017).

2.1.1 Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos

As cinco etapas do SGPU sugeridas para cidades de pequeno e médio porte são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas de um SGPU para cidades de pequeno e médio porte.



Fonte: Adaptado de (BLAIR; BATES JR; DREVINSKY, 1987).

2.1.1.1 Inventário

No inventário, os dados são coletados e organizados para implantação de um programa de sistema de gerência de pavimentos. Além disso, é

necessária uma estratégia para dividir a malha viária em seções. Uma abordagem simples é dividir as seções usando interseções ou quarteirões. As seções podem ser identificadas pelo número de casa, ou nome da rua, desde que a referência seja permanente (BLAIR; BATES JR; DREVINSKY, 1987).

O inventário deve incluir a descrição das seções, sua identificação, suas classes funcionais e o tipo de ligante utilizado nos revestimentos. Além disso, deve conter as características geométricas dos trechos, o tráfego diário, e dados históricos do pavimento, tais como ano de construção, datas e tipos de Manutenção e Reabilitação (M&R) (STUCHI, 2005).

2.1.1.2 Avaliação da condição do pavimento

A avaliação do pavimento é importante para mantê-lo eficiente, pois sua condição influencia na segurança, no nível de conforto dos usuários e as altas emissões de ruído (ZHAO; NAGAYAMA; XUE, 2019). No SGP, a condição do pavimento é um elemento chave, pois é o ponto de partida para futuras decisões de M&R (THYAGARAJAN, 2021).

Essa atividade permite definir as condições funcionais, estruturais e operacionais dos pavimentos (DNIT, 2011). Nesse estudo, foi dada ênfase à avaliação das condições funcionais, uma vez que está orientada para uma malha viária urbana ao nível de rede.

A condição funcional está relacionada ao estado de conservação da superfície e ao conforto de rolamento do usuário; essa atividade pode ser realizada tanto por meio de uma avaliação subjetiva quanto por uma avaliação objetiva (DNIT, 2011).

A avaliação subjetiva baseia-se no conceito de serventia estabelecido por Carey e Irick (1960), no qual um grupo de avaliadores treinados percorrem um trecho e avalia a suavidade e conforto do pavimento, com base em uma escala adequada. No Brasil, é utilizado o Valor de Serventia Atual (VSA) descrito na norma DNIT 009/2003-PRO (DNIT, 2003).

A avaliação objetiva é baseada em parâmetros que representam as condições da superfície do pavimento. O DNIT sugere duas formas de avaliação: uma por meio do Índice de Gravidade Global (IGG) e outra por meio do Índice de

Irregularidade Internacional (IRI). Com base na norma DNIT 006/2003-PRO (DNIT, 2003 b), o IGG identifica defeitos superficiais e frequência de ocorrência. O IRI analisa a irregularidade longitudinal dos pavimentos nas trilhas de roda, e pode ser determinado com equipamentos topográficos (DNER, 1986), medidores de perfil longitudinal com ou sem contato, ou por equipamentos do tipo resposta (DNIT, 2011).

A ASTM E 1777-09 (2019) sugere um nível de importância relativa na coleta de dados dependendo do tipo de nível administrativo do SGP, fluxo de tráfego e tipo de via. No quadro 1, mostra a importância relativa de um SGPU no nível de rede, com base em parâmetros altos, médios ou baixos (A, M ou B).

Quadro 1 – Nível de importância dos dados para SGPU em nível de rede.

Nível de SGP	Rede				Projeto			
	Tráfego rápido e arterial		Coletora e local		Tráfego rápido e arterial		Coletora e local	
Tipo de via	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo
Densidade de tráfego								
Irregularidade longitudinal	A	A	M	M	A	A	A	A
Condição da superfície	A	A	A	A	A	A	A	A
Atrito	M	M	M	B	A	B	M	B
Deflexões	M	B	M	B	A	A	A	M
Propriedade do material da camada	B	B	B	B	A	M	M	B

Fonte: Adaptado ASTM (2019).

A literatura especializada sugere apenas uma inspeção visual para levantamentos de defeitos em campo para SGPU em nível de rede (BERTOLLO, 1997). Além disso, Fuentes *et al.* (2021) apresentam algumas dificuldades na utilização do IRI em vias urbanas, o que pode resultar em superestimação da real condição de irregularidade longitudinal no campo, levando a tomadas de decisão inadequada. O IRI foi desenvolvido para trechos de pavimentos de 320 metros de comprimento e velocidade de 80 km/h, enquanto trechos com comprimentos menores (aproximadamente 150m) e velocidades inferiores a 60 km/h são encontrados em vias urbanas.

2.1.1.3 Priorização

Quando a avaliação da condição do pavimento for concluída, o próximo passo é priorizar as necessidades de M&R devido às restrições

orçamentárias. As estratégias mais comuns vão desde a hierarquização subjetiva até a otimização com base em modelos de programação matemática. A estratégia mais comum é que os pavimentos em pior estado de conservação tem prioridade máxima (BLAIR; BATES JR; DREVINSKY, 1987).

2.1.1.4 Programas de manutenção e reabilitação

A manutenção tem como finalidade preservar e manter a vida útil do pavimento, aumentando o nível de serventia para o usuário e evitando a deterioração precoce do pavimento. Essas atividades podem ser: preventivas e corretivas, onde a manutenção preventiva visa reduzir a deterioração, enquanto a manutenção corretiva realiza atividades para eliminar determinado defeito (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

As atividades de reabilitação visam prolongar a vida em serviço do pavimento, aumentando o nível de serventia e gerando condições para um novo ciclo de deterioração (FERNANDES JÚNIOR; ODA; ZERBINI, 2006).

2.1.1.5 Implementação e manutenção de registros

O processo de feedback é vital no gerenciamento de pavimentos. A primeira lista de necessidades de manutenção deve responder às restrições fiscais. No entanto, ajustes repetidos são necessários para atingir o programa que mais favorável em termos de serviço de manutenção de longo prazo com base nos recursos disponíveis.

Ajustes adicionais podem ser implementados no programa aprovado, devido a atrasos no cronograma do contrato, problemas de manutenção imprevistos, etc. Em qualquer caso, o programa deve ser atualizado anualmente para refletir as etapas concluídas e o estado de conservação do pavimento.

Uma parte importante do processo de atualização, é manter o controle adequado dos registros. Um arquivo detalhado para rastrear a condição do pavimento e as ações de manutenção ao longo dos anos deve incluir um registro de cada via (BLAIR; BATES JR; DREVINSKY, 1987).

2.2 DEFEITOS, AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ADERÊNCIA PNEU-MOVIMENTO

Com base no Quadro 1, o estado de conservação dos pavimentos para nível de rede pode ser avaliado pela condição da superfície, irregularidade longitudinal, atrito e deflexões.

No Brasil, a avaliação superficial de pavimentos asfálticos é usualmente realizada seguindo a norma DNIT 006/2003-PRO (DNIT, 2003b), pelo método IGG. No entanto, em outros países, é muito utilizado para gerência de pavimentos urbanos o índice PCI (*Pavement Condition Index*).

Confrontando os dois métodos em relação a quantidades, severidade, densidade e tipos de defeitos adotados em cada método, o método PCI apresenta uma melhor composição para análise do pavimento, isso ocorre devido ao detalhamento em seus cálculos. Enquanto, o método IGG, geralmente, reflete uma tendência mais conservadora, e isto talvez, seja devido à sua classificação trabalhar com apenas cinco conceitos (Ótimo, Bom, Regular, Ruim e Péssimo) contra os sete do PCI (Excelente, Muito Bom, Bom, Regular, Ruim, Muito Ruim e Péssimo) (APS et al., 1998; VIEIRA et al., 2016).

Por outra parte, no levantamento do IGG são considerados oito tipos de defeitos, sendo que os defeitos que geram demandas por serviços de manutenção no âmbito urbano são comumente buracos, afundamentos e trincamentos com erosão de bordas.

A irregularidade longitudinal através do IRI é um dos critérios de avaliação da qualidade do pavimento mais utilizado. Os conceitos de qualidade da via, variam de acordo com cada país, considerando suas condições particulares e critérios adotados na decisão das intervenções de reparo.

No país, estes limites são determinados conforme o Manual de Restauração do DNIT (DNIT, 2006). No entanto, os limites de aceitabilidade são os mesmos para rodovias e vias urbanas, desconsiderando as particularidades do meio urbano como velocidades mais baixas, tipos de patologias, capacidade de frenagem, densidade do tráfego, entre outras.

O terceiro parâmetro pode estar relacionado ao atrito pneu-pavimento com sua macro e microtextura. Para avaliar a textura do pavimento do ponto de vista da segurança do usuário, pode-se utilizar o ensaio de mancha de areia ou o pêndulo britânico, para a macro e microtextura, respectivamente.

Enquanto as deflexões permitem avaliar a capacidade de suporte de várias camadas da estrutura do pavimento. Os equipamentos comumente utilizados são viga Benkelman e *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Mais detalhes dos parâmetros estudados nesta pesquisa são apresentados nas seguintes subseções.

2.2.1 Diagnóstico de defeitos

Defeitos superficiais são danos ou deterioração da superfície dos pavimentos, que podem ser detectados a olho nu e classificados de acordo a uma terminologia normalizada. A finalidade do levantamento desses defeitos é avaliar o estado de conservação dos pavimentos e, se necessário, indicar a melhor alternativa técnico-econômica para a restauração desse pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os defeitos levam à diminuição da vida do projeto, que podem aparecer de forma precoce no médio ou longo prazo. Os principais fatores que levam a esta redução, de forma separada ou conjuntamente, são erros ou inadequações de: projeto, construtivos ou falta de alternativas de conservação e manutenção do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os erros de projeto acontecem comumente devido à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no horizonte de projeto e prever o excesso de carga. Este problema advém da falta de um banco de dados de tráfego local, o que resulta no desconhecimento das taxas de crescimento real (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Deve-se incluir nos erros de projeto, dificuldades no dimensionamento estrutural, como por exemplo, incompatibilidade estrutural entre as camadas, subdimensionamento, especificação no projeto de um material inexistente ou de difícil aquisição, concepção estrutural que ocasiona falhas no sistema de drenagem, entre outros (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Entre os erros e problemas construtivos sobressaem alguns exemplos, tais como: a falta de compactação adequada das camadas, técnicas de compactação indevidas, compactação de misturas asfálticas em temperaturas incorretas, execução de espessuras das camadas inferiores às especificadas no projeto, entre outros (BERNUCCI *et al.*, 2008).

As inadequações na seleção de alternativas de conservação e manutenção podem gerar novos defeitos, como por exemplo, possibilitar a reflexão de trincas precocemente, entrada d'água, entre outros. Portanto, antes da adoção da melhor solução técnico-econômica, é importante obter um adequado diagnóstico dos defeitos da superfície do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Para a classificação dos defeitos em pavimentos flexíveis usa-se a norma DNIT 005/2003-TER. Nesta norma, são considerados os seguintes defeitos mostrados no Quadro 2:

Quadro 2 – Defeitos considerados no cálculo do IGG.

Defeito	Codificação
Fissuras	FI
Trincas	T
Afundamento	A
Ondulação/corrugação	O
Escorregamento	E
Exsudação	EX
Desgaste	D
Panelas	P
Remendo	R

Fonte: Adaptado DNIT, (2003).

2.2.1.1 Fendas

As fendas são descontinuidades na superfície asfáltica, e podem ser classificadas em fissuras ou trincas. As fissuras (FI) são perceptíveis ao olho nu numa distância inferior a 1.50m. As trincas são reconhecidas facilmente e tem uma descontinuidade superior às fissuras, as quais podem ser isoladas ou interligadas (DNIT, 2003b).

2.2.1.2 Trincas isoladas

As trincas isoladas podem ser classificadas como: transversais, longitudinais e de retração. As trincas longitudinais são paralelas ao eixo da via, enquanto as trincas transversais são ortogonais. Ambos os defeitos podem apresentar-se quando houver um erro na construção da junta, contração do revestimento asfáltico ou propagação de trincas das camadas subjacentes (SHAHIN,

2005). Já as trincas de retração são resultado da retração térmica ou de material do revestimento ou da base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado (DNIT, 2003b).

Com base na extensão, as trincas podem ser curtas quando a extensão é inferior a 100cm, ou longas quando a extensão é superior às curtas. Podem ser: transversais curtas (TTC), transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) e longitudinais longas (TLL). Quanto à gravidade, as trincas isoladas podem ser classificadas em três classes: FC-1 com abertura não superior a 1mm, FC-2 com abertura superior às FC-1 e sem erosão nas bordas, e FC-3 com abertura da FC-2 e com erosão nas bordas (DNIT, 2003b).

2.2.1.3 Trincas interligadas

As trincas interligadas podem ser classificadas em trincas tipo couro de jacaré (J), quando não seguem um padrão geométrico, ou ainda, em trincas de tipo bloco (TB), quando se assemelham a blocos com lados bem definidos (DNIT, 2003). Considerando a abertura das fendas, estas trincas são separadas em duas classes, FC-3 apresentando erosão nas bordas (JE e TBE), e FC-2 (J e TB), sem erosão nas bordas (DNIT, 2003 b).

As trincas interligadas tipo couro de jacaré pode apresentar-se devido a fadiga resultante da repetição das ações do tráfego, erros no dimensionamento das camadas, inadequada escolha dos materiais, baixa capacidade de suporte do solo, entre outros. A trinca inicia nas camadas subjacentes, se propaga para a superfície como uma série de trincas paralelas, e depois de repetidas ações do tráfego, se conectam e desenvolvem um padrão semelhante à pele de jacaré. Este tipo de trinca ocorre apenas em áreas sujeitas a cargas repetidas de tráfego (CNT, 2018; SHAHIN, 2005).

2.2.1.4 Afundamento

Os afundamentos são deformações permanentes, que apresentam depressões com direção paralela ao eixo da via. Há duas formas de ocorrências previstas, afundamento plástico (AP), quando as depressões ocorrem por fluência do

revestimento asfáltico, ou, afundamento por consolidação (AC), quando as depressões são decorrentes da densificação diferencial (DNIT, 2003 b).

O afundamento plástico é caracterizado por levantamento acompanhado de depressão. Afundamentos com extensão inferior a 6m são denominados afundamentos plásticos locais (ALP), caso a extensão ultrapasse este valor, tem-se o afundamento plástico da trilha de roda (ATP). Este tipo de afundamento é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas subjacentes, erro na dosagem da mistura asfáltica e inadequada seleção do tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante (CNT, 2018; DNIT, 2003 b).

O afundamento de consolidação não é acompanhado por levantamento. Se sua extensão for de até 6m, é chamado afundamento local de consolidação (ALC), caso a extensão seja superior a este valor, denomina-se afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC). Este tipo de afundamento é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas, densificação ou ruptura por cisalhamento de uma das camadas inferiores ao revestimento, erro na compactação ou problemas de drenagem (CNT, 2018; DNIT, 2003).

2.2.1.5 Ondulação/corrugação

As ondulações e corrugações são deformações plásticas transversais ao sentido do tráfego. Nas ondulações, o comprimento de onda entre duas cristas é da ordem de metros. Caso o comprimento de onda entre as duas cristas seja de alguns centímetros, tem-se as corrugações (BERNUCCI *et al.*, 2008). São usualmente causados pela ação do tráfego combinado com a instabilidade da superfície ou base, assim como, excesso de umidade do subleito, contaminação e/ou falta de aeração da mistura (CNT, 2018).

2.2.1.6 Escorregamento

O escorregamento é o deslocamento do revestimento asfáltico em relação à camada subjacente, com a manifestação de fendas em forma de meia-lua. É causado por erros construtivos e de pintura de ligação (CNT, 2018; DNIT, 2003 b).

2.2.1.7 Exsudação

A exsudação é um filme de material betuminoso com aparecimento na superfície do pavimento criando um brilho vítreo, devido à migração do ligante asfáltico por meio dos vazios da mistura asfáltica. É causado pela excessiva quantidade de ligante, baixo conteúdo de vazios, ou ambos (SHAHIN, 2005).

2.2.1.8 Desgaste

O desgaste é o arrancamento progressivo do agregado do revestimento, causando aspereza superficial ao pavimento. É provocado por esforços tangenciais oriundos do tráfego, excesso de água no solo, falhas de adesividade ligante-agregado, baixo teor de ligante, erros executivos, etc. (CNT, 2018; DNIT, 2003).

2.2.1.9 Panela/buraco

As panelas, comumente conhecidas como buracos, são cavidades no revestimento asfáltico que podem ou não atingir as camadas inferiores, gerando a desagregação das mesmas. As principais causas são: trincas de fadiga, desintegração localizada no revestimento, inadequada compactação, excesso de umidade no subleito e erro na imprimação (CNT, 2018; DNIT, 2003).

2.2.1.10 Remendo

Os remendos, apesar de estarem associados a conservação do pavimento, constituem um local de fragilidade que pode afetar o conforto durante o rolamento. Os remendos das panelas podem ser subdivididos em remendos superficiais (RS), quando é aplicada apenas uma camada betuminosa, ou, remendos profundos (RP), quando há substituição do revestimento asfáltico numa área localizada e, eventualmente, de uma ou mais camadas subjacentes (CNT, 2018; DNIT, 2003 b).

2.2.2 Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um índice combinado de falhas que permite classificar um trecho de pavimento, com relação aos defeitos de superfície, atribuindo um conceito do estado de conservação do pavimento em razão do valor encontrado, sendo regido pela norma DNIT 006/2003-PRO (DNIT, 2003b).

Para o levantamento dos defeitos são utilizadas planilhas para anotações das ocorrências; treliça de alumínio padronizada com 1.20m de comprimento na base, com haste móvel central, capaz de medir as flechas das trilhas de rodas e; equipamento e material para demarcar as estacas e áreas de estudo (DNIT, 2003b).

A determinação do IGG é feita de forma amostral para estações com área e distanciamento entre elas estabelecidas pela especificação do DNIT. As estações são inventariadas nas rodovias de pista simples a cada 20m, alternando-se entre faixas, enquanto nas rodovias de pista dupla, a cada 20m na faixa mais solicitada.

O DNIT (2003b) considera oito tipos de defeitos: Tipo 1- Fissuras e trincas (FI, TTC, TTL, TLC e TRR); Tipo 2- Trincas de bloco ou tipo couro de jacaré sem erosão (J e TB); Tipo 3- Trincas de bloco ou tipo couro de jacaré com erosão (JE e TBE); Tipo 4- Afundamentos localizados ou nas trilhas (ALP e ATP); Tipo 5- Corrugação e painelas (O e P); Tipo 6- Exsudação (EX); Tipo 7- Desgaste (D) e; Tipo 8- Remendos (R). Neste procedimento faz-se um inventário apenas da presença ou ocorrência dos defeitos (Tipo 1 a Tipo 8) na superfície de cada área demarcada. Os afundamentos nas trilhas de rodas interna e externa (TRI e TRE) são medidos por meio de treliça.

Após a identificação deve-se calcular a frequência relativa (f_r) a partir da equação 1. É importante enfatizar, que os defeitos Tipo 1 somente são considerados quando não houver defeitos do Tipo 2 ou Tipo 3. Para as flechas medidas nas trilhas de rodas, devem ser calculados a média aritmética e o desvio padrão dos afundamentos nas trilhas interna e externa (BERNUCCI *et al.*, 2008).

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n}$$

01

Onde, f_r e f_a são a frequência relativa e absoluta, respectivamente;

e, n indica o número de estações inventariadas.

Para os oito tipos de defeito são estabelecidos fatores de ponderação (f_p), enquanto para as flechas, o valor de ponderação depende da média aritmética dessas flechas. O Índice de Gravidade Individual (IGI) é o resultado da frequência relativa multiplicada pelo fator de ponderação, conforme mostra a Equação 02.

$$IGI = f_r \times f_p \quad 02$$

O IGG é a somatória dos IGI's (Equação 03). A Tabela 1 mostra a escala para determinar o conceito do IGG.

$$IGG = \sum IGI \quad 03$$

Tabela 1 – Conceitos do estado de conservação do pavimento em função do IGG.

Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

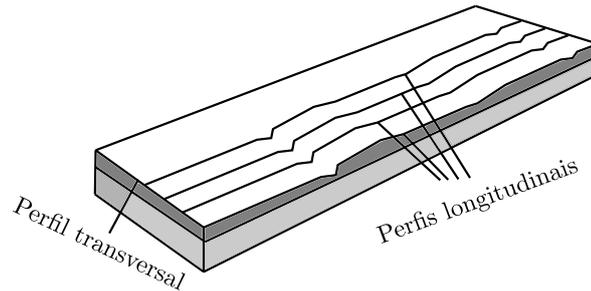
Fonte: DNIT (2003b).

2.2.3 Irregularidade longitudinal

A percepção do usuário quanto a qualidade do pavimento está associada a defeitos relacionados com a aparência, tais como: trincas, remendos, painéis e afundamentos de trilha de roda. Porém, a irregularidade longitudinal é o fator mais importante quando se trata de qualidade de rolamento, pois dela resulta uma aceleração vertical entre a superfície do pavimento e o veículo em movimento (ALEADELAT *et al.*, 2018).

Em âmbito nacional, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2011) define a irregularidade longitudinal de um pavimento como: “[...] o conjunto dos desvios da superfície viária em relação a um plano de referência”. A Figura 2 ilustra uma representação da mesma.

Figura 2 – Irregularidade longitudinal de um pavimento rodoviário.



Fonte: (SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

A irregularidade longitudinal surge devido a problemas construtivos ou por defeitos causados ao longo da vida útil do pavimento, em função do aumento nas repetições de eixos, intempéries e falta de atividades de manutenção, levando a uma deterioração estrutural e/ou funcional. Isto afeta a dinâmica do veículo, a qualidade durante o rolamento e a drenagem da via (DNIT, 2011; PERAKA; BILIGIRI, 2020).

Em geral, a irregularidade longitudinal é o defeito que mais contribui na degradação da condição funcional de um pavimento. E para controlar a evolução dessa patologia, existem equipamentos específicos para medição em campo. Esses equipamentos classificam-se em três grupos (BERNUCCI *et al.*, 2008; KHEIRATI; GOLROO, 2020; SAYERS; GILLESPIE; PATERSON, 1986):

- Classe I - Medidores de alta precisão. Constituem-se como os equipamentos com maior acurácia, que medem diretamente o perfil dos pavimentos. Alguns exemplos que podem ser citados para essa classe são: Nível e Mira, Dipstick, z-250, perfilômetros do TRL, perfilômetros *Walking Profilers* da AARB;
- Classe II - Medição sem contato com a superfície. Compõe-se dos equipamentos com menor acurácia que os equipamentos da classe I. Nesta classe, enquadram-se os perfilômetros de alta velocidade, que contêm sensor de altura (laser), acelerômetro e instrumento de medição de distância. O laser mede a distância no plano vertical até a superfície do pavimento e o acelerômetro (após dupla integração), cancela o impacto dos saltos do veículo. Os equipamentos da classe I e II fazem uso de programas computacionais baseados em algoritmos matemáticos; e
- Classe III - Medidores de perfis simples ou equipamentos do tipo resposta. Esses medidores quantificam a irregularidade longitudinal baseando-se na determinação do movimento relativo que o sistema de suspensão do veículo

experimenta ao trafegar sobre o pavimento. Nesta classe, utilizam-se equações obtidas a partir de correlações estatísticas para estimar o valor do Quociente de Irregularidade (QI) e do Índice de Irregularidade Internacional (IRI). Os equipamentos pertencentes a esta classe são: *Roadmaster*, *RODMAS*, Integrador de Irregularidade Longitudinal IPR/USP, *Maysmeter*, *MERLIN*, Riley, *TRL Bump Integrator*.

O DNIT (2011; 2005) divide em quatro sistemas, os equipamentos utilizados para medição da irregularidade longitudinal, conforme detalhado no Quadro 3:

Quadro 3 – Sistemas medidores da irregularidade longitudinal.

Sistemas	Equipamentos
Medidas diretas de perfil	-Método de nível e mira
Medidas indiretas do perfil	-Perfilômetro de superfície GMR -Perfilômetro AASHO -Perfilômetro CHLOE -MERLIN do TRRL
Tipo resposta	-Rugosímetro BPR -Bump Integrator -Maysmeter -Integrador IPR/USP
Medida com sonda sem contato	-Perfilômetro Laser -Perfilômetro Acústico da Universidade FELT

Fonte: (DNIT, 2011; 2005).

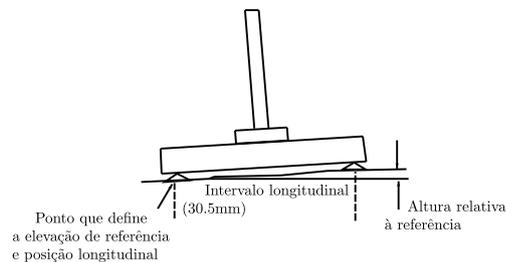
2.2.3.1 Equipamentos para medição da irregularidade longitudinal

Neste item, são descritos de acordo à sua classe, alguns equipamentos para medição da irregularidade longitudinal:

EQUIPAMENTO CLASSE I:

O Dipstick é um equipamento portátil patenteado pela *Face Company* nos Estados Unidos. Foi desenvolvido com a finalidade de medir a planicidade de pisos de concreto de maneira mais efetiva, visando substituir a utilização do nível e mira. O equipamento possui um inclinômetro instalado, que fornece leituras da diferença de altura entre dois apoios, com precisão de uma milésima de polegada, sendo os apoios normalmente distanciados 30cm entre si (Figura 3) (BARELLA, 2008; SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

Figura 3 – Esquema do equipamento Dipstick.



Fonte: (SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

O aparelho é operado por uma pessoa, a qual para traçar o perfil, caminha com o equipamento ao longo das trilhas de roda. Para realizar a medição, o Dipstick é girado 180° em torno do segundo ponto de apoio seguindo uma trajetória paralela ao eixo da via. É importante esperar dois segundos entre cada giro para que o sensor registre automaticamente a mudança de elevação. Quando o dado é registrado, o equipamento emite um bipe, sinalizando que o próximo passo pode ser efetuado. A distância longitudinal é determinada multiplicando o número de medições feitas com o distanciamento conhecido (BERNUCCI *et al.*, 2008; SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

EQUIPAMENTO CLASSE 2:

O Analisador de Perfil Longitudinal (APL) foi desenvolvido na França, pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Laboratório Central de Pontes e Estradas). O equipamento caracteriza os defeitos de nivelamento longitudinal a partir do comprimento e da amplitude das ondas na superfície do pavimento. O levantamento é realizado por dois APL's a uma velocidade de 72km/h. Cada reboque é constituído por um braço muito rígido, com uma roda em contato com a superfície, um chassi lastreado que repousa sobre o braço por meio de molas e amortecedores (Figura 4). São registrados comprimentos de onda entre 1 e 40m (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 4 – Equipamento APL francês.



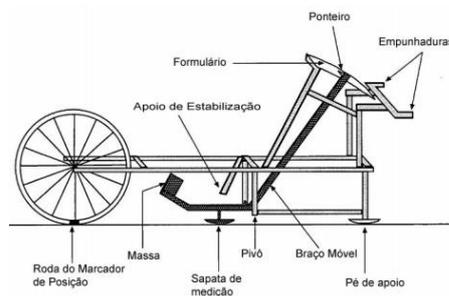
Fonte: (BERNUCCI et al., 2008).

EQUIPAMENTO CLASSE 3:

O Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation (MERLIN), foi desenvolvido pelo Transportation Research Laboratory (TRL), na Inglaterra, como sugestão para utilização em países em desenvolvimento. O sistema permite a medição da distorção vertical sob uma ponta de prova e o ponto central da linha imaginária que une os dois pontos, onde a superfície está em contato com os dois pés (HEYN, 1987).

O equipamento (Figura 5) é constituído por uma estrutura metálica de 1,80m de comprimento, tendo duas pernas, uma roda na parte dianteira e uma ponta de prova no pé traseiro. Anexada à ponta de prova, tem-se uma haste capaz de registrar em uma folha de papel, um gráfico condizente com os movimentos da ponta de prova na proporção de 1:10 (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 5 – Equipamento MERLIN.



Fonte: (BARELLA, 2008).

2.2.2 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

Conforme apresentado nos itens anteriores, existem vários equipamentos para medição da irregularidade longitudinal, porém, às vezes os

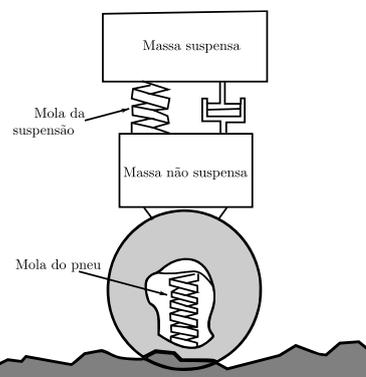
resultados obtidos não são comparáveis devido às diferenças nos procedimentos de calibração, medição e estatísticas utilizadas para cálculo de um índice qualquer.

Tendo em vista essas limitações, o Banco Mundial iniciou experimentos para desenvolver um índice de irregularidade longitudinal que permitisse comparar os resultados em diferentes partes do mundo. No processamento dos dados, confirmou-se que todos os instrumentos de medição da irregularidade eram capazes de produzir medidas na mesma escala, se essa escala fosse adequadamente selecionada. Vários métodos foram analisados e foi definida a referência de calibração universal em “in/mi” (polegadas/milha). Assim, surgiu em 1982, o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index*, IRI), sendo em 1986, adotado como índice padrão pelo Banco Mundial, sendo, atualmente a medida de referência mais utilizada (SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

O IRI é uma estatística de perfil para uma trilha de roda, definida por uma simulação matemática Sistema Quarto de Carro. Embora este sistema não reflita adequadamente todas as informações sobre o veículo, ele contém as principais características do sistema de suspensão sobre vibrações verticais (LIU et al., 2021).

O Sistema Quarto de Carro consiste em duas partes: uma massa suspensa e uma massa fixa. A massa suspensa representa o chassi do veículo, enquanto a massa fixa é composta pela roda, pneu e meio eixo/suspensão. Ambas as partes são conectadas por um sistema de suspensão composto por um amortecedor e uma mola. A Figura 6 mostra um diagrama do Sistema Quarto de Carro.

Figura 6 – Sistema Quarto de Carro.



Fonte: Adaptado de (SHAIN, 2005).

Considerando o diagrama do Sistema Quarto de Carro, a equação dinâmica para os elementos nele apresentado, pode ser expressa conforme mostrado

nas Equações (04) a (07) (LIU et al., 2021; SHAHIN, 2005).

$$m_s \ddot{z}_s + c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) = 0$$

$$m_u \ddot{z}_u + c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s) + k_s(z_u - z_s) + k_t(z_u - Y) = 0 \quad 05$$

$$\dot{z}_s = 1/m_s [c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s) + k_s(z_u - z_s)] \quad 06$$

$$\dot{z}_u = 1/m_u [c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) + k_t(Y - z_u)] \quad 07$$

Onde, m_s e m_u denotam a massa suspensa e não suspensa, respectivamente; k_s e k_t indicam a constante elástica da mola e do pneu, respectivamente; C_s é a constante do amortecedor; Y é a irregularidade longitudinal da superfície; e z_s e z_u são os deslocamentos das massas suspensas e não suspensas, respectivamente.

Embora as vibrações no carro sejam induzidas por mudanças na irregularidade longitudinal da superfície do pavimento, elas também são influenciadas pela massa da carroceria, pela elasticidade dos pneus e pelas características da suspensão durante o processo de transmissão. De acordo com Sayers *et al.* (1986), o IRI é o deslocamento vertical acumulado da excitação dinâmica no Sistema Quarto de Carro dentro da distância percorrida (L), a uma velocidade constante de 80 km/h. Conforme a Equação (08).

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |z_s - z_u| dx \quad 08$$

Conforme mostrado nas equações acima, o IRI é obtido pela combinação dos impactos da irregularidade longitudinal do pavimento e das características dinâmicas do veículo. No entanto, devido a tais características, o IRI não pode ser calculado diretamente pela medição da elevação absoluta da superfície da estrada, nem pode eliminar desvios causados pelas vibrações naturais do veículo (LIU et al., 2021).

É importante ressaltar que o Sistema Quarto de Carro utiliza um conjunto de parâmetros denominado *Golden Car*, apresentados a seguir:

$$\frac{k_s}{m_s} = 63.3 \quad \frac{k_t}{m_s} = 653 \quad \frac{C_s}{m_s} = 6 \quad \frac{m_u}{m_s} = 0.15$$

Onde, m_s e m_u denotam a massa suspensa e não suspensa, respectivamente; k_s e k_t indicam a constante elástica da mola e do pneu, respectivamente; e C_s é a constante do amortecedor.

Esses parâmetros não têm associação com aqueles encontrados nos veículos médios de passageiros usados nos Estados Unidos na época do desenvolvimento do IRI. Os parâmetros do *Golden Car* são valores que produziram uma maior correlação entre os índices calculados por meio de simulações computacionais, e as irregularidades longitudinais levantadas com dispositivos de medição do tipo resposta (SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

As faixas de classificação de irregularidade com base no IRI são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condição superficial do pavimento.

Conceito		HDM-4 (m/km)	DNIT (m/km)
HDM-4	DNIT		
Boa (<i>Good</i>)	Bom	$IRI \leq 2$	$IRI \leq 3$
Adequada (<i>Fair</i>)	Regular	$2 < IRI \leq 4$	$3 < IRI \leq 4$
Aceitável (<i>Poor</i>)	Mau	$4 < IRI \leq 6$	$4 < IRI \leq 5.5$
Má (<i>Bad</i>)	Péssimo	$IRI > 6$	$IRI > 5.5$

Fonte: (DNIT, 2011).

Embora o IRI tenha sido pesquisado para uma ampla gama de equipamentos, obtendo a precisão esperada para diferentes tipos de equipamentos, esse índice é frequentemente criticado por não quantificar qualidades específicas do pavimento ou por não se adaptar às preferências locais.

No âmbito urbano é necessário realizar uma padronização do modelo matemático, já que as velocidades são inferiores a 60km/h invés de 80km/h, além, os comprimentos de base são inferiores.

Existem documentos publicados pelos organismos rodoviários internacionais que orientam e definem a metodologia e os procedimentos de avaliação da superfície de um pavimento, tais como:

1. Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte (AASHTO)

- AASHTO M 328-14: *Standard Specification for Inertial Profiler*

(AASHTO, 2014);

- AASHTO R 43-13: *Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements* (AASHTO, 2013);
 - AASHTO R 40-10: *Standard Practice for Measuring Pavement Profile Using a Rod and Level* (AASHTO, 2010);
 - AASHTO R 54-14: *Standard Practice for Accepting Pavement Ride Quality when Measured Using Inertial Profiling Systems* (AASHTO, 2014); e
 - AASHTO R 56-14: *Standard Practice for Certification of Inertial Profiling Systems* (AASHTO, 2018).
2. Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM)
- ASTM E 1926-08: *Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements* (ASTM, 2021);
 - ASTM E 2560-17: *Standard Specification for Data Format for Pavement Profile* (ASTM, 2017a);
 - ASTM E867-06: *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems* (ASTM, 2020); e
 - ASTM E950/950M-06: *Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference* (ASTM, 2018).

Assim como os documentos publicados pelos organismos rodoviários brasileiros:

- DNER-ES 173/86: *Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta* (DNER, 1986);
- DNER-PRO 164/94: *Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento (Sistemas Integrados IPR/USP e Maysmeter)* (DNER, 1994a);
- DNER-PRO 182/94: *Medição e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento (Sistemas Integrados IPR/USP e Maysmeter)* (DNER, 1994c);
- DNER-PRO 229/94: *Manutenção de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento - Integrador IPR/USP e Maysmeter* (DNER, 1994b).

2.3.4 Aderência pneu-pavimento

A capacidade de aderência e atrito entre a superfície do pavimento e os pneus dos veículos é a principal propriedade em relação à segurança e, pode ser considerada um dos aspectos funcionais de um pavimento. Entre os principais fatores que colaboram para a aderência estão: a textura superficial da pista, características dos pneus, habilidade do motorista, a geometria da via, as condições mecânicas do veículo, etc. (BERNUCCI *et al.*, 2008; DNIT, 2006).

A textura superficial do revestimento do pavimento depende da distância entre dois picos ou do comprimento de onda. A textura superficial pode ser classificada segundo a faixa de comprimento de onda (λ) (Tabela 3):

Tabela 3 – Classificação da textura superficial.

Textura superficial	Comprimento de onda (λ)
Microtextura	$\lambda < 0,5mm$
Macrotextura	$0.5mm \leq \lambda < 50mm$
Megatextura	$50mm \leq \lambda < 500mm$
Irregularidade longitudinal	$0,5m \leq \lambda < 50m$

Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Para a avaliação da textura no que se refere à aderência pneu-pavimento, é destacada a análise da microtextura e macrotextura. A microtextura baseia-se nas asperezas do material, sendo um parâmetro importante para o rompimento da película da água e contato pneu-pavimento, para velocidades baixas de até 40km/h. Para o levantamento da microtextura pode ser utilizado o Pêndulo Britânico, Grip Tester, entre outros (APS, 2006). Nas publicações do DNIT (2006b) consta o método ASTM E 303-93-Standard *Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*- Método do Pêndulo Britânico.

A macrotextura baseia-se na rugosidade formada pelos agregados e mástique, sendo um parâmetro importante para velocidades de deslocamento superiores a 50km/h (BERNUCCI *et al.*, 2008). Para o levantamento da macrotextura podem ser utilizados vários procedimentos e equipamentos, tais como, mancha de areia, drenômetro e Perfilômetro a Laser (APS, 2006). O procedimento mais comum é o ensaio da mancha de areia, cujo procedimento de ensaio consta nas normas AFNBR NF-P.98-216-7- *Association Française de Normalisation* e ASTM E 965-15- *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a*

Volumetric Technique.

No ensaio da mancha de areia são utilizados materiais de baixo custo, mostrados na Figura 7(a). Este ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume de areia padronizada (V), 25.000 mm^3 , espalhando-a com movimentos circulares de maneira homogênea com auxílio de um pistão. Ao terminar de espalhar, mede-se o diâmetro da mancha (D) com auxílio de uma régua graduada (Figura 7(b)). A seguir, com auxílio da Equação 09, calcula-se a altura da areia (HS) (DNIT, 2006).

Figura 7 – Ensaio de mancha de areia.



(a) Materiais empregados



(b) Medição do diâmetro

Fonte: Acervo do autor.

$$HS = \frac{4V}{D^2}$$

09

Onde, H_s é a altura da areia (mm); V indica o volume de areia (mm); e, D denota o diâmetro médio da mancha (mm).

A bibliografia apresenta para diferentes valores de altura de areia, conceitos de resistência à derrapagem, ilustrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de macrotextura.

Classe	Altura média da mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	$HS \leq 0.20$
Fina ou fechada	$0.20 < HS \leq 0.40$
Média	$0.40 < HS \leq 0.80$
Grosseira ou aberta	$0.80 < HS \leq 1.20$
Muito grosseira ou muito aberta	$HS > 1.20$

Fonte: (DNIT, 2006).

2.4 PESQUISAS DE PARÂMETROS DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTO A PARTIR DE SMARTPHONES

Atualmente, novas ferramentas (de menor custo) estão sendo pesquisadas para fornecer uma estimativa da irregularidade longitudinal de pavimentos rodoviários. Tais ferramentas podem ser categorizadas em três grupos principais, cuja finalidade é estimar a qualidade do rolamento.

O primeiro grupo utiliza sensores de smartphones, tipo acelerômetro, giroscópio e sensor do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Essa abordagem é afetada pelo tipo de veículo, tipo de smartphone, velocidade e localização do smartphone no interior do veículo. O segundo grupo utiliza sensores instalados em automóveis novos para estimar a irregularidade longitudinal do pavimento. Finalmente, no terceiro grupo, tem-se sensores baratos para serem montados em veículos de sondagem ou carregados por eles (KHEIRATI; GOLROO, 2020).

A tecnologia embutida nos smartphones permite o desenvolvimento de aplicativos que podem adquirir dados do tipo aceleração. Além disso, permite acessar os dados do sensor em tempo real, armazená-los na memória, manipulá-los com a capacidade de processamento do próprio dispositivo e transmitir os dados para servidores remotos, por meio dos recursos de conectividade do dispositivo (ALESSANDRONI *et al.*, 2014).

A aceleração pode ser medida no smartphone por meio de um sensor de movimento (acelerômetro) pré-instalado. A dificuldade encontrada para estimar a irregularidade longitudinal do pavimento encontra-se na diferença entre as mudanças de frequências e os picos de aceleração (SAUERWEIN; SMITH, 2011). Ademais, tem-se os ruídos resultantes da manobra do veículo, ronco do motor, frenagens, trocas de marcha, que podem interferir no sinal de saída. Para reduzir tais inconvenientes e melhorar a qualidade de medição, é necessário filtrar o sinal registrado que compõem o perfil (CHUANG; PERNG; HAN, 2019; SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

As acelerações são avaliadas por um sistema de coordenadas (X, Y, Z), definido em relação à tela do smartphone. Os eixos permanecem fixos quando a orientação da tela do aparelho é alterada: o eixo X aponta para a direita e é horizontal; o eixo Y aponta para cima e é vertical; e o eixo Z está direcionado para o exterior da face frontal da tela. Existem vários aplicativos que medem as acelerações dos Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos (MEMS), tais como *AndroSensor* (Figura 8),

Vibrometer, Accelerometer Meter, UTFPR-PB-USP (BISCONSINI, 2016).

Figura 8 – Aplicativo AndroSensor.



Fonte: ANDROID APPLICTION, 2015.

Em particular, os sinais de aceleração coletadas podem ser utilizadas no cálculo de medidas estatísticas da Raíz da Média Quadrática da Aceleração Vertical (RMSVA), a partir da Equação 10.

$$RMSVA = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{zi}^2} \quad 10$$

Onde, N indica o número total de dados; e, a_{zi} a aceleração vertical (m/s^2).

Além, os dados também podem ser convertidos em deslocamentos para a determinação do IRI, através do processamento dos sinais. Slifka (2004), propõe a aplicação de filtros passa-alta antes e após cada integral, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Processamento dos sinais de aceleração para obtenção dos deslocamentos.



Fonte:(SLIFKA, 2004).

2.3.1 Limitações

Entre os problemas na reconstrução do sinal, temos que no caso de escolher um período de amostragem errado, perdemos muitas informações e não conseguimos reconstruir o sinal (real). Além disso, quando escolhemos uma frequência de amostragem tal que a replicação dos espectros resulte na sobreposição de espectros consecutivos, pode distorcer o sinal, pois, nesta sobreposição dos espectros, as frequências se somarão, tendo uma falsa representação de espectro (TAN, 2007).

2.3.2 Literatura recente

A partir de pesquisa bibliográfica, foram encontrados vários estudos conduzidos para examinar o uso de sensores acelerômetros autônomos ou embutidos em smartphones, para avaliar as condições de irregularidade longitudinal do pavimento. Esses estudos, baseados em sensores móveis, focaram principalmente na detecção de defeitos superficiais, classificação qualitativa de seções de pavimento com base na severidade da irregularidade longitudinal, e estimação do Índice de Irregularidade Longitudinal tipo IRI (MIRTABAR; GOLROO; MAHMOUDZADEH, 2020).

Mednis, Strazdinis e Zviedris (2011) analisaram o uso de smartphones com sistema operacional Android para detectar a localização de panelas. A abordagem estudada incluiu algoritmos simples para detectar eventos nos dados de vibração e aceleração, apresentando uma taxa de resultados verdadeiros positivos até 90%.

Douangphachanh e Oneyama (2014) exploraram o uso de dados, coletados por sensores de smartphones alojados em configurações realistas dentro

de um veículo em movimento, para avaliar sua relação com a irregularidade longitudinal real de um pavimento rodoviário. Um experimento foi conduzido para coletar dados de sensores de aceleração de smartphone e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Foi observado que os dados do smartphone fixado na caixa perto da caixa de câmbio têm as seguintes correlações lineares com a irregularidade longitudinal do pavimento na faixa de frequência de 0 a 50 Hz, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de Douangphachanh e Oneyama.

Tipo de veículo	Pick-up Toyota Vigo 4WD	Toyota Camry sedan	Pick-up Toyota Vigo 2WD	Toyota Yaris Sedan
R ²	0.718	0.520	0.755	0.617

Alessandroni *et al.* (2014) propuseram um método colaborativo de monitoramento das condições da superfície do pavimento, o qual foi denominado *SmartRoadsense*. A irregularidade longitudinal do pavimento foi denotada por “RI”, e calculada a partir de três componentes axiais (x, y, z). O “RI” indica a condição do pavimento, mas é difícil estabelecer uma conexão direta com o IRI.

Aleadelat *et al.* (2018) realizaram uma análise da irregularidade longitudinal do pavimento com base nos acelerômetros 3D de smartphones. Essas acelerações foram comparadas com as acelerações obtidas com um perfilômetro laser. Se constatou correlação forte ($0.74 \leq R^2 \leq 0.85$) com as acelerações registradas pelo Samsung Galaxy SIII e uma correlação baixa com as acelerações medidas com o Sony Experia ($0.20 \leq R^2 \leq 0.49$).

Basavaraju *et al.* (2020) realizaram uma análise do pavimento baseado no uso de smartphones para classificar as condições da superfície de uma estrada usando um acelerômetro, giroscópio e dados de GPS. Técnicas de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning- ML*) supervisionadas, foram aplicadas usando recursos de todos os três eixos dos sensores do smartphone. Os resultados apresentaram melhor desempenho que os modelos que utilizam apenas um eixo.

Lekshmipathy *et al.* (2020) realizaram uma análise comparativa entre o método baseado em vibração usando um acelerômetro e giroscópio de smartphone e o método baseado em visão usando processamento de vídeo. Nesse trabalho obtiveram melhor desempenho os métodos baseados em visão com precisão para identificar defeitos no pavimento 84%, enquanto, os métodos baseados em vibração

obtiveram uma precisão de 80%. No entanto, esses autores sugerem a utilização do método de vibração para gerenciamento em nível de rede, e o método baseado em visão para gerenciamento em nível de projeto.

No Brasil foram realizadas pesquisas com o uso de smartphones para determinar a condição funcional do pavimento.

Biconsini (2016) realizou testes de vibração e levantamentos de campo com smartphones, obtendo valores de RMSVA com correlação positiva com o IRI e repetitividade aceitável para levantamentos em nível de rede. O pesquisador sugere um processo de calibração adequado já que os acelerômetros apresentam grande sensibilidade à velocidade operacional.

Almeida (2018) desenvolveu o aplicativo SmartIRI com base nos sensores presentes no smartphone. Os resultados obtidos com base no IRI apresentaram correlação satisfatória com medições de referência realizadas com perfilômetro laser, análise subjetiva VSA e método de Nível e Mira.

Souza *et al.* (2018) desenvolveram o aplicativo Asfault, baseando-se na utilização de sensores presentes no smartphone e Aprendizado de Máquina (Machine Learning, ML). Os resultados apresentaram um desempenho de classificação superior a 90%.

2.3.2 Aplicativos comerciais para determinação da condição do pavimento

Entre os aplicativos comerciais disponíveis para a medição da irregularidade longitudinal encontram-se:

- Roadroid

O Roadroid é um aplicativo para Android, desenvolvido na Suécia por Forslof e Jones (2015). Os dados são coletados com sensores, câmeras e GPS integrados no smartphone, sendo os resultados filtrados para a obtenção do IRI.

- RoadLab

O RoadLab é um aplicativo desenvolvido na Bielorrússia, por Wang e Guo (2016). Ele foi projetado para verificar a qualidade de rolamento por meio dos acelerômetros embutidos no smartphone. Os valores de irregularidades são determinados quando o equipamento se encontra numa superfície estável, e o veículo se movimenta numa velocidade superior a 30km/h. Ele também permite que os

usuários das estradas enviem manualmente relatos de ocorrências de acidentes ou riscos à segurança, juntamente com informações precisas do GPS.

- SmartIRI

O SmartIRI é um aplicativo para Android, desenvolvido por Almeida (2018), na Universidade Federal do Ceará (UFC). A partir dos sensores presentes num smartphone, são coletados dados de aceleração vertical, velocidade e localização, os quais são então correlacionados com a Raiz da Média Quadrática da Aceleração Vertical, para posterior determinação do IRI.

- Asfalt

O Asfalt é um aplicativo para Android, desenvolvido por Souza, Giusti e Batista (2018). Neste caso, o smartphone utiliza sensores de acelerômetro para medir a vibração do veículo durante o deslocamento e usa esses dados para avaliar a irregularidade longitudinal do pavimento. O sistema também utiliza GPS para localizar as estradas avaliadas e indicá-las com precisão em um mapa. O usuário pode transferir novas avaliações para um servidor e obter informações sobre seu ambiente ao dirigir próximo a locais previamente avaliados.

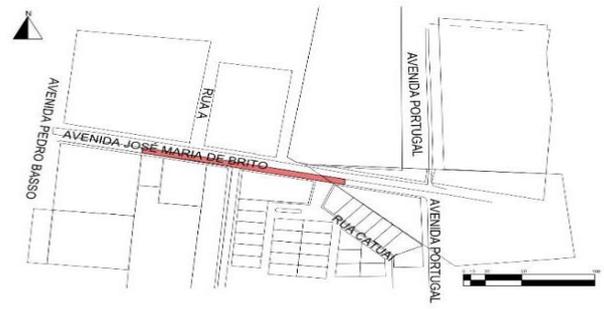
- RoadSR

O RoadSR é um aplicativo para iOS, desenvolvido por Zang *et al.* (2018). O smartphone utiliza dados de GPS e vibrações para avaliar a irregularidade longitudinal de vias não motorizadas.

Recentemente, Chaves *et al.* (2020) analisaram o SmartIRI e o RoadLab, constatando que a utilização dos mesmos pode ser uma alternativa viável para lugares em que há limitação de recursos econômicos, tecnológicos ou mão de obra qualificada.

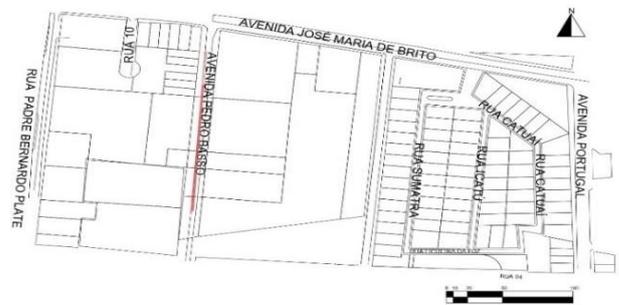
Sandamal e Pasindu (2020) compararam o Roadroid com um equipamento de medição de irregularidade longitudinal de classe III, sendo constatado boa correlação entre os resultados, porém, observou-se que o aplicativo subestimou ligeiramente o valor do IRI real dentro do limite de tolerância aceitável.

Figura 11 – Croqui do trecho na Av. José Maria de Brito.



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 12 – Croqui do trecho na Av. Pedro Basso



Fonte: Google Earth (2022).

3.1 AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

A avaliação funcional do pavimento é constituída pelo levantamento de defeitos da superfície, levantamento da irregularidade longitudinal do pavimento e medições de microtextura e macrotextura.

3.1.1 Levantamento de defeitos de superfície e cálculo do IGG

Este procedimento tem como objetivo refletir o grau de deterioração do pavimento. Para isto, foram contabilizadas e classificadas as ocorrências aparentes, bem como a medição das deformações permanentes nas trilhas de roda interna e externa, a fim de calcular o IGG, conforme a norma DNIT-PRO 006/2003 (DNIT, 2003b).

Para vias de tráfego com pista dupla, o procedimento indica a realização de levantamentos das condições superficiais, em cada sentido, na faixa de tráfego mais solicitada. Em campo são estabelecidas estações consecutivas, a cada 20m, identificadas pelo número da estaca ou distância ao marco quilométrico. Cada estação tem seis metros de comprimento, sendo três metros à vante e três metros à ré da estaca ou marco quilométrico. A largura de cada estação corresponde a largura da faixa de tráfego. Nesse caso, a cada duas estacas tem-se um segmento do pavimento que não é submetido à avaliação. Para eliminar tal situação, neste estudo foram consideradas estações contínuas, tendo cada estação seis metros de comprimento e largura igual à largura da faixa de tráfego (Tabela 6). No total, foram definidas 40 estações ao longo dos 240 m de comprimento.

Utilizando as frequências relativas e os fatores de ponderação, foi calculado para cada classe de patologia, o Índice de Gravidade Individual (IGI). Em relação às trilhas de roda, esse cálculo foi feito com base nas médias aritméticas e variâncias dos afundamentos de trilha registrados. Para cada trecho de estudo, foi calculado o IGG a partir da somatória dos IGI's. Baseado nos valores dos IGG's, foram atribuídos conceitos que refletem o grau de deterioração do pavimento em cada trecho (Tabela 1).

3.1.2 Obtenção da irregularidade longitudinal

As medições de irregularidade longitudinal têm sido utilizadas para avaliação da qualidade de pavimentos recém construídos e em serviço. Neste trabalho, as irregularidades longitudinais foram coletadas com o auxílio de um perfilômetro manual tipo Dipstick. Em cada trecho de estudo foram realizados dois levantamentos, sobre linha definida na trilha de roda mais solicitada. Essa linha foi demarcada com cal a partir da borda da pista de rolamento, conforme ilustra a Figura 13. Foram considerados os valores indicados na norma DNER-ES 173/86 (DNER, 1986) para obtenção da distância de afastamento do bordo (0.60, 0.90 e 0.60 m, para a Av. Araucária, Av. José Maria de Brito e Av. Pedro Basso, respectivamente).

O seguinte passo foi a operação do Dipstick com base nas recomendações do fabricante (CIBERMÉTRICA, 2021):

1. Montar o aparelho;
2. Nivelar e verificar a calibração da ferramenta;
3. Ingressar as condições iniciais como comprimento do segmento a ser medido;
4. Posicionar o equipamento com o pé traseiro sobre a linha tracejada, tendo em conta que o pé dianteiro deve estar dentro da linha;
5. Iniciar a medição por meio da gravação;
6. Ao escuta um BIP o equipamento pode ser virado pode ser virado 180°, apoiando-o sobre o pé dianteiro e em sequência retirando o pé traseiro do chão;
7. Ao terminar o último ponto, o Dipstick emitirá um som diferente;
8. Os resultados obtidos serão gravados no formato .XLS, em pasta pré-definida no dispositivo.

Figura 13 – Levantamento das irregularidades longitudinais.



(a) Marcação da trilha de roda

(b) Verificação da calibração

(c) Posicionamento

(d) Valor de IRI e QI calculados

Fonte: Acervo do autor.

Finalizado o levantamento das irregularidades longitudinais, o equipamento apresentava o IRI calculado para o segmento de 240 m de comprimento. A partir dos perfis levantados em campo, por meio do software ProVAL (*Profile Viewing and Analysis*), também foram calculados valores de IRI em segmentos consecutivos com 60 m de comprimento cada. Para isto, foram ingressados no programa o intervalo

de amostragem de 0.25 m, e os valores das cotas acumuladas a cada 60 m.

3.1.3 Análise da aderência pneu-pavimento

Este procedimento tem por objetivo determinar a macrotextura do pavimento. Para isto, foi realizado o ensaio de Mancha de Areia com base na norma ASTM E 965-96 (ASTM, 1996).

Este ensaio consistiu no espalhamento de um volume conhecido de uma areia padrão até o preenchimento completo dos vazios da superfície avaliada. Com a medida do volume utilizado e do diâmetro da mancha, foi calculada a altura média da Mancha de Areia.

Para cada trecho (240 m de comprimento), foram escolhidos cinco pontos ao longo de sua extensão e em cada ponto foram feitas cinco medições do diâmetro da mancha, tendo-se então a respectiva altura média dessa mancha nesse ponto.

3.2 LEVANTAMENTO DAS ACELERAÇÕES A PARTIR DE UM SMARTPHONE

Neste tópico, são apresentadas as condições definidas para a coleta de dados com os smartphones.

3.2.1 Parâmetros

3.2.1.1 Modelos de smartphones e aplicativo de coleta de dados

Para a escolha dos smartphones foram considerados os seguintes parâmetros: restrição do sistema operacional do aplicativo, sensores integrados (acelerômetro e GPS) e display (PERAKA; BILIGIRI, 2020). Por esse motivo, foram escolhidos os smartphones Xiaomi Redmi Note 10 5G e Xiaomi Redmi Note 9 Pro, os quais contam com acelerômetro, giroscópio, bússola digital e possuem processadores com frequência de até 2.2 e 2.0 GHz, respectivamente (Xiaomi 2022a, Xiaomi 2022b).

Para medir as acelerações verticais, foi instalado o aplicativo *AndroSensor*. Esse aplicativo pode ser obtido gratuitamente na internet, e é capaz de apresentar em uma única tela, os dados de todos os sensores em tempo real.

No aplicativo, foi selecionada uma frequência de medição dos dados de 100 Hz, visto que essa é a taxa padrão de gravação de dados da maioria dos smartphones (FREITAS, 2020). Na bibliografia consultada, foi constatada a utilização

dessa frequência para a medição das acelerações verticais (ALESSANDRONI *et al.*, 2014; ALMEIDA, 2018; BISCONSINI, 2016; DOUANGPHACHANH; ONEYAMA, 2013; FORSLÖF; JONES, 2015; ISLAM *et al.*, 2014; MULITERNO; JUNIOR; PRAVIA, 2019; SOUZA; GIUSTI; BATISTA, 2018).

3.2.1.2 Tipos de suporte para fixação de um smartphone

Quatro modelos de suporte foram testados preliminarmente. Estes foram instalados no interior de um veículo, sendo feito um deslocamento durante dez minutos. Por meio de uma análise visual, foram escolhidos os dois suportes que apresentavam menor “flutuação”, com a finalidade de manter a fidelidade na leitura dos dados. Os suportes escolhidos estão ilustrados na Figura 14. O suporte branco (esquerda) foi fixado no centro do para-brisa, enquanto o suporte preto (direita) foi apoiado na saída de ar.

Figura 14 – Suportes escolhidos para fixação dos smartphones.



Fonte: Acervo do autor.

3.2.1.3 Tipos de veículos

Foram realizadas medições com dois tipos de veículos pertencentes à frota da UNILA, os quais foram selecionados utilizando os seguintes critérios: presença de motor dianteiro, eixo traseiro rígido, molas traseiras, barra estabilizadora traseira e amortecedores (norma ASTM E 1082-90, 2017b). A Figura 15, ilustra os tipos escolhidos, enquanto a Tabela 7 apresenta a ficha técnica desses veículos (UNILA, 2021).

Figura 15 – Tipos de veículos escolhidos.

Fonte: Acervo do autor.

Tabela 7 – Ficha técnica dos veículos escolhidos.

Tipo	Veículo	Ano	Capacidade (mot+pax)
De passeio	Renault - Logan 1.6 Dynamique	2014/2015	1+4
Pick-up	Fiat - Strada 1.4 Working	2014/2015	1+1

Fonte: Autora, 2022.

3.2.1.4 Velocidades operacionais

As acelerações verticais foram coletadas em trechos de vias urbanas, a 25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h, respectivamente. Para atingir essas velocidades, os veículos partiram aproximadamente 100 metros antes do ponto de partida em cada trecho. As marchas utilizadas para atingir estas velocidades estão detalhadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Velocidades operacionais e respectivas marchas.

Velocidade operacional (km/h)	Marcha
25	Segunda
35	Terceira
45	Quarta
55	Quarta

Observação: Na Av. José Maria de Brito na Pick-up a 25 km/h tráfego em terceira marcha.

3.2.1.5 Participantes

O processo de medição foi realizado com dois participantes, motorista e passageiro (assento dianteiro). Foi necessário o passageiro como ajudante para

ativar a coleta de dados e evitar distrações na maneira de dirigir. Os dados dos participantes encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Informação dos participantes dos levantamentos das irregularidades longitudinais.

Informação	Motorista	Passageiro
Sexo	Masculino	Feminino
Idade	67	25
Peso (kg)	75	51
Altura (cm)	170	160
Anos de experiência	13	----

3.2.2 Metodologia de medição

É importante enfatizar que todos os levantamentos das acelerações verticais foram realizados nos meses de fevereiro e março de 2022, a partir das 14h00, com interrupção do tráfego veicular na faixa avaliada. Além disso, para evitar interferência do tráfego na faixa adjacente, foram instalados cones de sinalização de trânsito entre as duas faixas ao longo do trecho de estudo.

Antes de cada série de levantamento, o motorista efetuou calibração dos pneus conforme a pressão de inflação indicada na ficha técnica de cada veículo. Além disso, os pneus foram aquecidos percorrendo pelo menos 8km em velocidades normais de tráfego, como sugerido pela norma ASTM E 1082-90 (ASTM, 2017b).

Para os levantamentos das acelerações verticais, os pneus dos veículos percorreram linhas demarcadas com cal nas trilhas de roda mais solicitadas em cada trecho. As marcações dessas linhas seguiram os procedimentos mencionados para os levantamentos das irregularidades longitudinais com o equipamento do tipo Dipstick.

As coletas das acelerações verticais foram realizadas em duas partes: com os veículos parados e com os veículos em deslocamento sob diferentes velocidades operacionais. Na primeira parte, os sinais foram coletados em um intervalo de 24 segundos, para quatro amostras, sob as seguintes condições: veículo desligado (janelas abertas), veículo ligado sem acelerar, e os demais com o veículo em primeira, segunda, terceira e quarta marcha, respectivamente.

Na segunda parte, o veículo (de passeio ou pick-up), passou dez vezes, em cada velocidade operacional, sobre a linha demarcada na trilha de roda mais solicitada.

3.2.3 Processamento dos dados

O aplicativo *AndroSensor* forneceu, em planilha no formato CSV, os dados coletados por cada smartphone. Dessa planilha foram extraídas as acelerações no eixo x (horizontal), eixo y (vertical) e eixo z (exterior da face frontal da tela). Esta disposição dos eixos foi chamada de referencial *body frame*, por ser um sistema de coordenadas definido em relação à tela do aparelho, pelo próprio aplicativo. Na sequência, foram calculados os ângulos de Pitch (θ) e Roll (φ), com base nas Equações 11 e 12:

$$\theta = -\arctan\left(\frac{ax}{\sqrt{ay^2 + az^2}}\right) \times \text{sign}(az) \quad 11$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{ay}{az}\right) \quad 12$$

A seguir, são mostradas as matrizes de transformação de coordenadas usando os ângulos de Euler (Equações 13 e 14).

$$C_\theta = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \text{sen}(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad 13$$

$$C_\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi) & \text{sen}(\varphi) \\ 0 & -\text{sen}(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad 14$$

Para transformar as coordenadas do referencial de *body frame* a navegação inercial, foram definidas as seguintes sequências de rotações:

$$C_n^b = (C_\theta C_\varphi)^T \quad 15$$

É importante enfatizar que as coordenadas de navegação inercial coincidem com as coordenadas dos veículos, obtendo as acelerações perpendiculares ao solo, desprezando a orientação do sensor.

A primeira análise foi a influência de fatores externos cuja origem não seja a condição funcional do pavimento, ou seja, ruído produzido pelo acelerômetro do próprio smartphone, vibrações do motor em diferentes rotações,

vibrações do ar condicionado, entre outros fatores. Para isto, foram removidos os componentes DC (*Direct Current*), por meio da subtração da média aritmética de cada sinal transformado. Para o processamento dos dados, foi utilizado o software Python. Mais detalhes do script no Apêndice A.

Após, foi realizada a análise do espectro mediante CPSD (*Cross Power Spectral Density*), por meio do software Python. Os detalhes do script encontram-se no Apêndice B.

Além, na segunda análises, avaliamos dois tipos de filtros *Butterworth* de segunda ordem para filtragem de dados: passa-banda e passa-alta. Esses processos foram realizados com o software Python. Mais detalhes estão no Apêndice C e D, respectivamente.

No primeiro caso aplicou-se um filtro passa-banda de Butterworth de 0.5 a 20 Hz. O valor de corte inferior de 0.5 Hz, foi aplicado para eliminar a componente DC, enquanto, o valor de corte superior 20 Hz, foi aplicado para atenuar as vibrações provenientes do motor (BISCONSINI et al., 2021).

No segundo caso, foi aplicado um filtro passa-alta de 0.5 Hz. O valor de corte foi escolhido com base na ISO 2631 (1997), que define o desconforto do usuário na faixa de frequência de 0.5 a 80 Hz. E como explica o teorema de Nyquist, ao usar uma taxa de aquisição de 100 Hz, a frequência máxima que poderia medir seria de 50 Hz.

Para cada caso de filtrações foram calculadas as raízes médias quadráticas das acelerações verticais (RMSVA) com base na Equação 10.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A partir dos valores de RMSVA, calculados para diferentes veículos, diferentes tipos de fixação dos smartphones e diferentes velocidades operacionais, foram efetuadas comparações (testes de hipóteses) para avaliar a existência de diferença estatística significativa entre os valores de RMSVA obtidos nas diferentes situações mencionadas.

3.3.1 Comparações entre amostras

As amostras contendo valores de RMSVA podem ser avaliadas, por exemplo, considerando seus valores médios mediante Análise de Variância (ANOVA) e Testes de Hipóteses (Teste t de *Student*).

No caso da ANOVA, os valores de RMSVA devem cumprir três pressuposições básicas, sendo elas: normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk), homogeneidade das variâncias (teste de Levene) e independência dos erros (teste de Durbin-Watson).

Do ponto de vista dos Testes de Hipóteses, para o Teste t de *Student* devem ser verificadas duas pressuposições: normalidade dos dados (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Teste de Levene). Quando as pressuposições do Teste t de *Student* não são atendidas, ainda é possível realizar a comparação de amostras mediante o Teste de Mann-Whitney. Nesse caso, serão consideradas as medianas dos valores de RMSVA.

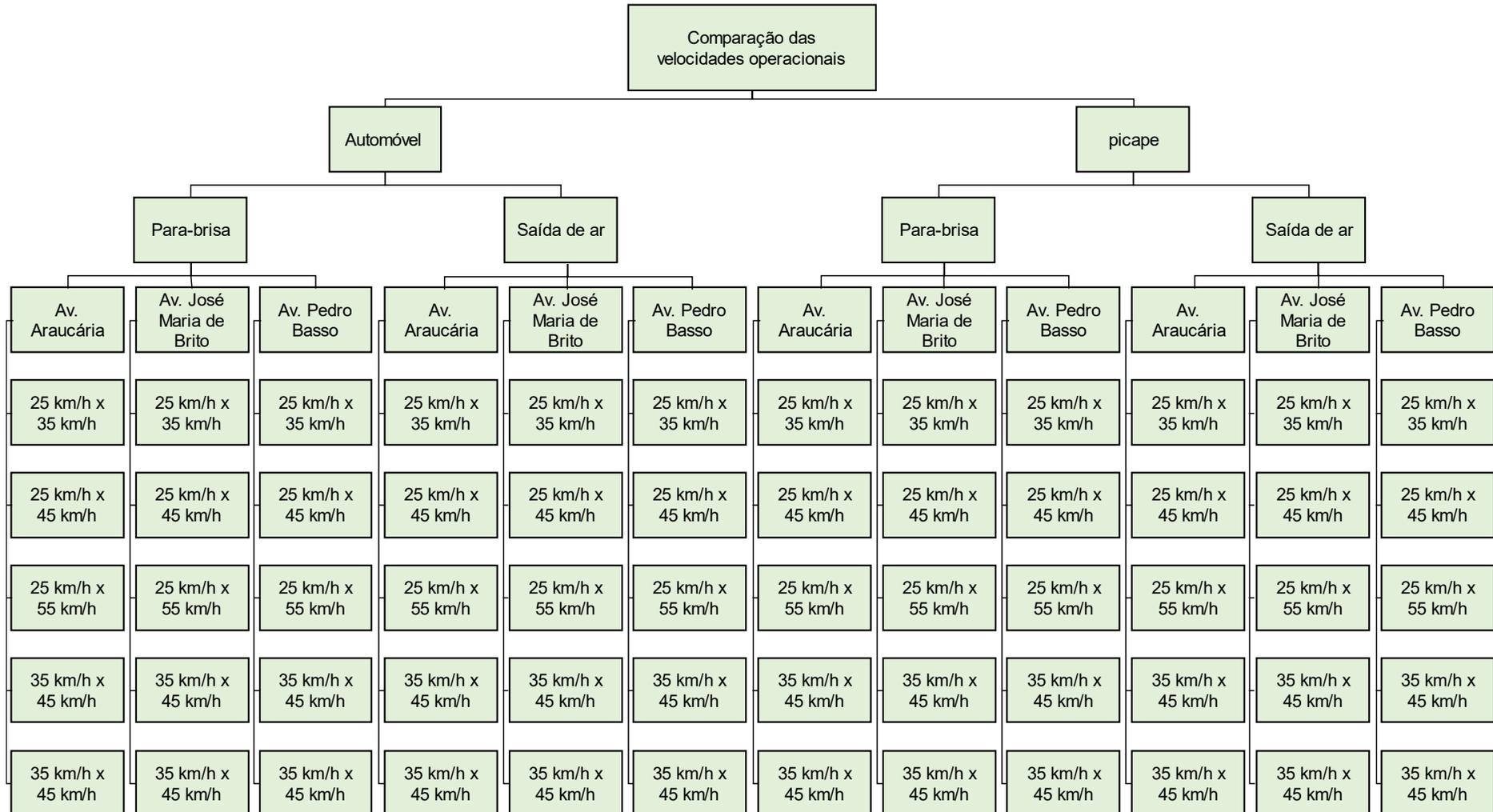
Mais detalhes são apresentados no Apêndice E.

3.3.2 Combinações de RMSVA's avaliadas

Para cada intervalo de filtragem, foram efetuadas análises comparativas das RMSVA's obtidas com diferentes velocidades operacionais, diferentes tipos de suporte dos smartphones e diferentes veículos, conforme ilustram as Figuras 16 a 18. As comparações envolveram RMSVA's obtidas em segmento único de 240 m de comprimento e posteriormente, RMSVA's obtidas em segmentos consecutivos de 60 m de comprimento até ser alcançado 240 m de comprimento total.

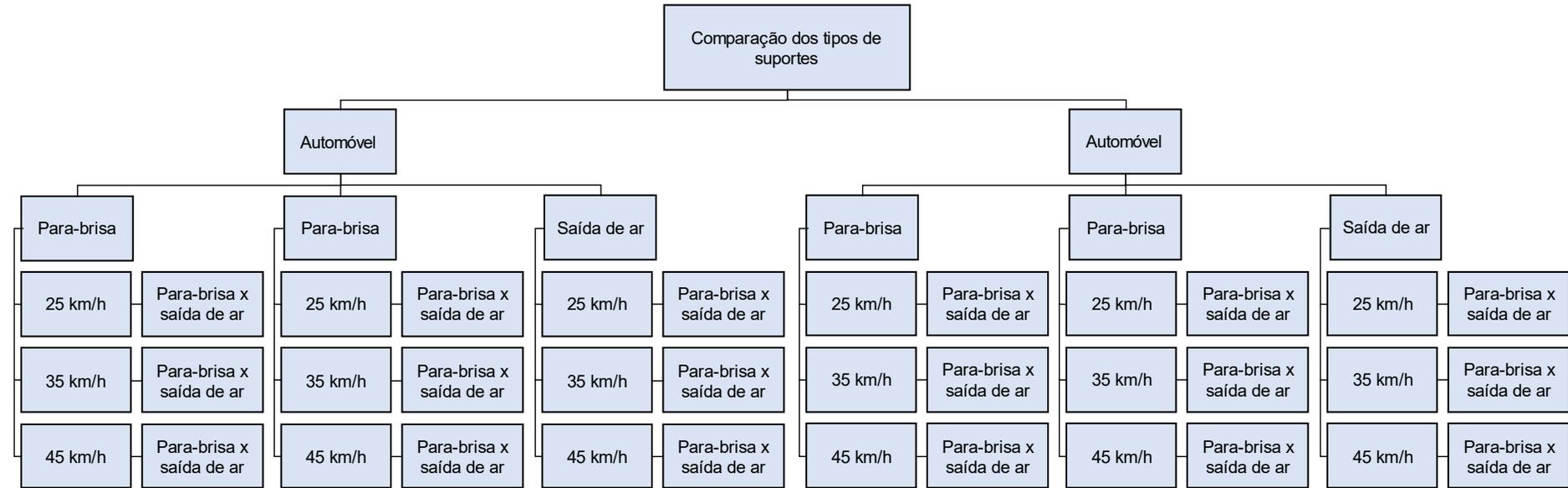
Além disso, também foram comparadas às RMSVA's considerando simultaneamente, os dois intervalos de filtragem utilizados (0.5 a 20 Hz e 0.5 Hz). Na Figura 19 são apresentadas as combinações consideradas nesta análise, enquanto os Quadros 4 e 5 mostram detalhes das RMSVA's avaliadas em cada velocidade operacional.

Figura 16 – Combinações de RMSVA's para comparação das velocidades operacionais (0.5-20 Hz).



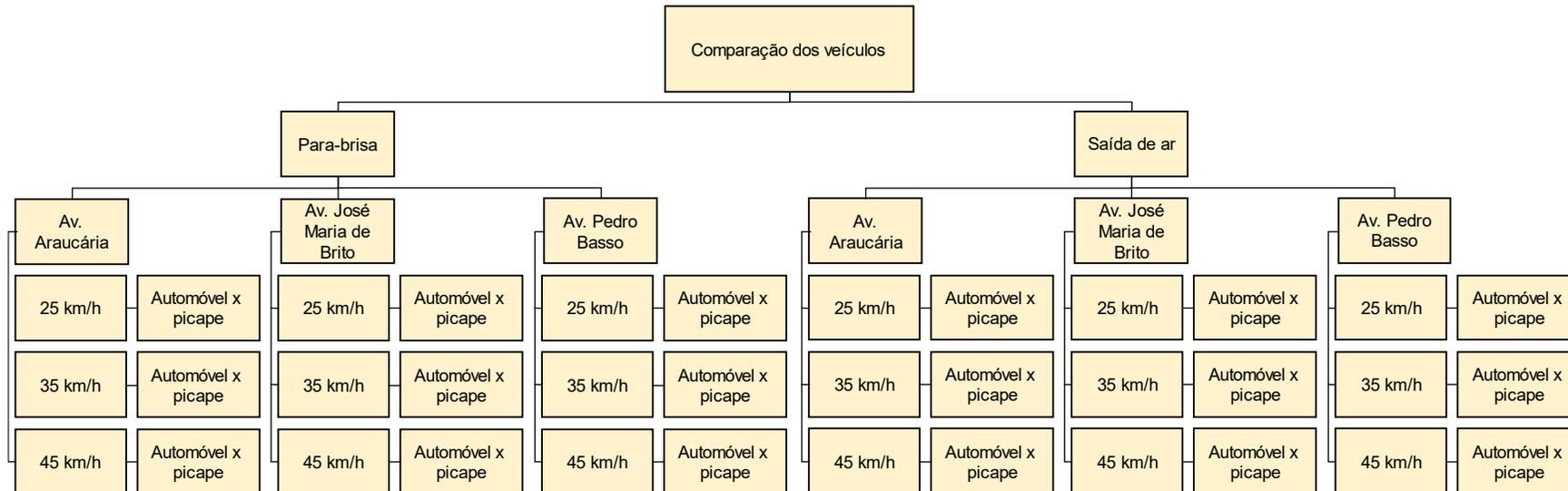
Fonte: Autora, 2022. Idem para 0.5 Hz.

Figura 17 – Combinações de RMSVA's para comparação dos tipos de suportes (0.5-20 Hz).



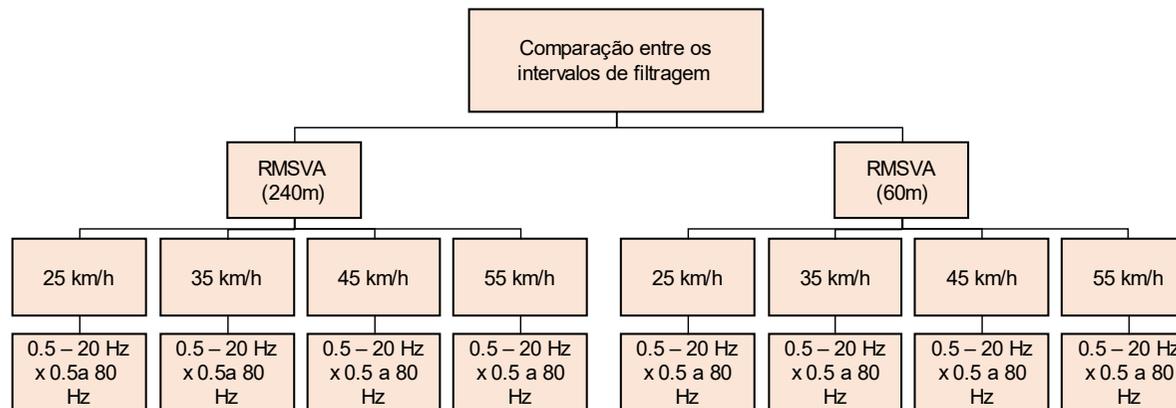
Fonte: Autora, 2022. Idem para 0.5 Hz.

Figura 18 – Combinações de RMSVA's para comparação dos tipos de veículos (0.5-20 Hz).



Fonte: Autora, 2022. Idem para 0.5 Hz.

Figura 19 – Combinações de RMSVA's considerando simultaneamente (0.5-20 Hz e 0.5 Hz).



Fonte: Autora, 2022. Idem para 0.5 Hz.

Quadro 4 – Condições analisadas em segmento único de 240 m de comprimento.

Local	Veículo	Posição do suporte do smartphone	RMSVA (0.5-20 Hz)	RMSVA (0.5 Hz)
Av. Araucária	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
Av. José Maria de Brito	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
Av. Pedro Basso	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
Av. Araucária	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
Av. José Maria de Brito	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
Av. Pedro Basso	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
Av. Araucária	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
Av. José Maria de Brito	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
Av. Pedro Basso	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
Av. Araucária	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
Av. José Maria de Brito	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
Av. Pedro Basso	Pick-up	Saída de ar	✓	✓

Fonte: Autora, 2022.

Quadro 5 – Condições analisadas em segmentos consecutivos de 60 m.

Local	Segmento (m)	Veículo	Posição do suporte do smartphone	RMSVA (0.5-20 Hz)	RMSVA (0.5 Hz)
Av. Araucária	0 - 60	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	120 - 180	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
Av. José Maria de Brito	0 - 60	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	120 - 180	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
Av. Pedro Basso	0 - 60	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓

	120 - 180	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Veículo de passeio	Saída de ar	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Para-brisa	✓	✓
	0 - 60	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	60 - 120	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	120 - 180	Pick-up	Saída de ar	✓	✓
	180 - 240	Pick-up	Saída de ar	✓	✓

3.3.3 Análises de correlação e análises de regressão linear

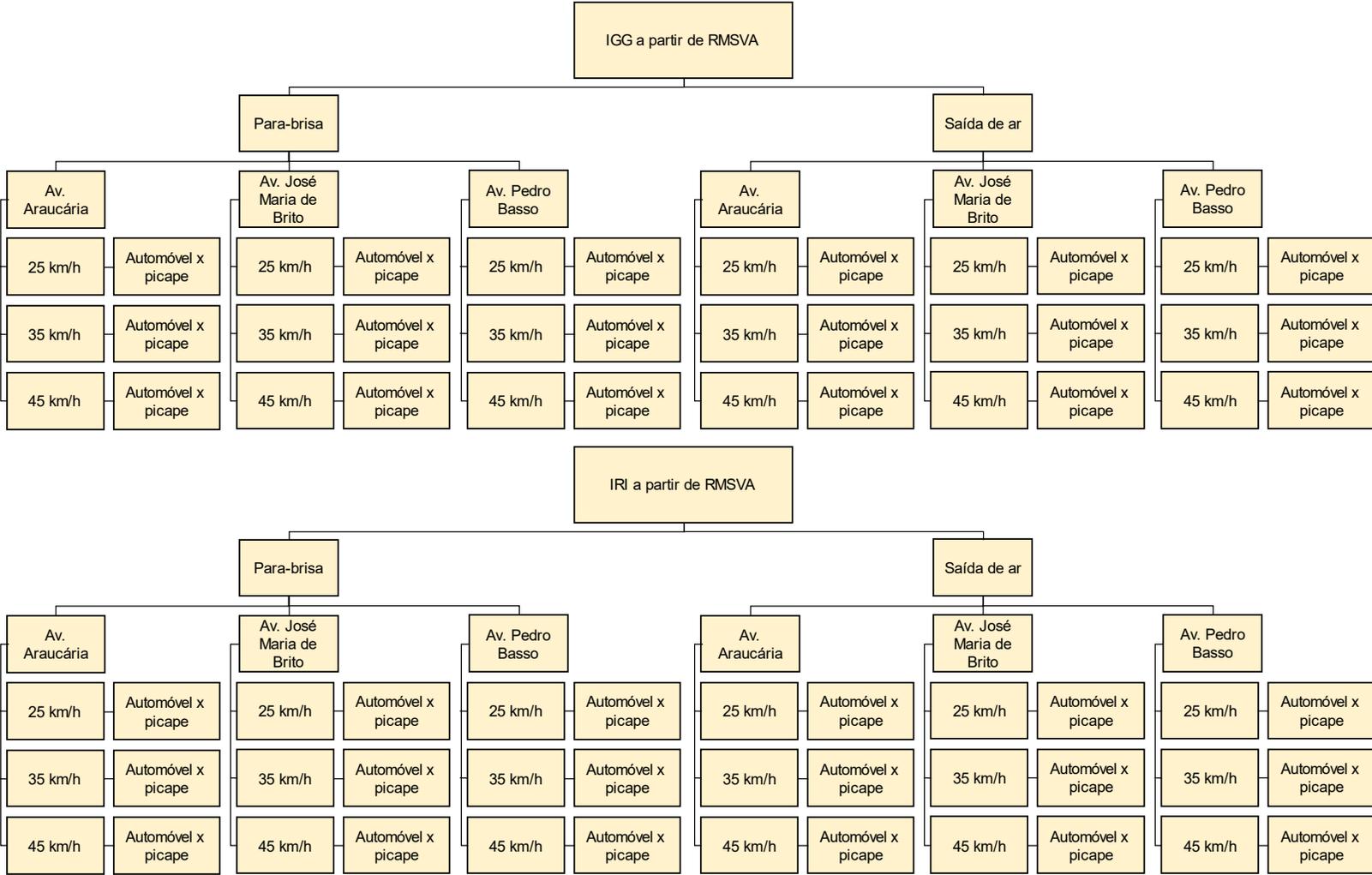
As análises de correlação procuram avaliar o grau ou força de associação entre a variável dependente, por exemplo, IGG vs variáveis independentes (RMSVA, tipo de veículo, tipo de fixação do suporte do smartphone e velocidade operacional). Idem para o IRI.

Já as análises de regressão linear avaliam a capacidade das variáveis independentes explicarem as variações da variável dependente. A análise de regressão linear tradicional verificaria a capacidade do IRI para explicar as variações da variável dependente RMSVA. No entanto, como explicam Sayers *et al.* (1986), a calibração de medidores do tipo resposta serve a um propósito diferente, ou seja, descreve as estatísticas dos dados fornecidos pelo sistema. Por esse motivo, neste trabalho se avaliou a variação do IRI (variável dependente) a partir dos valores de RMSVA (variável independente). Idem para o IGG.

Para realizar as análises de regressão linear, os valores de RMSVA devem atender os seguintes pressupostos: linearidade entre a variável dependente (Y) e a(s) variável(is) independente(s) Xi, os valores de Y devem ser independentes, os valores devem apresentar distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) e as variâncias dos valores de Y devem ser homogêneas (Teste de Levene). Caso a normalidade não seja atendida, os valores de Y podem ser transformados, por exemplo, mediante Transformação de Box-Cox e verificados novamente quanto a normalidade.

Neste estudo, para cada intervalo de filtragem (0.5-20 Hz e 0.5 Hz), foram realizadas análises de regressão linear considerando diversas combinações entre cada variável dependente vs variáveis independentes (Figura 20)

Figura 20 – Combinações avaliadas de IGG vs RMSVA e IRI vs RMSVA (0.5-20 Hz).



Fonte: Autora, 2022. Idem para 0.5 Hz.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se a análise e interpretação dos resultados. Os dados foram coletados respectivamente, em trechos com 240 m de comprimento e em segmentos consecutivos com 60 m de comprimento até totalizar os 240 m anteriores. Em cada comprimento foram medidos os perfis longitudinais com o aparelho tipo Dipstick, as macrotextura dos revestimentos, as acelerações com smartphones e as degradações superficiais desses pavimentos.

4.1 ESTADO DE DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

A condição superficial dos revestimentos asfálticos em cada trecho foi determinada pelo Índice de Gravidade Global (IGG) (norma DNIT-PRO 006/2003b). Os defeitos levantados e tabulados para o comprimento único de 240 m em cada trecho, assim como os valores calculados para o IGG, são apresentados no Apêndice F (Tabelas F1, F2 e F3). Tendo em vista a norma DNIT-PRO 006/2003b, os pavimentos avaliados apresentam a seguinte classificação (Tabela 10).

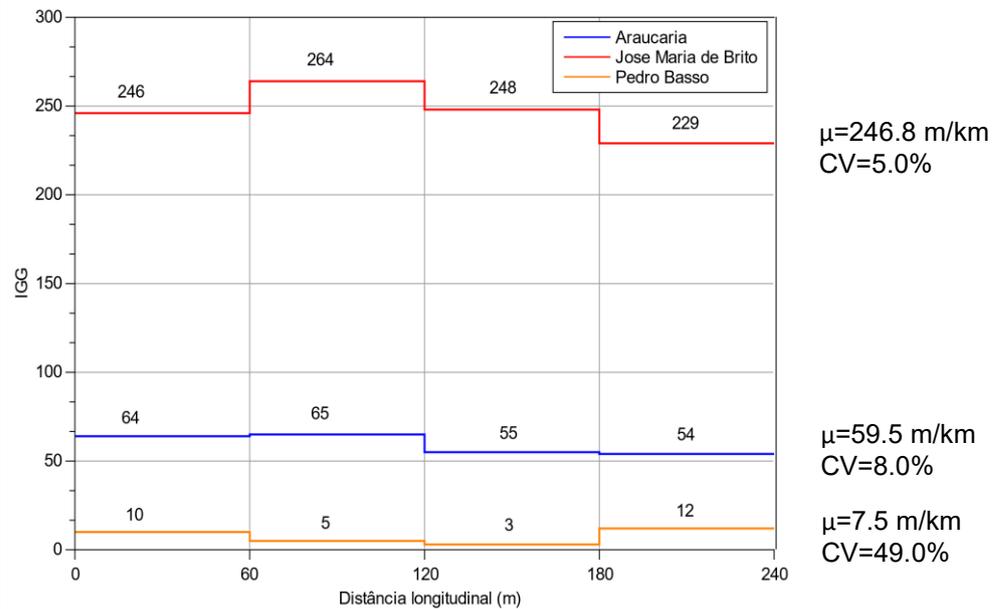
Tabela 10 – Condição do pavimento segundo o IGG (40 estações; segmento único de 240 m).

Trecho	IGG	Condição do Pavimento
Av. Araucária	60	Regular
Av. José Maria de Brito	250	Péssimo
Av. Pedro Basso	8	Ótimo

Fonte: Autora, 2022.

Conforme mencionado anteriormente, o IGG também foi calculado para segmentos consecutivos de 60 m de comprimento (10 estações consecutivas). A Figura 21 apresenta os valores de IGG obtidos nesse caso. Se observa baixos valores de coeficiente de variação (CV) para o IGG nos trechos mais degradados.

Figura 21 – IGG dos trechos de estudo a cada 60 m.



Fonte: Autora, 2022.

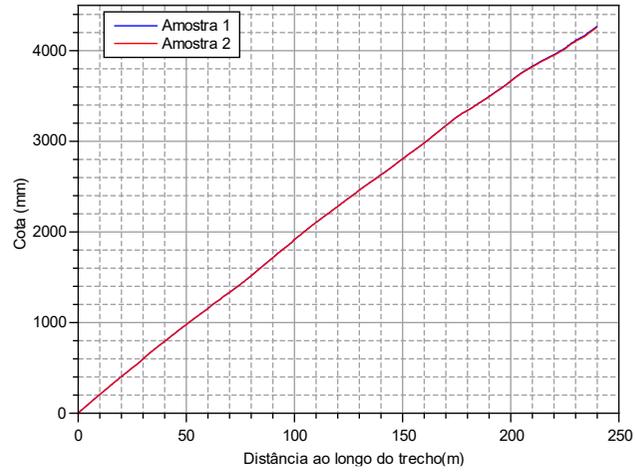
4.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Neste estudo foram levantados, com auxílio do Dipstick, perfis longitudinais nas trilhas de rodas externas, os quais foram então utilizados para o cálculo do IRI a cada 240 m (norma DNER-ES 173/86).

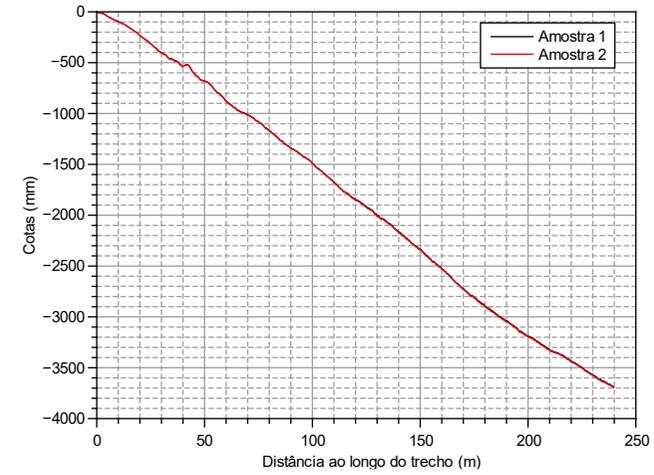
Em cada trecho de estudo foram medidos duas vezes, os perfis longitudinais na trilha de roda externa (mais próxima do meio-fio), conforme ilustra a Figuras 22. Nos três trechos se observa sobreposição dos perfis medidos devido a elevada precisão/repetibilidade do equipamento.

Na Figura 22(a) é possível observar um certo aclive longitudinal, em torno de 1.78% no trecho da Avenida Araucária. Nas Figuras 22(b) e 22(c) identifica-se respectivamente, um declive de 1.54% no trecho da Avenida José Maria de Brito e 1.76% no trecho da Avenida Pedro Basso.

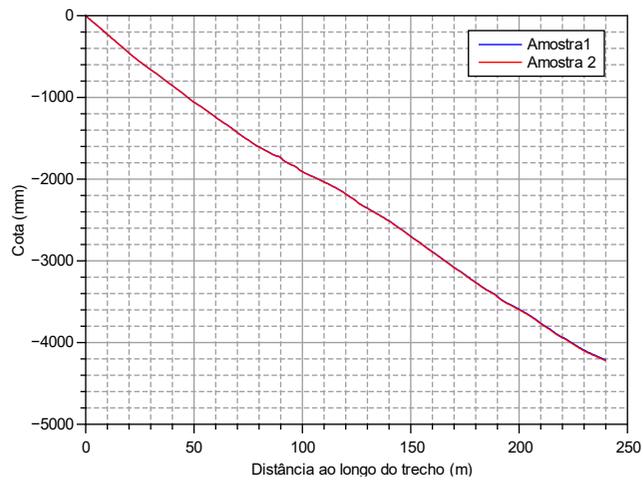
Figura 22 – Perfil da trilha de roda externa em cada via.



(a) Av. Araucária



(b) Av. José Maria de Brito



(c) Av. Pedro Basso

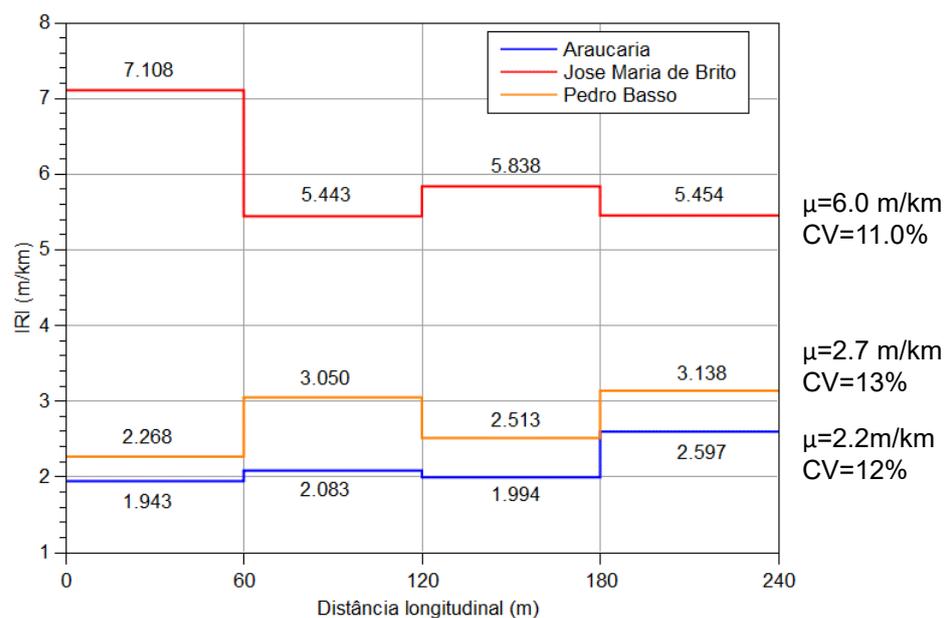
A Tabela 11 fornece um resumo dos valores médios de IRI em 240 m de comprimento e o conceito atribuído à superfície do pavimento. Para cada trecho, o valor apresentado foi obtido a partir de dois levantamentos consecutivos das irregularidades longitudinais na trilha de roda mais solicitada, sendo então calculado o valor médio do IRI. Nota-se coeficientes de variação (CV) inferiores a 2%, ou seja, elevada repetibilidade dos desníveis registrados pelo equipamento tipo Dipstick.

Tabela 11 – Resumo dos valores de IRI.

Dados	Av. Araucária	Av. José Maria de Brito	Av. Pedro Passo
Comprimento do segmento (m)	240	240	240
IRI médio (m/km)	2.15	5.96	2.74
Desvio Padrão (m/km)	0.013	0.025	0.012
Coefficiente de Variação (%)	1%	0%	0%
Classificação DNIT (2006)	Bom	Péssimo	Bom

A partir dos perfis longitudinais medidos em 240 m de comprimento, também foram calculados com o auxílio do software ProVAL, os valores de IRI para segmentos consecutivos com 60 m de comprimento. Durante o processamento dos dados, foram considerados intervalos de amostragem de 0.25m e as respectivas cotas acumuladas. A Figura 23 apresenta os resultados obtidos.

Figura 23 – IRI dos trechos a cada 60 m.



Fonte: Autora, 2022.

Comparado à situação do IGG a cada 60 m (Figura 21), se observa aumento nos coeficientes de variação (CV) nos trechos superficialmente mais degradados.

4.3 AVALIAÇÃO DA MACROTEXTURA DA SUPERFÍCIE DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

A determinação da macrotextura dos revestimentos asfálticos foi realizada pelo método da mancha de areia (norma ASTM E 965-96). A Tabela 12 apresenta os valores médios de macrotextura obtidos em cada trecho.

Tabela 12 – Valores de macrotextura média.

Vias	HSmédia (mm)	Coefficiente de Variação (%)	Textura superficial
Av. Araucária	2.52	38.00	Muito grosseira
Av. José Maria de Brito	2.05	46.06	Muito grosseira
Av. Pedro Basso	0.74	15.32	Média

Fonte: Autora, 2022.

O Manual de Restauração de Pavimento Asfálticos do DNIT (2006) sugere limites para as condições de resistência à derrapagem, em função da textura superficial. Esse manual recomenda textura média a grosseira, com uma profundidade média entre 0.60 mm a 0.20 mm. Assim, os trechos avaliados não atendem o requisito mencionado.

4.4 ACELERAÇÕES VERTICAIS MEDIDAS COM SMARTPHONES

Os ângulos de Pitch e Roll foram determinados (Equações 06 e 07) para cada trecho e posição de fixação do suporte de cada smartphone, quando o veículo estava parado e desligado. Nas Tabelas 13 e 14, são apresentados os resultados obtidos para cada veículo.

Tabela 13 – Ângulos de Pitch e Roll no veículo de passeio para cada trecho e fixação do suporte do smartphone.

Avenida	Suporte	Pitch médio	Roll médio
Araucária	Para-brisa	0.139	0.006
	Saída de ar	-0.392	-0.087
José Maria de Brito	Para-brisa	0.044	-0.020
	Saída de ar	-0.406	-0.041
Pedro Basso	Para-brisa	0.158	0.003
	Saída de ar	-0.427	0.006

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 14 – Ângulos de Pitch e Roll na pick-up para cada trecho e fixação do suporte do smartphone.

Avenida	Suporte	Pitch médio	Roll médio
Araucária	Para-brisa	0.058	-0.008
	Saída de ar	-0.470	-0.098
José Maria de Brito	Para-brisa	0.187	-0.063
	Saída de ar	-0.343	-0.086
Pedro Basso	Para-brisa	0.074	-0.026
	Saída de ar	-0.357	-0.092

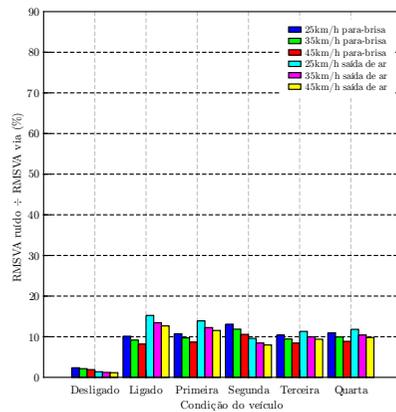
Fonte: Autora, 2022.

No Apêndice G são apresentadas as análises de repetitividade dos ângulos medidos.

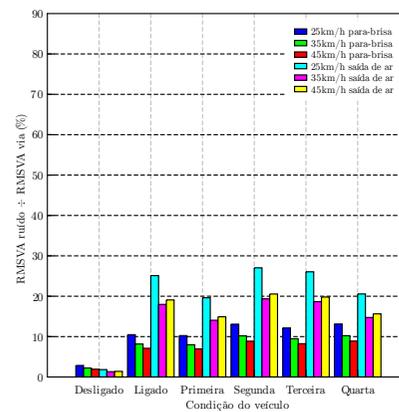
Os dados da influência do ruído sobre os valores das acelerações verticais medidas, representadas pela Raiz da Média Quadrática das Acelerações Verticais (RMSVA), são apresentados nas Figuras 24 e 25. O Apêndice H mostra mais detalhes sobre o ruído.

Para os três trechos avaliados, os resultados mostram que houve uma maior influência no ruído proveniente do veículo de passeio comparado aquele da pick-up. Adicionalmente, o ruído oriundo dos smartphones fixados na saída de ar mostrou-se superior ao ruído dos smartphones fixados no para-brisa. Além disso, quanto maior a velocidade operacional dos veículos, menor a influência no ruído. Resultado semelhante foi observado na pesquisa de Bisconsini (2016).

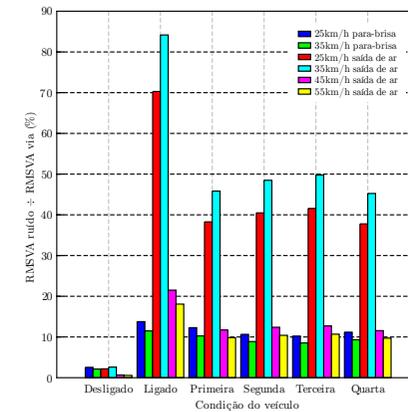
Figura 24 – Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos com o smartphone fixado, respectivamente, no para-brisa e na saída de ar do veículo de passeio.



(a) Av. Araucária

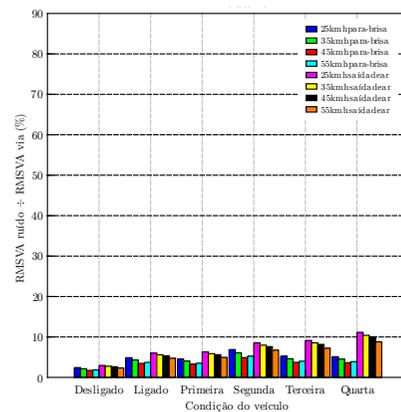


(b) Av. José Maria de Brito

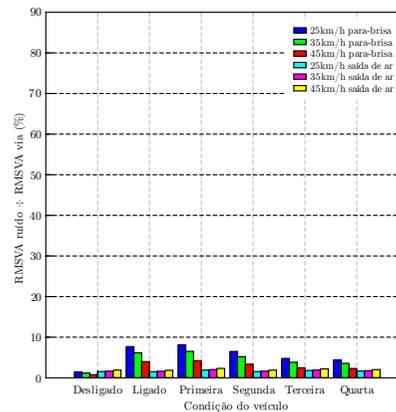


(c) Av. Pedro Basso

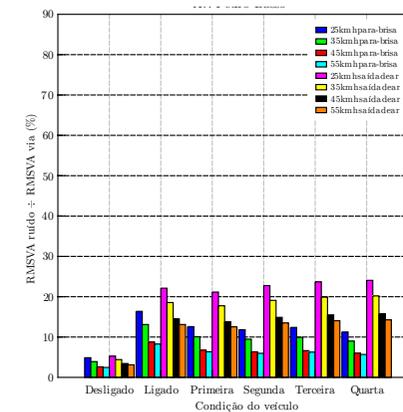
Figura 25 – Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos com o smartphone fixado, respectivamente, no para-brisa e na saída de ar da pick-up.



(a) Av. Araucária



(b) Av. José Maria de Brito



(c) Av. Pedro Basso

A seguir, foram aplicados filtros de Butterworth passa-banda de segunda ordem com frequências de corte de 0.5 a 20 Hz. O valor de corte inferior permite eliminar a influência do componente DC (Direct Current), enquanto a frequência de corte superior atenua as vibrações provenientes do motor (BISCONSINI et al., 2021). Além disso, no modelo matemático utilizado para o cálculo do IRI, a resposta em frequência de um quarto de carro se estende nessa faixa (GILLESPIE, 1992).

Também foi aplicado filtro de Butterworth às frequências registradas na faixa a 0.5 Hz. Esse é o intervalo no qual há deterioração da saúde, deterioração do conforto, deterioração da percepção e enjoo (ISO 2631, 1997).

Os valores filtrados das RMSVA foram então submetidos a análises estatísticas.

4.4.1 Repetitividade dos valores de RMSVA

Os Apêndices J e K apresentam o detalhamento das RMSVA's obtidas e respectivos cálculos efetuados.

4.4.1.1 RMSVA em segmentos com 240 m de comprimento

A repetitividade dos valores medidos foi avaliada por meio do coeficiente de variação (CV) para cada caso de filtragem.

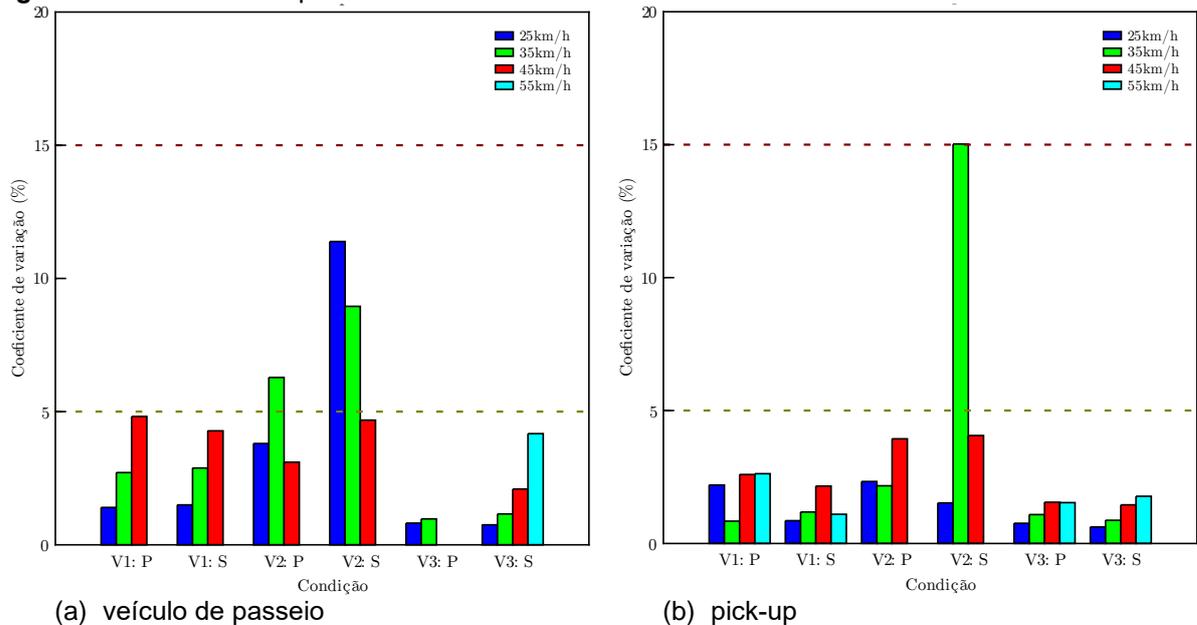
- Filtragem de 0.5 a 20 Hz

As Figuras 26a e 26b apresentam os coeficientes de variação (CV) das RMSVA's, filtradas entre 0.5 e 20 Hz. Nessas tabelas se observa, para 40 casos avaliados, baixa dispersão ($CV < 15\%$) dos valores de RMSVA em 39 situações, a despeito do tipo de fixação do smartphone e velocidade operacional do veículo durante o deslocamento. Foi constatada apenas uma situação de média dispersão ($15 < CV < 30\%$). Além disso, dos 40 casos considerados, 36 atendem o limite de 5% de coeficiente de variação requerido para perfilômetros inerciais (ASTM, 1995).

Para os dois tipos de veículos utilizados, existe uma tendência de crescimento do coeficiente de variação com o aumento da velocidade operacional.

Além disso, se observa uma maior variabilidade das RMSVA's (e smartphone fixado na saída de ar) na Av. José Maria de Brito, a qual apresenta os maiores valores de IGG e IRI. Por outro lado, os menores coeficientes de variação ocorrem na Av. Pedro Basso, a qual tem menor IGG.

Figura 26 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 240 m.



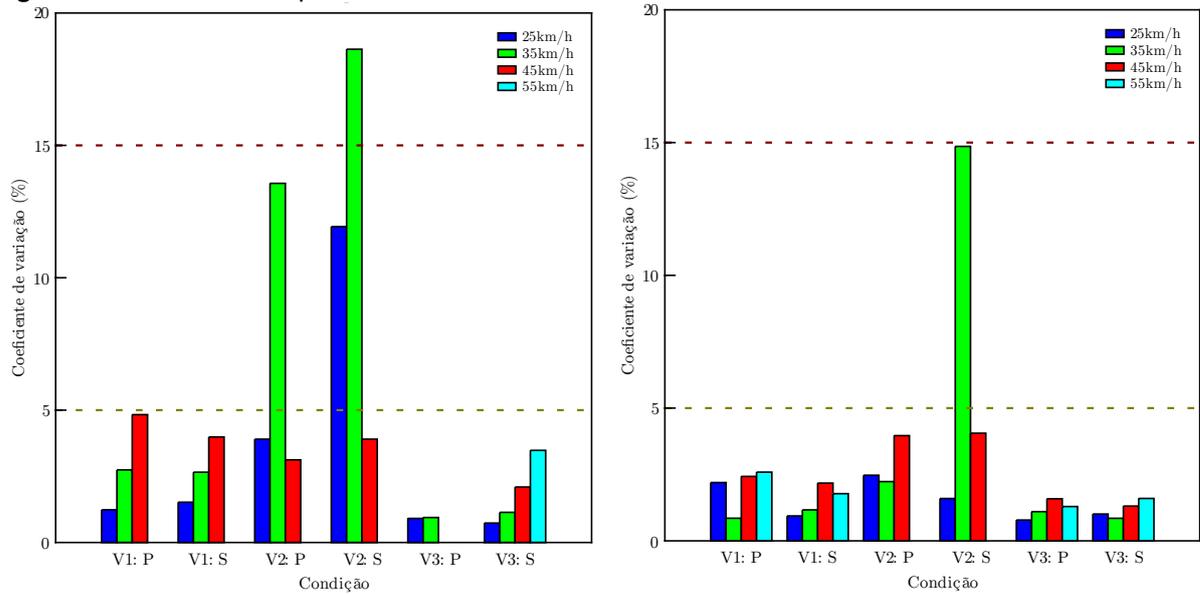
Fonte: Autora, 2022.

- Filtragem a 0.5 Hz

As Figuras 27a e 27b apresentam a análise de repetitividade dos valores de RMSVA, filtrados a 0.5 Hz. Nessas tabelas, para 40 casos avaliados, também se observa baixa dispersão ($CV < 15\%$) dos valores de RMSVA em 39 situações, a despeito do tipo de fixação do smartphone e velocidade operacional do veículo durante o deslocamento. Também foi constatada apenas uma situação de média dispersão ($15 < CV < 30\%$). Além disso, dos 40 casos considerados, 36 atendem o limite de 5% de coeficiente de variação requerido para perfilômetros inerciais (ASTM, 1995).

Para os dois tipos de veículos utilizados, existe uma tendência de crescimento do coeficiente de variação com o aumento da velocidade operacional. Além disso, se observa uma maior variabilidade das RMSVA's (e smartphone na saída de ar) na Av. José Maria de Brito, a qual apresenta os maiores valores de IGG e IRI. Por outro lado, os menores coeficientes de variação ocorrem na Av. Pedro Basso, a qual tem menor IGG.

Figura 27 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 240 m.



(a) veículo de passeio

(b) pick-up

Fonte: Autora, 2022.

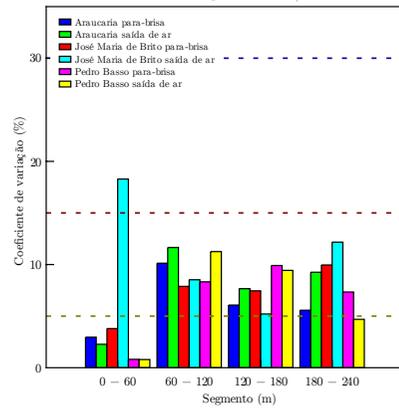
4.4.1.1 RMSVA em segmentos com 60 m de comprimento

A repetitividade dos valores medidos foi avaliada por meio do coeficiente de variação (CV) para cada caso de filtragem.

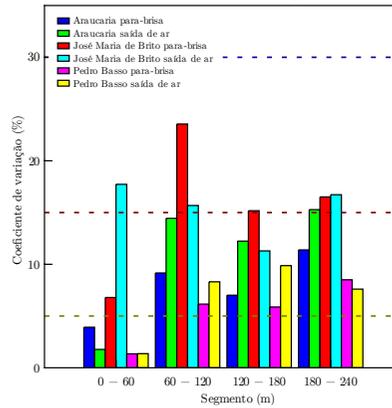
● Filtragem de 0.5 a 20 Hz

As Figuras 28 e 29 mostram os coeficientes de variação (CV) das RMSVA's, filtrados entre 0.5 e 20 Hz. Foram avaliados 160 segmentos com 60 m de comprimento, dos quais 139 apresentaram baixa dispersão ($CV < 15\%$), 19 média dispersão ($15 < CV < 30\%$) e dois segmentos com alta dispersão ($CV > 30\%$). Os dois segmentos cujos dados mostraram maior dispersão estão localizados na Av. José Maria de Brito (maior IGG e maior IRI entre os três trechos avaliados em 240 m). Também se constata que os valores de RMSVA medidos com o smartphone na saída de ar apresentam maiores valores comparado aos medidos para o smartphone no para brisa. Além disso, dos 160 segmentos avaliados, 33 atendem o limite de 5% do coeficiente de variação requerido para perfilômetros inerciais (ASTM, 1995).

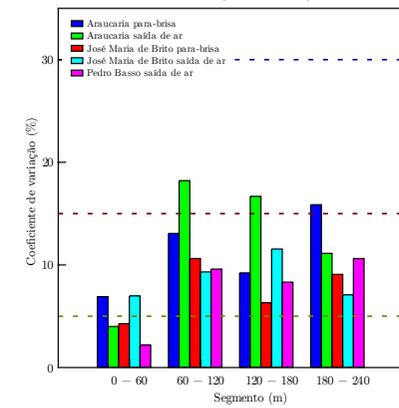
Figura 28 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (veículo de passeio).



(a) 25 km/h



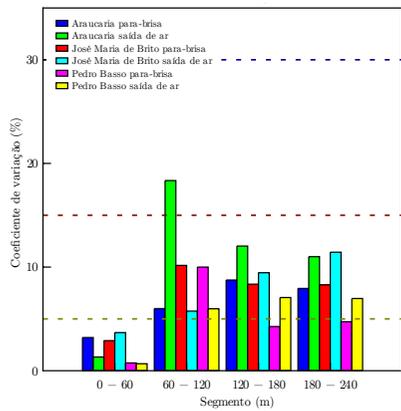
(b) 35 km/h



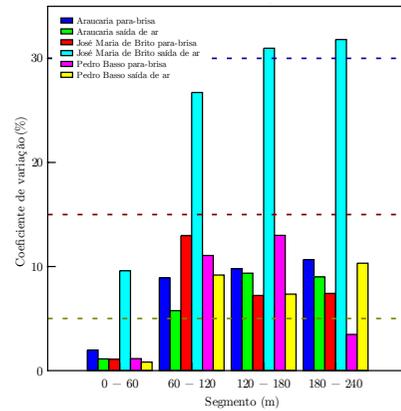
(c) 45 km/h

Fonte: Autora, 2022.

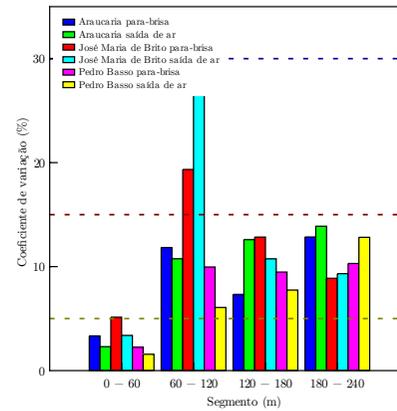
Figura 29 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (pick-up).



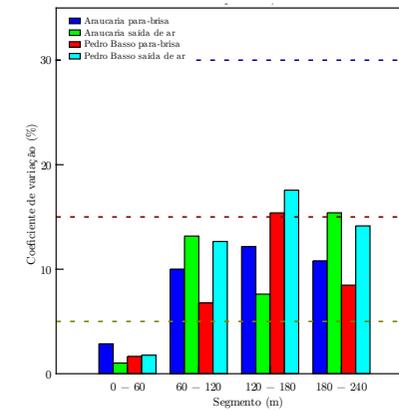
(a) 25 km/h



(b) 35 km/h



(c) 45 km/h



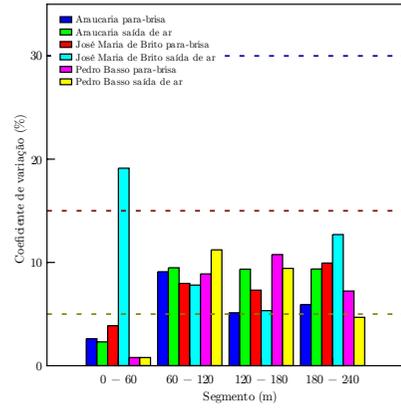
(d) 55 km/h

- Filtragem a 0.5 Hz

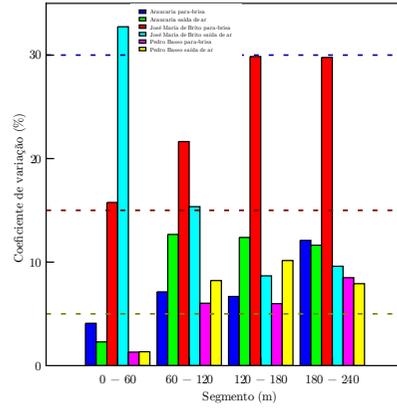
As Figuras 30 e 31 apresentam os coeficientes de variação (CV) para as RMSVA's, filtradas a 0.5 Hz. Nessas tabelas, para 160 segmentos avaliados, se observa baixa dispersão ($CV < 15\%$) dos valores de RMSVA em 143 situações, média dispersão ($15 < CV < 30\%$) em 16 casos e alta dispersão ($CV > 30\%$) em apenas um caso. Além disso, se observa uma maior variabilidade das RMSVA's (e smartphone na saída de ar) na Av. José Maria de Brito, a qual apresenta os maiores valores de IGG e IRI. Além disso, dos 160 segmentos considerados, 38 atendem o limite de 5% de coeficiente de variação requerido para perfilômetros inerciais (ASTM, 1995).

Para os dois tipos de veículos utilizados, existe uma tendência de crescimento do coeficiente de variação com o aumento da velocidade operacional. Além disso, observa-se uma maior variabilidade das RMSVA's (e smartphone na saída de ar) na Av. José Maria de Brito, a qual apresenta os maiores valores de IGG e IRI. Por outro lado, os menores coeficientes de variação ocorrem na Av. Pedro Basso, a qual tem menor IGG.

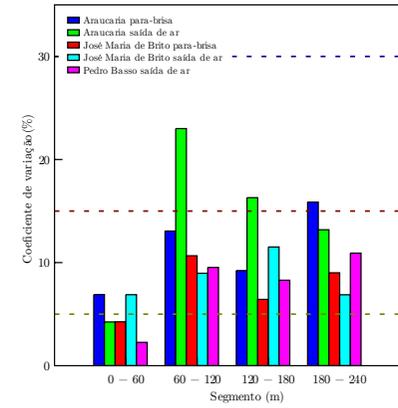
Figura 30 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (veículo de passeio).



(a) 25 km/h



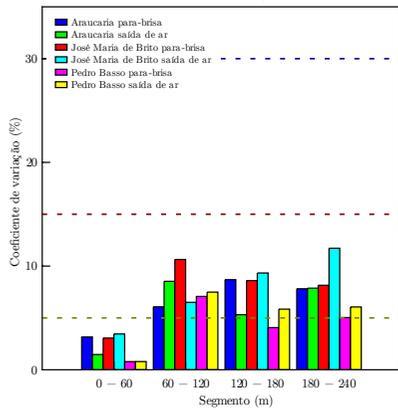
(b) 35 km/h



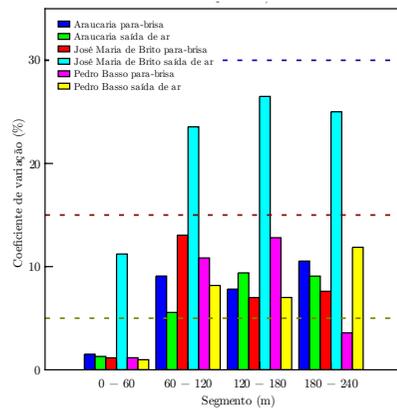
(c) 45 km/h

Fonte: Autora, 2022.

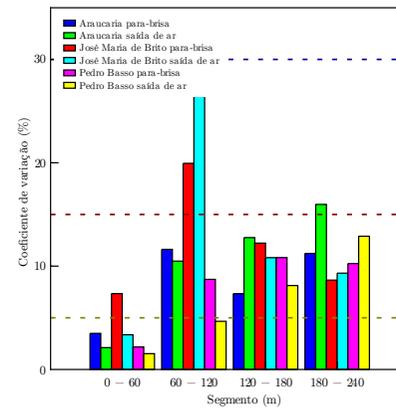
Figura 31 – Análise da repetitividade da RMSVA a cada 60 m (pick-up).



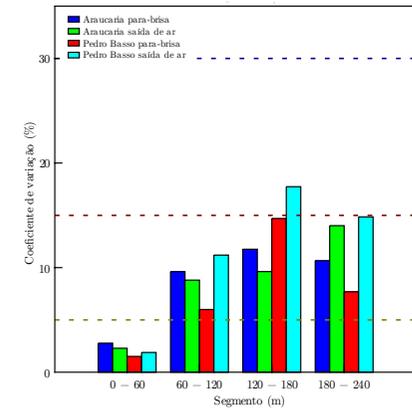
(a) 25 km/h



(b) 35 km/h



(c) 45 km/h



(d) 55 km/h

Fonte: Autora, 2022.

4.4.2 Testes de hipóteses

A partir dos dados valores médios de RMSVA, foram realizadas análises para avaliar a existência de diferença estatística significativa entre esses valores obtidos em diferentes velocidades operacionais (X1), alternando o tipo de veículo utilizado (X2) e o tipo de fixação dos smartphones (X3).

As análises foram efetuadas para as RMSVA's filtradas entre 0.5 Hz e 20 Hz, e a 0.5 Hz. Também foram considerados os comprimentos dos segmentos levantados, ou seja, avaliação para um único segmento de 240 m e avaliação para segmentos com comprimentos consecutivos de 60 m até totalizar os 240 m.

Os Apêndices L e M apresentam os resultados dessas análises. Os requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias foram atendidos para as variáveis X1 e X2 quando considerados seus valores para segmentos com 240 m de comprimento, porém, os valores da variável qualitativa "tipo de fixação" (X3) não atenderam o teste de independência dos erros. Assim, não foi possível realizar Análise de Variância (ANOVA), pois nessa análise é preciso cumprir simultaneamente os três requisitos citados.

Por outro lado, a existência de normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias, são requisitos para a realização de testes de hipóteses. Assim, haja vista o atendimento desses dois requisitos, os valores de RMSVA coletados em segmentos de 240 m, foram então submetidos ao Teste t de *Student* (com 95% de confiabilidade). O Apêndice N apresenta os detalhes dos resultados obtidos, enquanto o Quadro 6 mostra uma síntese desses resultados considerando as duas situações de filtragem. Observa-se que em ambos os casos, não houve diferença estatística para as RMSVA's do ponto de vista da fixação do suporte, tipo de veículo e velocidade operacional.

Quadro 6 – Síntese dos Testes t de *Student* para segmentos de 240 m de comprimento.

Hipóteses avaliadas	Filtragem 0.5 Hz a 20 Hz	Filtragem 0.5 Hz
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio com suporte no para-brisa</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up com suporte no para-brisa</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio com suporte na saída de ar</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up com suporte na saída de ar</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam as posições de suporte (para-brisa e saída de ar) dos smartphones?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h), quando se comparam as <u>posições de suporte</u> (para-brisa e saída de ar) dos smartphones?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas com o <u>smartphone apoiado no para-brisa</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam os veículos (<u>veículo de passeio e pick-up</u>) utilizados?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas com o <u>smartphone apoiado na saída do ar</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam os veículos (<u>veículo de passeio e pick-up</u>) utilizados?	Não	Não

Fonte: Autora, 2022.

Os valores de RMSVA levantados em segmentos com 60 m de comprimento, não apresentaram distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Então se utilizou o teste Mann-Whitney para a análise de hipóteses. O Apêndice O apresenta o detalhamento dos resultados, enquanto o Quadro 7 mostra uma síntese desses resultados considerando as duas situações de filtragem. Observa-se que em ambos os casos, não houve diferença estatística para as acelerações verticais do ponto de vista da fixação do suporte, tipo de veículo e velocidade operacional.

Quadro 7 – Síntese dos Testes *Mann-Whitney* para segmentos com 60 m de comprimento.

Hipóteses avaliadas	Filtragem 0.5 Hz a 20 Hz	Filtragem 0.5 Hz
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio com suporte no para-brisa</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up com suporte no para-brisa</u> , quando se comparam as velocidades operacionais (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio com suporte na saída de ar</u> , quando se comparam as velocidades de operacionais (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up com suporte na saída de ar</u> , quando se comparam as velocidades de operacionais (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h)?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas no <u>veículo de passeio</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam as posições de suporte (<u>para-brisa e saída de ar</u>) dos smartphones?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas na <u>pick-up</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h, 45 km/h e 55 km/h), quando se comparam as posições de suporte (<u>para-brisa e saída de ar</u>) dos smartphones?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas com o <u>smartphone apoiado no para-brisa</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam os veículos (veículo de passeio e <u>pick-up</u>) utilizados?	Não	Não
Existe diferença significativa entre as acelerações medidas com o <u>smartphone apoiado na saída do ar</u> a uma dada velocidade (25 km/h, 35 km/h e 45 km/h), quando se comparam os veículos (veículo de passeio e <u>pick-up</u>) utilizados?	Não	Não

4.4.3 Análises de correlação e regressão linear

A partir dos valores de RMSVA filtrados, se avaliou a existência de correlação estatística entre essa e as outras variáveis (velocidade operacional, fixação do suporte do smartphone, IRI, IGG). Também foram avaliados os modelos estatísticos obtidos mediante regressão linear para previsão do IRI e do IGG a partir dos valores de RMSVA, velocidade operacional e fixação do suporte do smartphone. Mais detalhes no Apêndice P.

Para realizar as análises de correlação e regressão linear, os dados das variáveis dependentes (IRI e IGG) devem ser independentes, apresentar distribuição normal (Teste de Shapiro-Wilk) e variância constante (Teste de Levene). Neste trabalho, os valores de IRI e IGG que não apresentavam distribuição normal, foram submetidos a transformação mediante procedimento de Box-Cox e avaliados novamente pelo Teste de Shapiro-Wilk.

4.4.3.1 Análise do IGG

Os valores de IGG calculados não apresentaram variância constante, portanto, não foi possível a realização das análises de regressão e correlação, ao não cumprir com a premissa.

4.4.3.2 Análise do IRI

Nesta análise foram considerados valores de IRI e RMSVA calculados para segmentos com 240 m de comprimento, e posteriormente valores de IRI e RMSVA obtidos em segmentos consecutivos de 60 m de comprimento até ser alcançado o comprimento total de 240 m.

Análise para segmentos com 240 m de comprimento

Os testes de hipóteses realizados anteriormente, identificaram a inexistência de diferença estatística para as RMSVA's medidas com diferentes velocidades operacionais, medidas com diferentes tipos de fixação do suporte do smartphone e medidas com diferentes veículos. Assim, inicialmente todas as RMSVA's obtidas foram reunidas para a análise de regressão linear com a variável dependente IRI. Nessa situação, se constatou que os valores de IRI não apresentaram distribuição normal, mesmo após transformação com o procedimento de Box-Cox.

Na sequência, foram realizadas novas análises considerando separadamente, o comportamento do IRI para cada velocidade operacional, e sem distinção entre o tipo de fixação do smartphone e sem distinção entre tipo de veículo. Nessa nova configuração, somente os valores de IRI para velocidades de 25 km/h e 35 km/h apresentaram distribuição normal e variância constante. As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados obtidos para as regressões lineares considerando os dois casos de filtragem. Se observou correlação muito forte entre o IRI e o RMSVA, enquanto nos modelos estatísticos obtidos, a RMSVA conseguiu explicar, em média, 96% das variações do IRI. Também se constatou comportamento semelhante considerando a diferença de filtragem.

Tabela 15 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 a 20 Hz) para segmento único com 240 m de comprimento.

Velocidade (km/h)	Equação	Valor-p	R ²	R
25	IRI=0.763*RMSVA	0.000	0.970	0.985
35	IRI=0.657*RMSVA	0.000	0.968	0.984

Não houve influência do tipo de veículo, nem do tipo de fixação do smartphone.

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 16 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 Hz) para segmento único com 240 m de comprimento.

Velocidade (km/h)	Equação	Valor-p	R ²	R
25	IRI=0.761*RMSVA	0.000	0.971	0.985
35	IRI=0.613*RMSVA	0.000	0.955	0.977

Não houve influência do tipo de veículo, nem do tipo de fixação do smartphone.

Fonte: Autora, 2022.

Análise para trechos com segmentos consecutivos com 60 m de comprimento

Os testes de hipóteses realizados anteriormente identificaram inexistência de diferença estatística para as RMSVA's medidas com diferentes velocidades operacionais, medidas com diferentes tipos de fixação do suporte do smartphone e medidas com diferentes veículos. Assim, inicialmente todas as RMSVA's obtidas foram reunidas para a análise de regressão linear com a variável dependente IRI. Nessa situação, constatou-se que os valores de IRI não apresentaram distribuição normal, mesmo após transformação com o procedimento de Box-Cox.

Na sequência, foram realizadas novas análises considerando separadamente, o comportamento do IRI vs RMSVA para cada velocidade operacional, e sem distinção entre o tipo de fixação do suporte do smartphone e sem distinção entre tipo de veículo. Novamente foi constatado que os valores de IRI não apresentaram distribuição normal, mesmo após transformação com o procedimento de Box-Cox.

Continuando, foram realizadas novas análises considerando separadamente, o comportamento do IRI vs RMSVA para cada velocidade operacional e para cada tipo de veículo, sem distinção entre o tipo de fixação do suporte do smartphone. Agora, constatou-se que os valores de IRI para respectivamente, 25, 35 e 45 km/h, não apresentaram distribuição normal (mesmo após transformação Box-Cox), enquanto para 55 km/h os valores de IRI não apresentaram variância constante para o veículo pick-up.

A seguir, foram efetuadas análises adicionais considerando separadamente, o comportamento do IRI vs RMSVA para cada velocidade operacional, para cada tipo de veículo e para cada tipo de fixação do suporte do smartphone. Se observou para os dois tipos de veículos e para os dois tipos de fixação do smartphone, que os valores de IRI para respectivamente, 25, 35 e 45 km/h apresentaram distribuição normal, porém não houve variância constante. Para a velocidade operacional de 55 km/h, os valores de IRI apresentaram normalidade e variância constante para o veículo pick-up e smartphones fixados ao para-brisa e na saída de ar, respectivamente. Para o veículo de passeio, nessa velocidade operacional, os valores de IRI apresentaram normalidade e variância constante apenas para o smartphone fixado na saída de ar.

As análises de regressão apresentadas nas Tabelas 17 e 18 mostram correlação moderada a forte entre o IRI e a RMSVA. Considerando os dois casos de filtragem, para o veículo pick-up, os modelos estatísticos obtidos indicam que a RMSVA conseguiu explicar, no máximo, 64% das variações do IRI, enquanto para o veículo de passeio, com o smartphone instalado na saída de ar, a RMSVA conseguiu explicar até 81% das variações do IRI.

Tabela 17 – Regressão linear do IRI vs RMSVA (0.5 a 20 Hz) a cada 60 m.

Veículo	Velocidade (km/h)	Suporte	Equação	Valor-p	R ²	R
Pick-up	55	Saída de ar	IRI=2.16*RMSVA	0.039	0.476	0.690
Pick-up	55	Para-brisa	IRI=1.99*RMSVA	0.009	0.643	0.802
Veículo de passeio	55	Saída de ar	IRI=2.09*RMSVA	0.039	0.806	0.898

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 18 – Regressão linear do IRI a partir da RMSVA (0.5 Hz) a cada 60 m.

Veículo	Velocidade (km/h)	Suporte	Equação	Valor-p	R ²	R
Pick-up	55	Saída de ar	IRI=2.12*RMSVA	0.039	0.476	0.690
Pick-up	55	Para-brisa	IRI=1.97*RMSVA	0.009	0.648	0.805
Veículo de passeio	55	Saída de ar	IRI=2.04*RMSVA	0.037	0.813	0.901

Fonte: Autora, 2022.

4.4.4 Síntese dos resultados obtidos

Em face do que foi apresentado ao longo do trabalho, pode-se concluir, quanto à avaliação funcional, os seguintes pontos (Tabela 19):

- A determinação do IGG (Índice de Gravidade Global) na Av. Araucária, Av. José Maria de Brito e Av. Pedro Basso, obteve respectivamente, conceito regular, péssimo e ótimo.

- A irregularidade longitudinal na Av. Araucária e Av. Pedro Basso foi classificada como boa, enquanto na Av. José Maria de Brito como péssima. As medições das irregularidades longitudinais com o equipamento tipo Dipstick demandaram interrupção do tráfego na faixa de estudo durante um período considerável de tempo.

- A macrotextura, medida com o ensaio da mancha de areia, na Av. Araucária e na Av. José Maria de Brito foi classificada como muito grosseira, enquanto na Av. Pedro Basso foi classificada como média. Nenhum trecho atendeu a profundidade média sugerida nos manuais do DNIT.

Tabela 19 – Síntese da avaliação funcional.

Parâmetro	Av. Araucária	Av. José Maria de Brito	Av. Pedro Basso
IGG	Regular	Péssimo	Ótimo
Irregularidade longitudinal	Boa	Péssima	Péssima
Macrotextura	Grosseira	Grosseira	Média

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir dos resultados e sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao uso de smartphones para a avaliação funcional de pavimentos urbanos.

Nas avaliações com os smartphones, avaliou-se o potencial deste equipamento, uma vez que, apesar de seus benefícios comprovados na literatura, ainda há a necessidade de melhorar o tratamento dos sinais para evitar resultados ambíguos.

Considerando as duas situações de filtragem, pode-se concluir que:

- Os ângulos de Pitch e Roll obtidos e utilizados para transformar as coordenadas do referencial de navegação local em coordenadas do referencial do veículo (body frame) apresentaram baixos valores de desvio padrão;

- Nos três trechos de estudo, houve maior influência do ruído do veículo de passeio em relação ao da pick-up. Além disso, o ruído dos smartphones fixados na saída de ar foi superior ao dos smartphones fixados no para-brisa. Além disso, quanto maior a velocidade operacional dos veículos, menor a influência no ruído;

- Os valores de RMSVA obtidos mostraram repetitividade aceitável para um SGPU em nível de rede. Nos dois tipos de veículos utilizados, há uma tendência de o coeficiente de variação aumentar com o aumento da velocidade operacional. Além disso, houve maior variabilidade de RMSVA's (e smartphone fixado na saída de ar) na Av. José Maria de Brito apresentou os maiores valores de IGG e IRI. Por outro lado, os menores coeficientes de variação ocorreram na Av. Pedro Basso, a qual tinha o menor valor de IGG; e

- Nos três trechos do estudo, observou-se que não houve diferença estatística para as RMSVA's medidas do ponto de vista da fixação do suporte, tipo de veículo e velocidade operacional.

Já quanto a análises de correlação e regressão linear entre os valores de RMSVA filtrados pode-se concluir que:

- Os valores de IGG calculados não apresentaram variância constante. Portanto, não foi possível a realização de análises de correlação e regressão linear;

- Considerando segmentos com 240 m de comprimento, houve uma correlação muito forte entre o IRI e o RMSVA, independentemente do tipo de veículo e do tipo de fixação do smartphone. Nos modelos estatísticos obtidos, a RMSVA conseguiu explicar, em média, 96% das variações do IRI nas velocidades operacionais entre 25 e 35 km/h. Também se constatou comportamento semelhante do ponto de vista dos dois intervalos de filtragem;

- Assim, para segmentos de maior comprimento, houve correlação muito forte nas menores velocidades operacionais (25 e 35 km/h), sem influência do tipo de veículo nem do tipo de fixação do suporte do smartphone;

- Do ponto de vista dos segmentos com 60 m de comprimento, se constatou para os dois intervalos de filtragem e veículo pick-up (smartphone no para-brisa), que nos modelos estatísticos obtidos, a RMSVA conseguiu explicar, no máximo, 64% das variações do IRI em velocidade operacional de 55 km/h, enquanto para o veículo de passeio (smartphone na saída de ar), na mesma velocidade operacional, a RMSVA conseguiu explicar até 81% das variações do IRI;

- Desta forma, para segmentos de menor comprimento, houve forte correlação apenas na maior velocidade operacional (55 km/h), com o veículo de passeio e o smartphone posicionado na saída de ar; e

Nesta pesquisa também foram desenvolvidos scripts em Python (Apêndices A a D), os quais permitem um tratamento das acelerações de maneira mais eficaz. Além disso, também se produziu um programa em LabVIEW (Apêndice Q) para facilitar a utilização por terceiros.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A seguir estão algumas sugestões para estudos futuros relacionados ao uso de smartphones para avaliação funcional dos pavimentos urbanos:

- Tendo em vista a complexidade da malha viária urbana sugere-se que sejam realizados estudos de avaliação objetiva com o *Pavement Condition Index* (PCI), pois no cálculo são considerados os tipos de defeitos, os níveis de severidade, a área afetada, além da quantidade de defeitos existentes na seção avaliada;
- Calcular os parâmetros do sistema (massa suspensa, constante elástica da mola do pneu, constante do amortecedor, massa não suspensa, constantes elásticas das molas, constante do amortecedor) dos veículos para o IRI, por meio de uma análise dinâmica das acelerações (x, y e z) coletadas nesta pesquisa;
- Usar o método ML para processar os dados de sinal de sensores embutidos em smartphones, já que é amplamente utilizado em raciocínio automatizado, reconhecimento de padrões, visão computacional, etc.;
- Realizar a análise com outros veículos que se encaixam no conceito de micromobilidade: bicicletas, skate e monociclos elétricos.

REFERÊNCIAS

ALEADELAT, W. *et al.* Evaluation of Pavement Roughness Using an Android-Based Smartphone. **Journal of Transportation Engineering Part B- Pavements**, v. 144, n. 3, p. 04018033-1- 04018033–9, 2018.

ALESSANDRONI, G. *et al.* **SmartRoadSense: Collaborative Road Surface Condition Monitoring SmartRoadSense: Collaborative Road Surface Condition Monitoring**. Proceedings of the UBICOMM. **Anais...**Rome: 2014.

ALMEIDA, L. C. DE. **Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2018.

ALVAREZ, J. A. J; ABREUU, T. P D.; ORLANDI, N. Z. T. **Infraestrutura Dos Transportes No Brasil**. 1. ed. Santos: FPR/PEAD, 2017.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **AASHTO M 328-14: Standard Equipment Specification for Inertial Profiler**, Washington, D.C., Estados Unidos: AASHTO, 2014.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **AASHTO R 40-10: Standard Practice for Measuring Pavement Profile Using a Rod and Level**, Washington, D.C., Estados Unidos: ASTM International, 2010.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **AASHTO R 43-13: Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements**, Washington, D.C., Estados Unidos: ASTM International, 2013.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **AASHTO R 54-14: Standard Practice for Accepting Pavement Ride Quality when Measured Using Inertial Profiling Systems**, Washington, D.C., Estados Unidos: ASTM International, 2014.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **AASHTO R 56-14: Standard Practice for Certification of Inertial Profiling Systems**, Washington, D.C., Estados Unidos: ASTM International, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1082 - 90: Standard Test Method for Measurement of vehicular response to traveled surface roughness**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2017b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1777-09: Standard Guide for Prioritization of Data Needs for Pavement Management**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1926-08: Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from**

Longitudinal Profile, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 2560-17: Standard Specification for Data Format for Pavement Profile**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2017a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 867-06: Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 950/950M-09: Standard Test Method for Measuring Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 965-96: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique**, Washington, D.C., Estados Unidos: ASTM International, 1996.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1082-90: Standard Test Method for Measurement of Vehicular Response to Traveled Surface Roughness**. West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method. 1**, West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM Internacional, 1995.

ANDROID APPLICATION. **AndroSensor**. Google Play Store, 2015. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fivasim.androsensor&hl=pt_BR&gl=US>. Acesso em: 15 jun. 2021.

APS, M. **CLASSIFICAÇÃO DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO PELO ÍNDICE COMBINADO IFI-INTERNATIONAL FRICTION INDEX PARA REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS**. Tese (Doutorado)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. 5.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAPTISTA, C. N. **Pavimentação: Ensaio Fundamentais para a Pavimentação Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis**. 2 ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

BARELLA, R. M. **Contribuição Para a Avaliação Da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros inerciais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte). Universidade de São Paulo, 2008.

BASAVARAJU, A. *et al.* A Machine Learning Approach to Road Surface Anomaly Assessment Using Smartphone Sensors. **IEEE Sensors Journal**, v. 20, n. 5, p. 2635–2647, 1 mar. 2020.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. **Rio de Janeiro**, v. 504, 2008.

BERTOLLO, S. AP. M. **Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 1997.

BISCONSINI, D. R. **Avaliação da Irregularidade Longitudinal dos Pavimentos com Dados Coletados por Smartphones**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2016.

BISCONSINI, D. R. *et al.* **Monitoramento da irregularidade longitudinal de pavimentos com dados de smartphones de usuários**. 9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - Pequenas cidades, grandes desafios, múltiplas oportunidades. **Anais...Digital: 2021**.

BLAIR, C. W.; BATES JR, E. G.; DREVINSKY, D. M. Pavement Management for Low-Volume roads. **Transportation Research Record**, n. 1106, 1987.

BOURAHLI, A; JACQUES, M.A.P Práticas de avaliação de pavimentos nos estados de municípios Brasileiros. **Transportes**, n.2, 1997.

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability-Performance Concept**. Highway Research Board Bulletin, No. 250, Estados Unidos, 1960.

CHAVES, J. W. R. *et al.* Análise comparativa da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário em serviço através de aplicativos para smartphone. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 2, p. 1–15, 2020.

CHUANG, T. Y.; PERNG, N. H.; HAN, J. Y. Pavement performance monitoring and anomaly recognition based on crowdsourcing spatiotemporal data. **Automation in Construction**, v. 106, 1 out. 2019.

CIBERMÉTRICA. **Manual de Operação do Medidor Portátil de Perfil**. São Paulo, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias, 2018**.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 173/86: Método de Nível e Mira para calibração de Sistemas Medidores de Irregular de Tipo Resposta**, Ministério dos Transportes, Espírito Santo, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 164/94: Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integrados IPR/USP e Maysmeter)**, Ministério dos Transportes, Espírito Santo, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter**, Rio de Janeiro, Brasil, 1994c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 229/94: Manutenção de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento- Integrador IPR/USP e Maysmeter**, Rio de Janeiro, Brasil, Ministério dos Transportes, 1994b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003-TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia**. Rio de Janeiro, 2003a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos-Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 009/2003-PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos-Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de conservação rodoviária**. Rio de Janeiro, 2005.

DONG, J. *et al.* A framework of pavement management system based on IoT and big data. **Advanced Engineering Informatics**, v. 47, 1 jan. 2021.

DOUANGPHACHANH, V.; ONEYAMA, H. A study on the use of smartphones under realistic settings to estimate road roughness condition. **Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking**, v. 2014, n. 1, 2014.

DOUANGPHACHANH, V.; ONEYAMA, H. **Using Smartphones to Estimate Road Pavement Condition**. International Symposium for Next Generation Infrastructure. **Anais...Wollongong**: 2013.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2001.

FERNANDES JUNIOR, J. L.; PANTIGOSO, J. F. G. Uso de los Sistemas de Información Geográfica para la Gerencia de Pavimentos Urbanos. In: **El Transporte en el Siglo XXI**. Barcelona: Artes Gráficas Torres, S. A, 1998, v. 2.

FORSLÖF, L.; JONES, H. Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smart Phones. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 9, n. 4, p. 485–496, 2015.

FREITAS, F. **Celular com tela de 90 Hz ou 120 Hz? Saiba qual é a diferença.** Disponível em: <<https://canaltech.com.br/hardware/celular-com-tela-de-90-hz-e-120-hz-diferenca/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of vehicle dynamics (R-114)**. SAE, International, 1992

HAAS, R. C. G.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. P. **Modern Pavement Management**. Editora Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1994.

HEYN, A. T. **Um equipamento simples para avaliação de irregularidade longitudinal.** Reunião Anual de Pavimentação. **Anais...**Maceió: 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631-1997: Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to whole body vibration - part 1: general requirement.** Geneva, 1997.

ISLAM, S. *et al.* Measurement of Pavement Roughness Using Android-Based Smartphone Application. **Transportation Research Record**, v. 2457, n. 1, p. 30–38, 2014.

KHEIRATI, A.; GOLROO, A. Low-cost infrared-based pavement roughness data acquisition for low volume roads. **Automation in Construction**, v. 119, p. 103363, 2020.

LÁZARO, B. D. O. *et al.* Avaliação das condições de superfície de pavimentos urbanos com o auxílio de ferramentas de análise espacial. **Transportes**, v. 30, n. 1, p. 1–17, 2022.

LEKSHMIPATHY, J.; SAMUEL, N. M.; VELAYUDHAN, S. Vibration vs. vision: best approach for automated pavement distress detection. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 13, n. 4, p. 402–410, 1 jul. 2020.

MEDNIS, A.; STRAZDINS, G.; ZVIEDRIS, R. **Real Time Pothole Detection using Android Smartphones with Accelerometers.** International conference on distributed computing in sensor systems and workshops (DCOSS). **Anais...**Barcelona: IEEE, 2011.

MIRTABAR, Z.; GOLROO, A.; MAHMOUDZADEH, A. Development of a crowdsourcing-based system for computing the international roughness index. **International Journal of Pavement Engineering**, p. 1–10, 2020.

MULITERNO, B. K.; JUNIOR, F. M.; PRAVIA, Z. M. C. Avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento sobre pontes usando acelerações medidas por smartphones. **TRANSPORTES**, v. 27, n. 2, p. 182–193, 2019.

PERAKA, N. S. P.; BILIGIRI, K. P. Pavement asset management systems and technologies: A review. **Automation in Construction**, v. 119, n. June, p. 103336, 2020.

QUEIROZ, C. A. V. **A Procedure for Obtaining a Stable Roughness Scale from Rod and Level Profiles**. Working document 22, Research of Internationships between Costs of Highway Construction, Maintenance, and Utilization GEIPOT, Brazil, 1981.

RANYAL, E.; SADHU, A.; JAIN, K. **Road Condition Monitoring Using Smart Sensing and Artificial Intelligence: A Review Sensors MDPI**, 2022.

SANDAMAL, R. M. K.; PASINDU, H. R. Applicability of smartphone-based roughness data for rural road pavement condition evaluation. **International Journal of Pavement Engineering**, p. 1–10, 2020.

SAUERWEIN, P. M.; SMITH, B. L. **Investigation of the Implementation of a Probe-Vehicle Based Pavement Roughness Estimation**. Virginia, Virginia Transportation Council, 2011.

SAYERS, M. W.; GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O. **Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements**. Washington DC: World Bank, 1986.

SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. **The little book of profiling**. University of Michigan, 1998.

SHAHIN, M.Y. **Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots**. 2. ed., Springer, New York, 2005.

SHON, H.; LEE, J. Integrating multi-scale inspection, maintenance, rehabilitation, and reconstruction decisions into system-level pavement management systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 131, 1 out. 2021.

SMITH, K.; RAM, P. **Measuring and specifying pavement smoothness**. Washington, D.C., Federal Highway Administration, 2016.

SOARES, V. A. DE M.; GONÇALVES, A. P. B. B. Centralidades e sintaxe espacial: variáveis para a compreensão da acessibilidade urbana. In: **Projeto e cidade: centralidade e mobilidade urbana**. 2014.

SOUZA, V. M. A.; GIUSTI, R.; BATISTA, A. J. L. Asfalt: A low-cost system to evaluate pavement conditions in real-time using smartphones and machine learning. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 51, p. 121–137, 2018.

STANIEK, M. Road pavement condition diagnostics using smartphone-based data crowdsourcing in smart cities. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 8, n. 4, p. 554–567, 1 ago. 2021.

STUCHI, E. T. **Interferencias de obras de serviço de água e esgoto sobre o desempenho de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de

São Paulo, 2005.

THYAGARAJAN, S. Pavement management systems. **The Handbook of Highway Engineering**, p. 524–530, 1 jan. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA. **Frota Oficial da UNILA**. Disponível em: <<https://portal.unila.edu.br/proagi/coinfra/transparencia/frota-oficial-da-unila>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

WANG, W.; GUO, F. **RoadLab: Revamping Road Condition and Road Safety Monitoring by Crowdsourcing with Smartphone App**. Transportation Research Board 95rd Annual Meeting. **Anais...** Washington DC: 2016.

WORLD HIGHWAYS MAGAZINE. **A importância da manutenção de estradas | Rodovias Mundiais**. Disponível em: <https://www-worldhighways-com.translate.google.com/wh8/wh9/wh10/feature/importance-road-maintenance?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=wapp>. Acesso em: 28 jun. 2022.

XIAOMI BRASIL. **Redmi Note 10 5G**. Disponível em: <<https://www.mi.com/br/product/redmi-note-10-5g/specs>>. Acesso em: 25 jun. 2022a.

XIAOMI BRASIL. **Redmi Note 9**. Disponível em: <<https://www.mi.com/br/redmi-note-9/specs/>>. Acesso em: 25 jun. 2022b.

YEGANEH, S. F. *et al.* Validation of smartphone-based pavement roughness measures. **arXiv preprint**, 2019.

ZANCHETTA, F. **Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2017.

ZANG, K. *et al.* Assessing and mapping of road surface roughness based on GPS and accelerometer sensors on bicycle-mounted smartphones. **Sensors (Switzerland)**, v. 18, n. 3, 19 mar. 2018.

ZHAO, B.; NAGAYAMA, T.; XUE, K. Road profile estimation, and its numerical and experimental validation, by smartphone measurement of the dynamic responses of an ordinary vehicle. **Journal of Sound and Vibration**, v. 457, p. 92–117, 29 set. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A: SCRIPT RÚIDO

```

1 import os
2 import matplotlib.mlab as mlab
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import numpy as np
5 import pandas as pd
6 from cycler import cycler
7 from matplotlib.ticker import MultipleLocator
8 import scipy.signal
9
10 locale.setlocale(locale.LC_NUMERIC, "pt_BR")
11
12 ##### PARAMETROS DE PLOTS #####
13
14 plot_params = {
15     "figure.figsize": (7, 7),
16     # 'text.usetex' : True,
17     "font.size": 12,
18     "font.family": "Arial",
19     "legend.fancybox": True,
20     "legend.loc": "upper right",
21     "legend.framealpha": None,
22     "legend.edgecolor": "black",
23     "axes.autolimit_mode": "round_numbers",
24     "xtick.direction": "out",
25     "ytick.direction": "out",
26     "xtick.major.size": 5.0,
27     "xtick.minor.size": 3.0,
28     "ytick.major.size": 5.0,
29     "ytick.minor.size": 3.0,
30     "axes.grid": True,
31     "axes.prop_cycle": cycler("color", "bgrcmyk"),
32     "grid.linestyle": "dotted",
33     "grid.linewidth": 0.5,
34     "lines.linewidth": 0.5,
35     "lines.markersize": 3,
36     "savefig.dpi": 150,
37     "axes.formatter.use_locale": True,
38 }
39 plt.rcParams.update(plot_params)
40
41 #####
42
43 ##### DIRETORIOS #####
44
45 BASE_DIR = os.path.dirname(__file__)

```

```

46 RMSVA_DIR = os.path.join(BASE_DIR, "rmsva")
47
48 file_names = []
49 file_paths = []
50 for file in os.listdir(BASE_DIR):
51     if file.endswith(".csv"):
52         file_names.append(file)
53         file_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, file))
54 file_names = np.array(file_names)
55 file_paths = np.array(file_paths)
56
57 folder_names = []
58 for file_name in file_names:
59     folder_names.append(file_name.replace(".csv", ""))
60 folder_names = np.array(folder_names)
61
62 folder_paths = []
63 for folder_name in folder_names:
64     folder_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, folder_name))
65     folder_path = os.path.join(BASE_DIR, folder_name)
66     if not os.path.exists(folder_path):
67         os.mkdir(folder_path)
68 folder_paths = np.array(folder_paths)
69
70 if not os.path.exists(RMSVA_DIR):
71     os.mkdir(RMSVA_DIR)
72
73 #####
74
75 ##### VARIAVEIS #####
76
77 Fa = 100 # frecuencia de amostragem
78 Fc = 1.5 # freq. corte en Hz
79 skip_start = 35 # datos saltados al principio
80 NFFT = 2 ** 11 # numero de cosenos y senos
81 velocidade_op = 55 # km/h
82 distancia = 240 # m
83 theta = -0.406226 # radianes PITCH
84 sigma = -0.040797333 # radianes ROLL
85
86 #####
87
88 ##### CONSTANTES #####
89
90 T = 1 / Fa # periodo
91 # N = int(distancia / velocidade_op * 3.6 / T)
92 N = 2000

```

```

93 t_60 = 60 / (velocidade_op / 3.6)
94 N_60 = int(t_60 / T)
95
96 C_theta = np.matrix(
97     [[np.cos(theta), 0, -np.sin(theta)], [0, 1, 0], [np.sin(theta), 0,
98         np.cos(theta)]]
99 )
100 C_sigma = np.matrix(
101     [[1, 0, 0], [0, np.cos(sigma), np.sin(sigma)], [0, -np.sin(sigma),
102         np.cos(sigma)]]
103 )
104 C_n_b = np.matmul(C_theta, C_sigma).transpose()
105
106 #####
107 ##### FUNCOES #####
108 contador = 1
109 rmsva_array = np.zeros((len(file_paths), 1))
110
111 for file_path in file_paths:
112     data_frame = pd.read_csv(file_path, delimiter=";", header=1)
113     data_frame_values = data_frame.values
114     ax = data_frame_values[:, 0]
115     ay = data_frame_values[:, 1]
116     az = data_frame_values[:, 2]
117     ax = ax[skip_start : N + skip_start]
118     ay = ay[skip_start : N + skip_start]
119     az = az[skip_start : N + skip_start]
120     t = np.linspace(0, N * T, N)
121
122     data_pitch_roll = np.zeros((len(ax), 3))
123     data_pitch_roll[:, :] = np.NaN
124
125     for k in range(len(ax)):
126         a_matrix = np.matrix([[az[k]], [ax[k]], [ay[k]]])
127         data_pitch_roll[k] = np.array(np.matmul(C_n_b, a_matrix).
128             transpose())
129
130     ay_pr = data_pitch_roll[:, 2]
131     rmsva = np.sqrt(np.sum((ay_pr - np.mean(ay_pr)) ** 2) / N)
132
133     rmsva_array[contador - 1] = [
134         rmsva,
135     ]
136
137 rmsva_res = pd.DataFrame(
138     np.array(
139         [

```

```
137         [
138             rmsva,
139         ]
140     ]
141 ),
142     columns=[
143         "rmsva",
144     ],
145 )
146     contador += 1
147 rmsva_complete = pd.DataFrame(
148     data = rmsva_array,
149     columns=[
150         "rmsva",
151     ],
152 )
153 rmsva_complete.to_csv("%s/rmsva_complete.csv" % (RMSVA_DIR), index=False
154 )
```

APÊNDICE B: SCRIPT CPSD

```

1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 from cycler import cycler
4 from matplotlib.ticker import MultipleLocator
5
6 locale.setlocale(locale.LC_NUMERIC, "pt_BR")
7
8 #####
9 plot_params = {
10     "figure.figsize": (6, 6),
11     # 'text.usetex' : True,
12     "font.size": 12,
13     "font.family": "Arial",
14     "legend.fancybox": True,
15     "legend.loc": "upper right",
16     "legend.framealpha": None,
17     "legend.edgecolor": "black",
18     "axes.autolimit_mode": "round_numbers",
19     "xtick.direction": "out",
20     "ytick.direction": "out",
21     "xtick.major.size": 5.0,
22     "xtick.minor.size": 3.0,
23     "ytick.major.size": 5.0,
24     "ytick.minor.size": 3.0,
25     "axes.grid": True,
26     "axes.prop_cycle": cycler("color", "bgrcmyk"),
27     "grid.linestyle": "dotted",
28     "grid.linewidth": 0.5,
29     "lines.linewidth": 0.5,
30     "lines.markersize": 3,
31     "savefig.dpi": 150,
32     "axes.formatter.use_locale": True,
33 }
34 plt.rcParams.update(plot_params)
35
36 BASE_DIR = os.path.dirname(__file__)
37
38 file_names = []
39 file_paths = []
40 for file in os.listdir(BASE_DIR):
41     if file.endswith(".csv"):
42         file_names.append(file)
43         file_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, file))
44 file_names = np.array(file_names)
45 file_paths = np.array(file_paths)

```

```

46
47 folder_names = []
48 for file_name in file_names:
49     folder_names.append(file_name.replace(".csv", ""))
50 folder_names = np.array(folder_names)
51
52 folder_paths = []
53 for folder_name in folder_names:
54     folder_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, folder_name))
55     folder_path = os.path.join(BASE_DIR, folder_name)
56     if not os.path.exists(folder_path):
57         os.mkdir(folder_path)
58 folder_paths = np.array(folder_paths)
59 #####
60
61 Fs = 100 # frecuencia en Hz
62 skip_start = 0.2 # salto de 20% al inicio
63 skip_end = 0.05 # salto de 5% al final
64 NFFT = 2**11 # numero de cosenos y senos
65
66 def cpsd(file_path, Fs, skip_start, skip_end, NFFT):
67     data_frame = pd.read_csv(file_path, delimiter=";", header=1)
68     data_frame_values = data_frame.values
69
70     y = data_frame_values[:,1]
71     y = y[int(skip_start*len(y)):-int(skip_end*len(y))]
72     N = len(y)
73     T = 1/Fs
74     t = np.linspace(0, N*T, N)
75     y = y-np.mean(y)
76     Pxy, F = mlab.csd(y, y, NFFT=NFFT, Fs=Fs, detrend="mean", noverlap=
77     NFFT/2, scale_by_freq=True)
78
79     return Pxy, F, t, y
80
81 contador = 1
82 for file_path in file_paths:
83     Pxy, F, t, y = cpsd(file_path, Fs, skip_start, skip_end, NFFT)
84
85     fig, ax = plt.subplots(2)
86     fig.suptitle("Amostra %d" % (contador))
87
88     ax[0].plot(t,y)
89     ax[0].set_xlim(0, max(t))
90     ax[0].set_xlabel("Tempo (s)")
91     ax[0].set_ylabel("Aceleración  $\frac{m}{s^2}$ ")
92     ax[0].grid(which='both', linestyle='-', linewidth='0.1', color='

```

```

    black')
92
93     ax[1].semilogy(F,abs(Pxy))
94     ax[1].set_xlim(0, max(F))
95     ax[1].set_xlabel("Frequência  $\mathrm{(Hz)}$ ")
96     ax[1].set_ylabel("Power / Frequência  $\mathrm{(dB/Hz)}$ ")
97     ax[1].xaxis.set_minor_locator(MultipleLocator(1))
98     ax[1].set_yscale('logit')
99     ax[1].grid(which='both', linestyle='-', linewidth='0.1', color='
black')
100
101     fig.tight_layout()
102     plt.savefig("%s/cpsd_%s.svg" % (file_path[:-4], contador))
103     plt.close()
104     contador += 1
105
106 contador = 1
107 for file_path in file_paths:
108     Pxy, F, t, y = cpsd(file_path, Fs, skip_start, skip_end, NFFT)
109
110     plt.semilogy(F,abs(Pxy), label="Amostra %d" % (contador))
111     plt.axis([0,max(F),None,None])
112     plt.xlabel("Frequência  $\mathrm{(Hz)}$ ")
113     plt.ylabel("Power / Frequência  $\mathrm{(dB/Hz)}$ ")
114     plt.subplot().xaxis.set_minor_locator(MultipleLocator(1))
115     plt.legend(fontsize=8)
116     plt.subplot().set_yscale('logit')
117     plt.grid(which='both', linestyle='-', linewidth='0.1', color='black'
)
118     contador += 1
119
120 plt.savefig("%s/cpsd_completo.svg" % (BASE_DIR), bbox_inches="tight")
121 plt.close()

```

APÊNDICE C: SCRIPT BANDPASS

```

1 import os
2 import matplotlib.mlab as mlab
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import numpy as np
5 import pandas as pd
6 from cycler import cycler
7 from matplotlib.ticker import MultipleLocator
8 import scipy.signal
9
10 locale.setlocale(locale.LC_NUMERIC, "pt_BR")
11
12 ##### PARAMETROS DE PLOTS #####
13
14 plot_params = {
15     "figure.figsize": (7, 7),
16     # 'text.usetex' : True,
17     "font.size": 12,
18     "font.family": "Arial",
19     "legend.fancybox": True,
20     "legend.loc": "upper right",
21     "legend.framealpha": None,
22     "legend.edgecolor": "black",
23     "axes.autolimit_mode": "round_numbers",
24     "xtick.direction": "out",
25     "ytick.direction": "out",
26     "xtick.major.size": 5.0,
27     "xtick.minor.size": 3.0,
28     "ytick.major.size": 5.0,
29     "ytick.minor.size": 3.0,
30     "axes.grid": True,
31     "axes.prop_cycle": cycler("color", "bgrcmyk"),
32     "grid.linestyle": "dotted",
33     "grid.linewidth": 0.5,
34     "lines.linewidth": 0.5,
35     "lines.markersize": 3,
36     "savefig.dpi": 150,
37     "axes.formatter.use_locale": True,
38 }
39 plt.rcParams.update(plot_params)
40
41 #####
42
43 ##### DIRETORIOS #####
44
45 BASE_DIR = os.path.dirname(__file__)

```

```

46 RMSVA_DIR = os.path.join(BASE_DIR, "rmsva")
47
48 file_names = []
49 file_paths = []
50 for file in os.listdir(BASE_DIR):
51     if file.endswith(".csv"):
52         file_names.append(file)
53         file_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, file))
54 file_names = np.array(file_names)
55 file_paths = np.array(file_paths)
56
57 folder_names = []
58 for file_name in file_names:
59     folder_names.append(file_name.replace(".csv", ""))
60 folder_names = np.array(folder_names)
61
62 folder_paths = []
63 for folder_name in folder_names:
64     folder_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, folder_name))
65     folder_path = os.path.join(BASE_DIR, folder_name)
66     if not os.path.exists(folder_path):
67         os.mkdir(folder_path)
68 folder_paths = np.array(folder_paths)
69
70 if not os.path.exists(RMSVA_DIR):
71     os.mkdir(RMSVA_DIR)
72
73 #####
74
75 ##### VARIAVEIS #####
76
77 Fa = 100 # frequencia de amostragem
78 Fmin = 0.5 # freq. corte minimo em Hz
79 Fmax = 20 # freq. corte maximo em Hz
80 skip_start = 25 # dados saltados al principio
81 velocidade_op = 25 # velocidade operacional em km/h
82 distancia = 240 # distancia em m
83 theta = -0.392164 # radianes PITCH
84 sigma = -0.086935 # radianes ROLL
85
86 #####
87
88 ##### CONSTANTES #####
89
90 T = 1 / Fa # periodo
91 N = int(distancia / velocidade_op * 3.6 / T)
92 t_60 = 60 / (velocidade_op / 3.6)

```

```

93 N_60 = int(t_60 / T)
94
95 C_theta = np.matrix(
96     [[np.cos(theta), 0, -np.sin(theta)], [0, 1, 0], [np.sin(theta), 0,
97         np.cos(theta)]]
98 )
99 C_sigma = np.matrix(
100     [[1, 0, 0], [0, np.cos(sigma), np.sin(sigma)], [0, -np.sin(sigma),
101         np.cos(sigma)]]
102 )
103 C_n_b = np.matmul(C_theta, C_sigma).transpose()
104
105 #####
106 ##### FUNCOES #####
107 def filtro_passa_banda(Fa, Fmax, Fmin, signal):
108     sos = scipy.signal.butter(2, (Fmax, Fmin), "bandpass", fs=Fa, output
109         ="sos")
110     signal_filtered = scipy.signal.sosfilt(sos, signal)
111     return signal_filtered
112 #####
113 ##### PROCEDIMENTO #####
114
115 contador = 1
116 rmsva_array = np.zeros((len(file_paths), 6))
117
118 for file_path in file_paths:
119     data_frame = pd.read_csv(file_path, delimiter=";", header=1)
120     data_frame_values = data_frame.values
121     ax = data_frame_values[:, 0]
122     ay = data_frame_values[:, 1]
123     az = data_frame_values[:, 2]
124     ax = ax[skip_start : N + skip_start]
125     ay = ay[skip_start : N + skip_start]
126     az = az[skip_start : N + skip_start]
127     t = np.linspace(0, N * T, N)
128
129     data_pitch_roll = np.zeros((len(ax), 3))
130     data_pitch_roll[:, :] = np.NaN
131
132     for k in range(len(ax)):
133         a_matrix = np.matrix([[az[k]], [ax[k]], [ay[k]]])
134         data_pitch_roll[k] = np.array(np.matmul(C_n_b, a_matrix).
135             transpose())
136     ay_pr = data_pitch_roll[:, 2]

```

```

136
137     ay_filtrado = filtro_passa_banda(Fa, Fmin, Fmax, ay_pr)
138     rmsva = np.sqrt(np.sum((ay_pr - np.mean(ay_pr)) ** 2) / N)
139     rmsva_filtrado = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado) ** 2) / N)
140     rmsva_filtrado_60 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[:N_60]) ** 2) / N_60
141 )
142     rmsva_filtrado_120 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 : N_60 * 2])
143 ** 2) / N_60)
144     rmsva_filtrado_180 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 * 2 : N_60 *
145 3]) ** 2) / N_60)
146     rmsva_filtrado_240 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 * 3 :]) ** 2)
147 / N_60)
148
149     rmsva_array[contador - 1] = [
150         rmsva,
151         rmsva_filtrado,
152         rmsva_filtrado_60,
153         rmsva_filtrado_120,
154         rmsva_filtrado_180,
155         rmsva_filtrado_240,
156     ]
157
158     rmsva_res = pd.DataFrame(
159         np.array(
160             [
161                 [
162                     rmsva,
163                     rmsva_filtrado,
164                     rmsva_filtrado_60,
165                     rmsva_filtrado_120,
166                     rmsva_filtrado_180,
167                     rmsva_filtrado_240,
168                 ]
169             ]
170         ),
171         columns=[
172             "rmsva",
173             "rmsva_filtrado",
174             "rmsva_filtrado_60",
175             "rmsva_filtrado_120",
176             "rmsva_filtrado_180",
177             "rmsva_filtrado_240",
178         ],
179     )
180
181     np.savetxt("%s/ax_mod_%s.txt" % (file_path[:-4], contador), az)
182     np.savetxt("%s/ay_mod_%s.txt" % (file_path[:-4], contador), ax)

```

```
179     np.savetxt("%s/az_mod_%s.txt" % (file_path[:-4], contador), ay)
180     np.savetxt("%s/ay_pitch_roll%s.txt" % (file_path[:-4], contador),
181               ay_pr)
182
183     contador += 1
184
185 rmsva_complete = pd.DataFrame(
186     data=rmsva_array,
187     columns=[
188         "rmsva",
189         "rmsva_filtrado",
190         "rmsva_filtrado_60",
191         "rmsva_filtrado_120",
192         "rmsva_filtrado_180",
193         "rmsva_filtrado_240",
194     ],
195 )
196 rmsva_complete.to_csv("%s/rmsva_complete.csv" % (RMSVA_DIR), index=False
197 )
```

APÊNDICE D: SCRIPT PASSA ALTA

```
1
2 import os
3 import matplotlib.mlab as mlab
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import numpy as np
6 import pandas as pd
7 from cycler import cycler
8 from matplotlib.ticker import MultipleLocator
9 import scipy.signal
10
11 locale.setlocale(locale.LC_NUMERIC, "pt_BR")
12
13 ##### PARAMETROS DE PLOTS #####
14
15 plot_params = {
16     "figure.figsize": (7, 7),
17     # 'text.usetex' : True,
18     "font.size": 12,
19     "font.family": "Arial",
20     "legend.fancybox": True,
21     "legend.loc": "upper right",
22     "legend.framealpha": None,
23     "legend.edgecolor": "black",
24     "axes.autolimit_mode": "round_numbers",
25     "xtick.direction": "out",
26     "ytick.direction": "out",
27     "xtick.major.size": 5.0,
28     "xtick.minor.size": 3.0,
29     "ytick.major.size": 5.0,
30     "ytick.minor.size": 3.0,
31     "axes.grid": True,
32     "axes.prop_cycle": cycler("color", "bgrcmyk"),
33     "grid.linestyle": "dotted",
34     "grid.linewidth": 0.5,
35     "lines.linewidth": 0.5,
36     "lines.markersize": 3,
37     "savefig.dpi": 150,
38     "axes.formatter.use_locale": True,
39 }
40 plt.rcParams.update(plot_params)
41
42 #####
43
44 ##### DIRETORIOS #####
45
```

```

46 BASE_DIR = os.path.dirname(__file__)
47 RMSVA_DIR = os.path.join(BASE_DIR, "rmsva")
48
49 file_names = []
50 file_paths = []
51 for file in os.listdir(BASE_DIR):
52     if file.endswith(".csv"):
53         file_names.append(file)
54         file_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, file))
55 file_names = np.array(file_names)
56 file_paths = np.array(file_paths)
57
58 folder_names = []
59 for file_name in file_names:
60     folder_names.append(file_name.replace(".csv", ""))
61 folder_names = np.array(folder_names)
62
63 folder_paths = []
64 for folder_name in folder_names:
65     folder_paths.append(os.path.join(BASE_DIR, folder_name))
66     folder_path = os.path.join(BASE_DIR, folder_name)
67     if not os.path.exists(folder_path):
68         os.mkdir(folder_path)
69 folder_paths = np.array(folder_paths)
70
71 if not os.path.exists(RMSVA_DIR):
72     os.mkdir(RMSVA_DIR)
73
74 #####
75
76 ##### VARIAVEIS #####
77
78 Fa = 100 # frecuencia de amostragem
79 Fc = 0.5 # freq. corte en Hz
80 skip_start = 25 # datos saltados al principio
81 NFFT = 2 ** 11 # numero de cosenos y senos
82 velocidade_op = 25 # km/h
83 distancia = 240 # m
84 theta = -0.406226 # radianes PITCH
85 sigma = -0.040797333 # radianes ROLL
86
87 #####
88
89 ##### CONSTANTES #####
90
91 T = 1 / Fa # periodo
92 N = int(distancia / velocidade_op * 3.6 / T)

```

```

93 t_60 = 60 / (velocidade_op / 3.6)
94 N_60 = int(t_60 / T)
95
96 C_theta = np.matrix(
97     [[np.cos(theta), 0, -np.sin(theta)], [0, 1, 0], [np.sin(theta), 0,
98         np.cos(theta)]]
99 )
100 C_sigma = np.matrix(
101     [[1, 0, 0], [0, np.cos(sigma), np.sin(sigma)], [0, -np.sin(sigma),
102         np.cos(sigma)]]
103 )
104 C_n_b = np.matmul(C_theta, C_sigma).transpose()
105
106 #####
107 ##### FUNCOES #####
108
109 def filtro_passa_alta(Fa, Fc, signal):
110     sos = scipy.signal.butter(2, Fc, "highpass", fs=Fa, output="sos")
111     signal_filtered = scipy.signal.sosfilt(sos, signal)
112     return signal_filtered
113
114 contador = 1
115 rmsva_array = np.zeros((len(file_paths), 6))
116
117 for file_path in file_paths:
118     data_frame = pd.read_csv(file_path, delimiter=";", header=1)
119     data_frame_values = data_frame.values
120     ax = data_frame_values[:, 0]
121     ay = data_frame_values[:, 1]
122     az = data_frame_values[:, 2]
123     ax = ax[skip_start : N + skip_start]
124     ay = ay[skip_start : N + skip_start]
125     az = az[skip_start : N + skip_start]
126     t = np.linspace(0, N * T, N)
127
128     data_pitch_roll = np.zeros((len(ax), 3))
129     data_pitch_roll[:, :] = np.NaN
130
131     for k in range(len(ax)):
132         a_matrix = np.matrix([[az[k]], [ax[k]], [ay[k]]])
133         data_pitch_roll[k] = np.array(np.matmul(C_n_b, a_matrix).
134             transpose())
135
136     ay_pr = data_pitch_roll[:, 2]
137
138     ay_filtrado = filtro_passa_alta(Fa, Fc, ay_pr)
139     rmsva = np.sqrt(np.sum((ay_pr - np.mean(ay_pr)) ** 2) / N)

```

```

137     rmsva_filtrado = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado) ** 2) / N)
138     rmsva_filtrado_60 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[:N_60]) ** 2) / N_60
)
139     rmsva_filtrado_120 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 : N_60 * 2])
** 2) / N_60)
140     rmsva_filtrado_180 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 * 2 : N_60 *
3]) ** 2) / N_60)
141     rmsva_filtrado_240 = np.sqrt(np.sum((ay_filtrado[N_60 * 3 :]) ** 2)
/ N_60)
142
143     rmsva_array[contador - 1] = [
144         rmsva,
145         rmsva_filtrado,
146         rmsva_filtrado_60,
147         rmsva_filtrado_120,
148         rmsva_filtrado_180,
149         rmsva_filtrado_240,
150     ]
151
152     rmsva_res = pd.DataFrame(
153         np.array(
154             [
155                 [
156                     rmsva,
157                     rmsva_filtrado,
158                     rmsva_filtrado_60,
159                     rmsva_filtrado_120,
160                     rmsva_filtrado_180,
161                     rmsva_filtrado_240,
162                 ]
163             ]
164         ),
165         columns=[
166             "rmsva",
167             "rmsva_filtrado",
168             "rmsva_filtrado_60",
169             "rmsva_filtrado_120",
170             "rmsva_filtrado_180",
171             "rmsva_filtrado_240",
172         ],
173     )
174     contador += 1
175
176 rmsva_complete = pd.DataFrame(
177     data = rmsva_array,
178     columns=[
179         "rmsva",

```

```
180         "rmsva_filtrado",
181         "rmsva_filtrado_60",
182         "rmsva_filtrado_120",
183         "rmsva_filtrado_180",
184         "rmsva_filtrado_240",
185     ],
186 )
187 rmsva_complete.to_csv("%s/rmsva_complete.csv" % (RMSVA_DIR), index=False
188 )
```

APÊNDICE E: ANÁLISES ESTATÍSTICAS

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

- Pressupostos a serem atendidos pelos dados de cada amostra:
 - I. Normalidade dos dados (Teste de Shapiro-Wilk)

Hipóteses testadas:

Valor- $p > \alpha \rightarrow H_0$: os dados das amostras seguem uma distribuição normal;

Valor- $p < \alpha \rightarrow H_1$: os dados das amostras diferem duma distribuição normal.
 - II. Homocedasticidade das variâncias (Teste de Levene's)

Hipóteses testadas:

Valor- $p > \alpha \rightarrow H_0$: os dados das amostras homogeneidade de variâncias;

Valor- $p < \alpha \rightarrow H_1$: os dados das amostras não apresentam homogeneidade de variâncias.
 - III. Independência dos erros (Teste de Durbin-Watson)

Hipóteses testadas:

$dU \leq dw \leq 4-dU \rightarrow H_0$: os erros (resíduos) não tem correlação;

H_1 : os erros (resíduos) das amostras tem autocorrelação.
- Comparação entre amostras que atenderam os pressupostos

Hipóteses testadas:

Valor- $p > \alpha \rightarrow H_0$: as médias das amostras são iguais;

Valor- $p < \alpha \rightarrow H_1$: as médias das amostras são diferentes.

α : nível de significância

TESTE T DE *STUDENT*

Para esta análise, devem ser verificados:

- Pressupostos a serem atendidos pelos dados de cada amostra:
 - I. Normalidade dos dados (Teste de Shapiro-Wilk)
 - II. Homocedasticidade das variâncias (Teste de Levene's)
- Comparação entre amostras que atenderam os pressupostos

Hipóteses testadas:

Valor- $p > \alpha \rightarrow H_0$: as médias das amostras são iguais;

Valor- $p < \alpha \rightarrow H_1$: as médias das amostras são diferentes.

α : nível de significância

TESTE DE MANN-WHITNEY

Não há pressupostos a serem atendidos:

Comparação entre amostras - Hipóteses testadas:

Valor- $p > \alpha \rightarrow H_0$: as medianas das amostras são iguais;

Valor- $p < \alpha \rightarrow H_1$: as medianas das amostras são diferentes.

α : nível de significância

APÊNDICE F: CÁLCULO DO IGG E DA MACROTEXTURA

Tabela F1 - Planilha de cálculo do IGG na Av. Araucária (40 estações; segmento único de 240 m).

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada			Frequência relativa		Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual	
1	(FC-1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	66	40			100		0.2	33	
2	(FC-2) J, TB	0	0			0		0.5	0	
3	(FCI-3) JE, TBE	0	0			0		0.8	0	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1				3		0.9	2	
5	O, P, E	1				3		1.0	3	
6	EX	0				0		0.5	0	
7	D	40				100		0.3	30	
8	R	0				0		0.6	0	
9	$F = (TRE + TRI) / 2$	TRE =	1.7	TRI =	1.5	F =	1.6	1A 1B	1.33	2.15
10	$FV = (TREV + TRIV) / 2$	TREV =	1.9	TRIV =	2.5	Fv =	2.2	2A 2B	1.33	2.97
N. de estações		n	40			Σ IGG				60

Tabela F2 - Planilha de cálculo do IGG na Av. José Maria de Brito (40 estações; segmento único de 240 m).

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada			Frequência relativa		Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual	
1	(FC-1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	2			5		0.2	1	
2	(FC-2) J, TB	0	0			0		0.5	0	
3	(FCI-3) JE, TBE	35	35			88		0.8	70	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	29				73		0.9	65	
5	O, P, E	11				28		1	28	
6	EX	4				10		0.5	5	
7	D	32				80		0.3	24	
8	R	8				20		0.6	12	
9	$F = (TRE + TRI) / 2$	TRE =	10.0	TRI =	5.2	F =	7.6	1A 1B	1.33	10.17
10	$FV = (TREV + TRIV) / 2$	TREV =	27.3	TRIV =	26.0	Fv =	26.6	2A 2B	1.33	35.50
N. de estações		n	40			Σ IGG				250

Tabela F3 - Planilha de cálculo do IGG na Av. Pedro Passo (40 estações; segmento único de 240 m).

Item	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada			Frequência relativa		Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual	
1	(FC-1) FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0			0		0.2	0	
2	(FC-2) J, TB	0	0			0		0.5	0	
3	(FCI-3) JE, TBE	0	0			0		0.8	0	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0				0		0.9	0	
5	O, P, E	0				0		1.0	0	
6	EX	0				0		0.5	0	
7	D	0				0		0.3	0	
8	R	1				3		0.6	2	
9	$F = (TRE + TRI) / 2$	TRE =	3.2	TRI =	1.6	F =	2.4	1A 1B	1.33	3.13
10	$FV = (TREV + TRIV) / 2$	TREV =	1.3	TRIV =	3.5	Fv =	2.4	2A 2B	1.33	3.25
N. de estações		n	40			Σ IGG				8

Tabela F4 - Valores de macrotextura.

Vias	Amostras	Medidas (cm)					Ø média (cm)	HS (mm)	Textura superficial
		1	2	3	4	5			
Av. Araucária	1	9.5	9.4	9.6	9.3	9.6	9.48	3.54	Muito grosseira
	2	15.2	15.6	15.0	15.5	15	15.26	1.37	Muito grosseira
	3	10.0	9.9	10.0	10.5	10	10.08	3.13	Muito grosseira
	4	10.5	10.3	10.7	10.5	10.2	10.44	2.92	Muito grosseira
	5	14.0	13.4	14.0	14.3	13.9	13.92	1.64	Muito grosseira
Av. José Maria de Brito	1	28.5	28.0	26.7	26.5	28	27.54	0.42	Média
	2	12.0	12.0	12.1	12.1	11.8	12	2.21	Muito grosseira
	3	10.5	10.2	11.2	10.7	10.5	10.62	2.82	Muito grosseira
	4	11.4	10.8	11.3	11.5	10.7	11.14	2.56	Muito grosseira
	5	11.6	12.0	11.5	12	12.2	11.86	2.26	Muito grosseira
Av. Pedro Basso	1	18.0	19.0	18.5	18.3	18	18.36	0.94	Grosseira
	2	22.0	21.5	21.4	21.8	21	21.54	0.69	Média
	3	22.0	21.0	20.5	21	22	21.3	0.70	Média
	4	22.2	22.0	21.8	22	22.2	22.04	0.66	Média
	5	21.0	21.4	21.5	20.5	21.7	21.22	0.71	Média

APÊNDICE G: VALORES OBTIDOS PARA O CÁLCULO DOS ÂNGULOS PITCH E ROLL, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, DURANTE 24 SEGUNDOS COM OS VEÍCULOS DESLIGADOS EM CADA TRECHO

Tabela G1 - Valores de Pitch e Roll medidas no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Avenida	Pitch						Roll					
	1	2	3	Médio	σ	CV (%)	1	2	3	Médio	σ	CV (%)
Araucária	0.132	0.144	0.140	0.139	0.005	3.759	0.008	0.007	0.003	0.006	0.002	33.249
José Maria de Brito	0.047	0.042	0.043	0.044	0.002	5.133	-0.021	-0.020	-0.018	-0.020	0.001	4.657
Pedro Basso	0.157	0.158	0.158	0.158	0.000	0.142	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	3.384

Tabela G2 - Valores de Pitch e Roll medidas no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Avenida	Pitch						Roll					
	1	2	3	Médio	σ	CV (%)	1	2	3	Médio	σ	CV (%)
Araucária	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	0.000	0.034	-0.087	-0.087	-0.087	-0.087	0.000	0.065
José Maria de Brito	-0.406	-0.407	-0.406	-0.406	0.001	0.127	-0.041	-0.041	-0.041	-0.041	0.000	0.603
Pedro Basso	-0.427	-0.427	-0.428	-0.427	0.000	0.081	0.006	0.006	0.006	0.006	0.000	2.137

Tabela G3 - Valores de Pitch e Roll medidas na pick-up com suporte no para-brisa.

Avenida	Pitch						Roll					
	1	2	3	Médio	σ	CV (%)	1	2	3	Médio	σ	CV (%)
Araucária	0.058	0.058	0.058	0.058	0.000	0.069	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	0.000	1.471
José Maria de Brito	0.186	0.187	0.187	0.187	0.000	0.187	-0.063	-0.063	-0.063	-0.063	0.000	0.264
Pedro Basso	0.081	0.070	0.071	0.074	0.005	6.729	-0.028	-0.025	-0.025	-0.026	0.001	5.552

Tabela G4 - Valores de Pitch e Roll medidas na pick-up com suporte na saída de ar.

Avenida	Pitch						Roll					
	1	2	3	Médio	σ	CV (%)	1	2	3	Médio	σ	CV (%)
Araucária	-0.484	-0.471	-0.454	-0.470	0.012	2.562	-0.099	-0.098	-0.098	-0.098	0.000	0.501
José Maria de Brito	-0.343	-0.343	-0.342	-0.343	0.000	0.119	-0.087	-0.087	-0.085	-0.086	0.001	0.886
Pedro Basso	-0.364	-0.352	-0.356	-0.357	0.005	1.430	-0.092	-0.093	-0.092	-0.092	0.000	0.029

APÊNDICE H: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RUÍDO SOBRE OS VALORES DE RMSVA

Tabela H1 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Araucária com o smartphone fixado no para-brisa no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.017	0.716	2.361	0.791	2.139	0.887	1.908
Ligado (sem acelerar)	0.072		10.116		9.166		8.175
Primeira marcha	0.077		10.722		9.715		8.664
Segunda marcha	0.094		13.087		11.857		10.575
Terceira marcha	0.075		10.420		9.441		8.420
Quarta marcha	0.079		10.965		9.935		8.860

Tabela H2 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Araucária com o smartphone fixado na saída de ar no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.007	0.501	1.384	0.568	1.221	0.603	1.150
Ligado (sem acelerar)	0.076		15.245		13.441		12.660
Primeira marcha	0.070		13.899		12.254		11.542
Segunda marcha	0.048		9.591		8.456		7.965
Terceira marcha	0.057		11.307		9.969		9.390
Quarta marcha	0.059		11.814		10.415		9.810

Tabela H3 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. José Maria de Brito com o smartphone fixado no para-brisa no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.017	0.593	2.850	0.761	2.221	0.874	1.933
Ligado (sem acelerar)	0.062		10.473		8.161		7.102
Primeira marcha	0.061		10.245		7.983		6.946
Segunda marcha	0.078		13.074		10.187		8.865
Terceira marcha	0.072		12.147		9.465		8.237
Quarta marcha	0.078		13.127		10.229		8.901

Tabela H4 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. José Maria de Brito com o smartphone fixado na saída de ar no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.019	1.055	1.826	1.473	1.308	1.388	1.388
Ligado (sem acelerar)	0.265		25.107		17.979		19.082
Primeira marcha	0.207		19.615		14.046		14.908
Segunda marcha	0.285		27.037		19.361		20.549
Terceira marcha	0.275		26.052		18.656		19.800
Quarta marcha	0.217		20.564		14.726		15.629

Tabela H5 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Pedro Basso com o smartphone fixado no para-brisa no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.009	0.351	2.549	0.420	2.127
Ligado (sem acelerar)	0.048		13.771		11.486
Primeira marcha	0.043		12.289		10.250
Segunda marcha	0.037		10.648		8.881
Terceira marcha	0.036		10.216		8.521
Quarta marcha	0.039		11.177		9.323

Tabela H6 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Pedro Basso com o smartphone fixado na saída de ar no veículo de passeio.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h		55 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.006	0.256	2.170	0.214	2.599	0.838	0.664	0.997	0.558
Ligado (sem acelerar)	0.180		70.290		84.181		21.504		18.074
Primeira marcha	0.098		38.274		45.838		11.709		9.842
Segunda marcha	0.104		40.484		48.485		12.385		10.410
Terceira marcha	0.107		41.564		49.778		12.716		10.688
Quarta marcha	0.097		37.777		45.243		11.557		9.714

Tabela H7 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Araucária com o smartphone fixado no para-brisa na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h		55 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.012	0.507	2.431	0.575	2.144	0.714	1.727	0.665	1.855
Ligado (sem acelerar)	0.025		4.871		4.296		3.460		3.717
Primeira marcha	0.023		4.577		4.037		3.251		3.493
Segunda marcha	0.035		6.887		6.075		4.892		5.255
Terceira marcha	0.027		5.224		4.608		3.711		3.986
Quarta marcha	0.026		5.117		4.514		3.635		3.905

Tabela H8 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Araucária com o smartphone fixado na saída de ar na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h		55 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.008	0.258	2.960	0.276	2.764	0.288	2.643	0.326	2.335
Ligado (sem acelerar)	0.015		5.997		5.600		5.355		4.731
Primeira marcha	0.016		6.293		5.876		5.618		4.964
Segunda marcha	0.022		8.535		7.969		7.620		6.732
Terceira marcha	0.024		9.146		8.540		8.166		7.215
Quarta marcha	0.029		11.146		10.407		9.951		8.792

Tabela H9 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. José Maria de Brito com o smartphone fixado no para-brisa na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.009	0.615	1.477	0.766	1.185	1.186	0.766
Ligado (sem acelerar)	0.047		7.682		6.166		3.984
Primeira marcha	0.050		8.128		6.524		4.215
Segunda marcha	0.040		6.483		5.204		3.362
Terceira marcha	0.029		4.773		3.832		2.476
Quarta marcha	0.027		4.424		3.551		2.294

Tabela H10 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. José Maria de Brito com o smartphone fixado na saída de ar na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.012	0.779	1.545	0.731	1.648	0.638	1.888
Ligado (sem acelerar)	0.012		1.515		1.616		1.851
Primeira marcha	0.015		1.899		2.026		2.321
Segunda marcha	0.012		1.539		1.642		1.881
Terceira marcha	0.014		1.801		1.921		2.200
Quarta marcha	0.013		1.657		1.768		2.025

Tabela H11 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Pedro Basso com o smartphone fixado no para-brisa na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h		55 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.013	0.275	4.877	0.343	3.905	0.513	2.610	0.544	2.461
Ligado (sem acelerar)	0.045		16.365		13.103		8.758		8.259
Primeira marcha	0.035		12.584		10.076		6.735		6.351
Segunda marcha	0.032		11.822		9.465		6.327		5.966
Terceira marcha	0.034		12.385		9.916		6.628		6.250
Quarta marcha	0.031		11.250		9.008		6.021		5.678

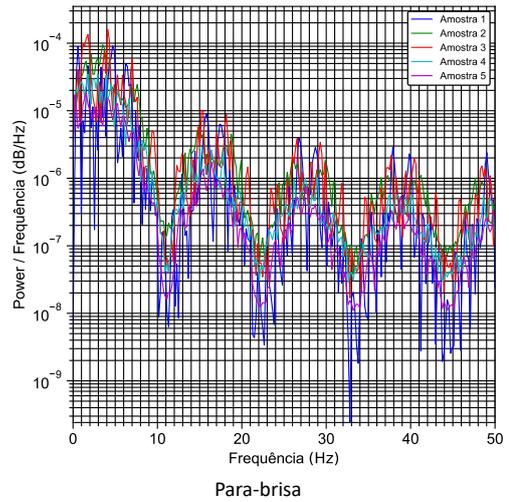
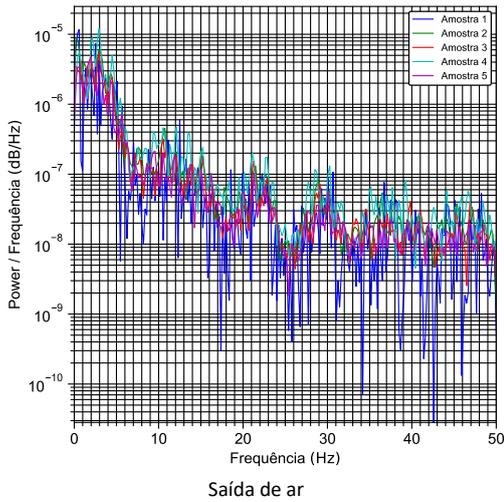
Tabela H12 - Influência do ruído sobre os valores de RMSVA obtidos na Av. Pedro Basso com o smartphone fixado na saída de ar na pick-up.

Velocidade operacional		25 km/h		35 km/h		45 km/h		55 km/h	
Condição do veículo	Ruído RMSVA (m/s ²)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)	RMSVA via (m/s ²)	RMSVA ruído ÷ RMSVA via (%)
Desligado	0.010	0.185	5.256	0.220	4.411	0.283	3.435	0.312	3.116
Ligado (sem acelerar)	0.041		22.112		18.556		14.452		13.107
Primeira marcha	0.039		21.149		17.748		13.822		12.536
Segunda marcha	0.042		22.757		19.097		14.873		13.489
Terceira marcha	0.044		23.701		19.890		15.490		14.048
Quarta marcha	0.044		24.063		20.194		15.727		14.263

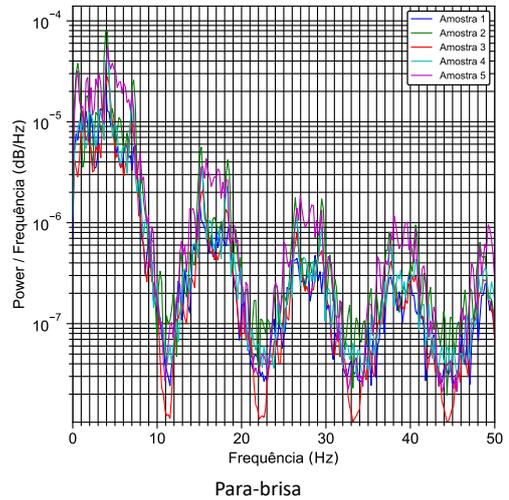
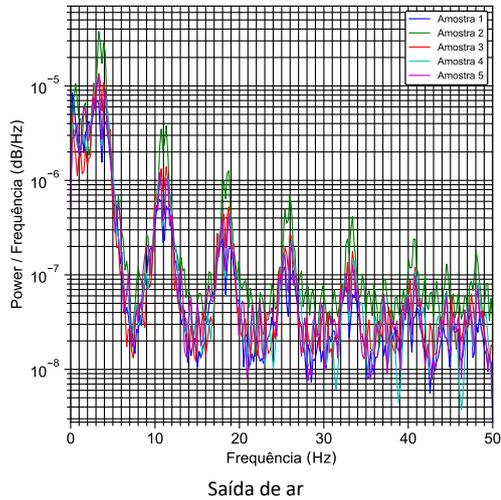
APÊNDICE I: RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE CROSS POWER SPECTRAL DENSITY (CPSD) PARA DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, COM OS VEÍCULOS DESLIGADOS

Via: Avenida Araucária

- Veículo de passeio

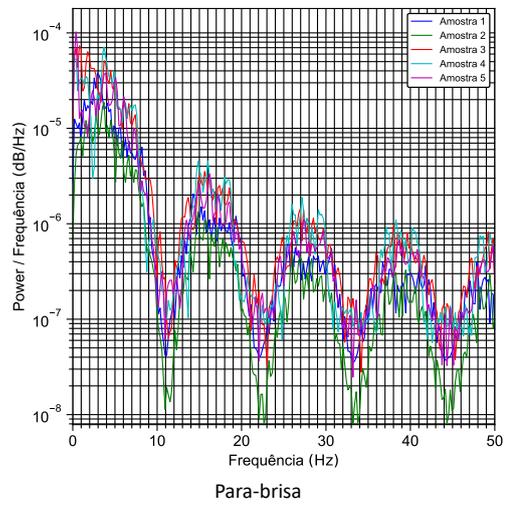
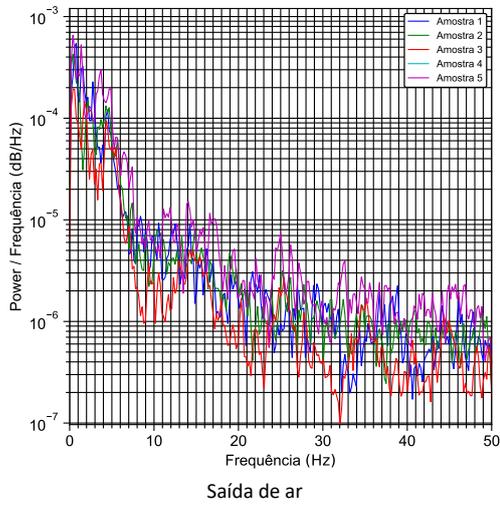


- Pick-up

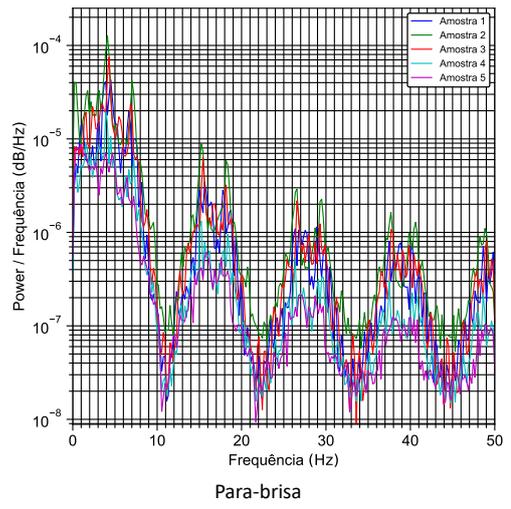
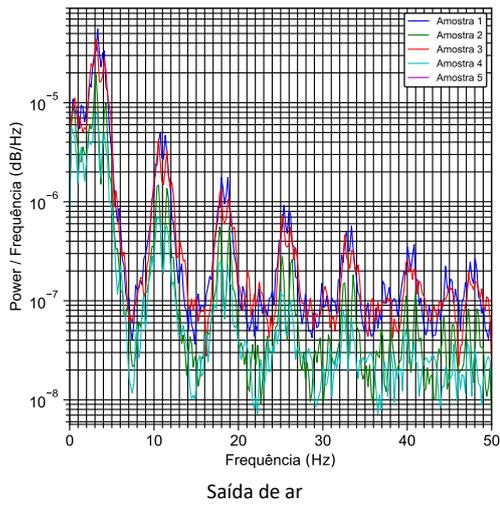


Via: Avenida José Maria de Brito

- Veículo de passeio

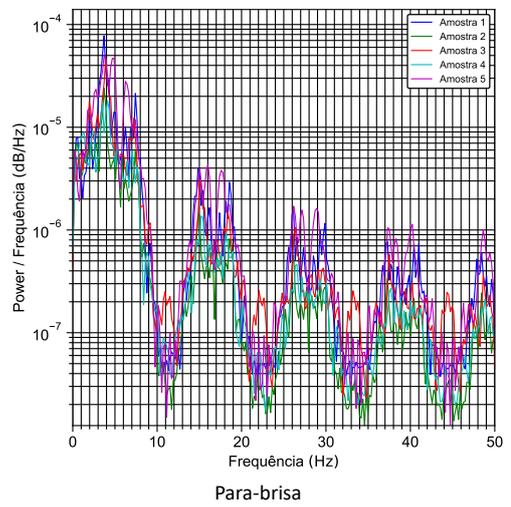
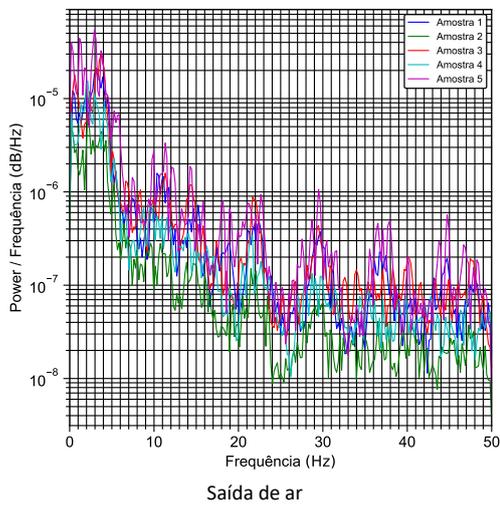


- Pick-up

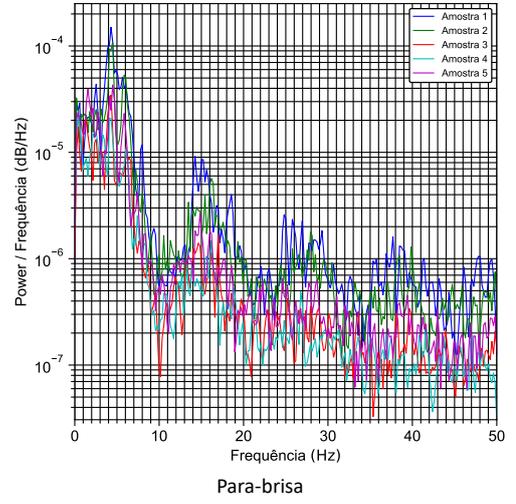
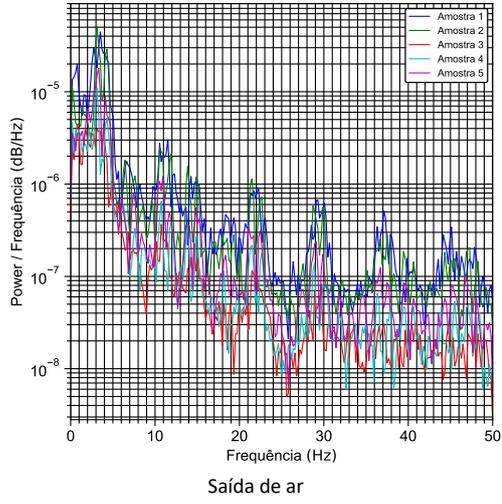


Via: Avenida Pedro Basso

- Veículo de passeio



- Pick-up



APÊNDICE J: VALORES DE RMSVA OBTIDOS EM SEGMENTOS COM 240 METROS DE COMPRIMENTO, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, EM CADA VEÍCULO E COM DIFERENTES VELOCIDADES OPERACIONAIS

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela J1 – Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.780	0.786	0.793	0.786	0.808	0.801	0.773	0.801	0.784	0.776	0.789	0.011	1.403
35	0.935	0.912	0.935	0.942	0.980	0.965	0.960	0.910	0.989	0.968	0.950	0.026	2.712
45	1.107	1.103	1.034	1.006	1.029	1.148	1.012	1.117	1.126	1.023	1.071	0.052	4.818

Tabela J2 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.738	0.743	0.747	0.788	0.764	0.759	0.802	0.784	0.839	0.776	0.774	0.029	3.803
35	0.964	0.962	0.970	0.830	0.981	1.051	0.959	0.916	0.944	1.054	0.963	0.060	6.282
45	1.033	1.072	1.061	1.103	1.097	1.046	1.070	1.142	1.086	1.134	1.084	0.034	3.101

Tabela J3 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.667	0.653	0.656	0.660	0.659	0.655	0.667	0.664	0.669	0.655	0.660	0.005	0.815
35	0.787	0.783	0.793	0.792	0.795	0.789	0.773	0.797	0.774	0.787	0.787	0.008	0.973

Tabela J4 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.697	0.696	0.687	0.703	0.700	0.707	0.715	0.705	0.681	0.683	0.697	0.010	1.499
35	0.769	0.809	0.777	0.839	0.795	0.786	0.839	0.820	0.811	0.819	0.806	0.023	2.882
45	0.889	0.890	0.926	0.846	0.929	0.817	0.946	0.898	0.893	0.932	0.896	0.038	4.279

Tabela J5 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	1.092	1.051	1.129	1.070	1.008	1.031	1.096	0.993	1.458	1.088	1.102	0.125	11.386
35	1.216	1.368	1.684	1.363	1.519	1.301	1.432	1.348	1.338	1.313	1.388	0.124	8.953
45	1.396	1.387	1.379	1.464	1.417	1.559	1.508	1.568	1.434	1.529	1.464	0.069	4.680

Tabela J6 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.575	0.577	0.576	0.583	0.574	0.583	0.577	0.573	0.570	0.570	0.576	0.004	0.750
35	0.673	0.693	0.681	0.685	0.678	0.672	0.667	0.684	0.681	0.667	0.678	0.008	1.158
45	1.111	1.088	1.039	1.084	1.091	1.039	1.050	1.078	1.075	1.079	1.073	0.022	2.094
55	1.202	1.218	1.207	1.241	1.218	1.253	1.108	1.131	1.231	1.124	1.193	0.050	4.173

Tabela J7 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.717	0.704	0.737	0.757	0.742	0.721	0.732	0.702	0.723	0.722	0.726	0.016	2.199
35	0.865	0.858	0.871	0.852	0.863	0.861	0.873	0.871	0.864	0.878	0.866	0.007	0.840
45	1.004	0.969	1.042	0.968	1.029	0.972	0.978	0.968	1.012	0.994	0.994	0.026	2.594
55	0.995	1.037	1.068	1.013	1.054	1.064	0.994	1.069	1.019	1.035	1.035	0.027	2.625

Tabela J8 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.803	0.815	0.767	0.843	0.820	0.826	0.817	0.806	0.806	0.823	0.813	0.019	2.331
35	0.969	0.964	0.982	0.988	0.980	1.026	1.016	0.972	1.012	0.967	0.987	0.021	2.170
45	1.309	1.425	1.263	1.440	1.364	1.350	1.308	1.354	1.331	1.409	1.355	0.053	3.937

Tabela J9 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.615	0.613	0.626	0.624	0.617	0.626	0.622	0.626	0.616	0.623	0.621	0.005	0.760
35	0.728	0.749	0.745	0.745	0.733	0.754	0.748	0.735	0.752	0.739	0.743	0.008	1.087
45	0.882	0.893	0.878	0.920	0.901	0.879	0.877	0.889	0.894	0.911	0.892	0.014	1.552
55	0.988	0.981	0.963	0.978	0.949	0.970	0.951	0.969	0.939	0.975	0.966	0.015	1.537

Tabela J10 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.817	0.804	0.807	0.822	0.814	0.816	0.826	0.814	0.810	0.804	0.813	0.007	0.858
35	0.664	0.674	0.672	0.664	0.652	0.657	0.664	0.672	0.655	0.674	0.665	0.008	1.182
45	0.732	0.727	0.730	0.742	0.768	0.748	0.716	0.749	0.767	0.747	0.742	0.016	2.159
55	0.819	0.816	0.826	0.816	0.825	0.832	0.835	0.828	0.836	0.807	0.824	0.009	1.099

Tabela J11 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.894	0.926	0.899	0.927	0.907	0.887	0.901	0.922	0.902	0.892	0.906	0.014	1.526
35	1.116	1.006	1.112	0.989	1.090	0.810	0.817	0.793	0.771	0.785	0.929	0.140	15.023
45	0.877	0.882	0.876	0.933	0.975	0.934	0.957	0.971	0.918	0.971	0.929	0.038	4.060

Tabela J12 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.551	0.542	0.550	0.550	0.550	0.549	0.548	0.553	0.548	0.543	0.548	0.003	0.621
35	0.638	0.641	0.649	0.646	0.655	0.642	0.651	0.639	0.639	0.649	0.645	0.006	0.873
45	0.707	0.712	0.726	0.728	0.710	0.718	0.697	0.698	0.719	0.704	0.712	0.010	1.453
55	0.764	0.738	0.768	0.765	0.780	0.770	0.742	0.779	0.774	0.755	0.764	0.014	1.776

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela J13 – Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.792	0.800	0.783	0.808	0.799	0.815	0.786	0.797	0.786	0.789	0.796	0.010	1.236
35	0.951	0.912	0.929	0.949	0.956	0.996	0.981	0.974	0.925	0.981	0.955	0.026	2.742
45	1.124	1.121	1.054	1.020	1.044	1.168	1.024	1.132	1.143	1.041	1.087	0.053	4.830

Tabela J14 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.752	0.756	0.759	0.804	0.777	0.772	0.818	0.798	0.856	0.790	0.788	0.031	3.904
35	0.978	0.987	0.814	0.843	1.000	1.066	0.975	0.932	0.961	1.332	0.989	0.134	13.566
45	1.050	1.092	1.077	1.123	1.114	1.065	1.090	1.165	1.102	1.151	1.103	0.034	3.121

Tabela J15 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.678	0.664	0.666	0.670	0.670	0.666	0.657	0.678	0.673	0.666	0.669	0.006	0.910
35	0.799	0.795	0.805	0.803	0.805	0.800	0.785	0.808	0.786	0.799	0.798	0.008	0.944

Tabela J16 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.707	0.707	0.698	0.714	0.711	0.719	0.726	0.717	0.690	0.694	0.708	0.011	1.522
35	0.821	0.788	0.852	0.807	0.800	0.856	0.852	0.834	0.823	0.831	0.826	0.022	2.656
45	0.901	0.903	0.941	0.857	0.943	0.997	0.961	0.909	0.906	0.945	0.926	0.037	3.985

Tabela J17 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	1.117	1.150	1.095	1.029	1.055	1.121	1.013	1.494	1.111		1.132	0.135	11.931
35	1.400	1.717	1.395	2.181	1.552	1.329	1.466	1.376	1.368	2.096	1.588	0.296	18.632
45	0.752	0.756	0.759	0.804	0.777	0.772	0.818	0.798	0.856	0.790	0.788	0.031	3.904

Tabela J18 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.583	0.585	0.584	0.590	0.581	0.591	0.584	0.581	0.578	0.578	0.583	0.004	0.734
35	0.682	0.702	0.689	0.701	0.694	0.687	0.680	0.693	0.690	0.677	0.689	0.008	1.139
45	1.132	1.112	1.061	1.109	1.112	1.06	1.07	1.103	1.099	1.1	1.096	0.023	2.0957
55	1.228	1.247	1.193	1.227	1.267	1.242	1.278	1.154	1.256	1.149	1.224	0.043	3.481

Tabela J19 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.728	0.717	0.749	0.770	0.755	0.735	0.744	0.713	0.735	0.735	0.738	0.016	2.197
35	0.877	0.874	0.883	0.865	0.877	0.878	0.888	0.885	0.878	0.893	0.880	0.007	0.852
45	1.02	0.986	1.056	0.987	1.043	0.99	0.994	1.031	1.008	1.038	1.015	0.025	2.428
55	1.008	1.051	1.080	1.028	1.066	1.080	1.009	1.084	1.035	1.051	1.049	0.027	2.589

Tabela J20 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.830	0.781	0.861	0.836	0.842	0.834	0.821	0.821	0.840		0.830	0.021	2.472
35	0.988	0.983	1.002	1.009	1.002	1.049	1.037	0.992	1.036	0.987	1.009	0.023	2.233
45	1.339	1.462	1.474	1.394	1.382	1.34	1.383	1.362	1.433	1.289	1.386	0.055	3.963

Tabela J21 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.623	0.622	0.634	0.631	0.637	0.626	0.634	0.631	0.624	0.632	0.629	0.005	0.784
35	0.738	0.758	0.756	0.755	0.744	0.765	0.758	0.744	0.762	0.751	0.753	0.008	1.100
45	0.895	0.868	0.906	0.892	0.913	0.891	0.89	0.902	0.906	0.922	0.899	0.014	1.586
55	1.002	0.993	1.003	0.977	0.991	0.962	0.985	0.968	0.983	0.989	0.985	0.0127	1.293

Tabela J22 - Valores de RMSVA médios da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.580	0.575	0.587	0.576	0.581	0.585	0.579	0.578	0.594	0.577	0.581	0.005	0.939
35	0.672	0.682	0.680	0.689	0.672	0.665	0.673	0.680	0.663	0.683	0.676	0.008	1.166
45	0.741	0.736	0.739	0.752	0.787	0.778	0.758	0.758	0.776	0.757	0.758	0.016	2.176
55	0.829	0.826	0.825	0.834	0.843	0.846	0.839	0.846	0.864	0.872	0.842	0.015	1.778

Tabela J23 - Valores de RMSVA médios da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.911	0.946	0.919	0.926	0.905	0.895	0.918	0.941	0.920	0.911	0.919	0.015	1.595
35	1.135	1.027	1.130	1.010	1.114	1.219	1.216	0.822	0.828	0.803	1.031	0.153	14.856
45	0.888	0.894	0.889	0.945	0.988	0.947	0.969	0.985	0.931	0.985	0.942	0.038	4.055

Tabela J24 - Valores de RMSVA médios da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar.

Velocidade (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
25	0.575	0.558	0.557	0.557	0.557	0.559	0.556	0.555	0.559	0.554	0.559	0.006	1.010
35	0.645	0.648	0.640	0.656	0.653	0.649	0.658	0.646	0.646	0.656	0.650	0.006	0.850
45	0.716	0.721	0.734	0.737	0.718	0.727	0.707	0.728	0.713	0.712	0.721	0.009	1.310
55	0.796	0.773	0.778	0.775	0.790	0.779	0.751	0.789	0.783	0.764	0.778	0.012	1.598

APÊNDICE K: VALORES DE RMSVA OBTIDOS EM SEGMENTOS DE 60 METROS, NAS DIFERENTES POSIÇÕES DE SUPORTE DOS SMARTPHONES, EM CADA VEÍCULO E COM DIFERENTES VELOCIDADES OPERACIONAIS

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela K1 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.213	1.185	1.275	1.172	1.279	1.212	1.211	1.203	1.269	1.207	1.223	0.036	2.957
60 - 120	0.568	0.630	0.548	0.715	0.540	0.652	0.645	0.667	0.553	0.531	0.605	0.061	10.131
120 - 180	0.605	0.558	0.572	0.554	0.608	0.581	0.506	0.612	0.526	0.605	0.573	0.035	6.068
180 - 240	0.521	0.601	0.513	0.527	0.562	0.576	0.502	0.549	0.513	0.552	0.541	0.030	5.569

Tabela K2 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.453	1.401	1.486	1.399	1.546	1.514	1.494	1.420	1.528	1.572	1.481	0.058	3.917
60 - 120	0.630	0.699	0.618	0.748	0.765	0.784	0.760	0.724	0.853	0.705	0.729	0.067	9.161
120 - 180	0.737	0.619	0.687	0.753	0.790	0.639	0.673	0.705	0.731	0.696	0.703	0.049	7.009
180 - 240	0.669	0.700	0.662	0.680	0.496	0.641	0.652	0.526	0.559	0.546	0.613	0.070	11.390

Tabela K3 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.738	1.887	1.661	1.633	1.692	1.972	1.646	1.780	1.925	1.640	1.757	0.121	6.898
60 - 120	0.843	0.609	0.773	0.605	0.616	0.739	0.698	0.864	0.713	0.614	0.707	0.092	13.062
120 - 180	0.714	0.815	0.676	0.809	0.837	0.657	0.812	0.804	0.658	0.711	0.749	0.069	9.223
180 - 240	0.814	0.524	0.681	0.599	0.539	0.632	0.486	0.657	0.653	0.785	0.637	0.101	15.863

Tabela K4 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.160	1.104	1.126	1.203	1.135	1.160	1.178	1.149	1.161	1.164	1.154	0.026	2.270
60 - 120	0.460	0.515	0.423	0.392	0.474	0.521	0.559	0.536	0.445	0.403	0.473	0.055	11.652
120 - 180	0.434	0.528	0.512	0.429	0.452	0.434	0.425	0.482	0.443	0.433	0.457	0.035	7.659
180 - 240	0.445	0.420	0.426	0.436	0.489	0.443	0.407	0.388	0.334	0.404	0.419	0.039	9.255

Tabela K5 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.291	1.338	1.313	1.303	1.315	1.346	1.342	1.276	1.318	1.349	1.319	0.023	1.774
60 - 120	0.447	0.484	0.559	0.647	0.441	0.512	0.647	0.568	0.535	0.676	0.552	0.080	14.441
120 - 180	0.524	0.598	0.448	0.605	0.492	0.419	0.521	0.484	0.522	0.421	0.503	0.062	12.238
180 - 240	0.472	0.485	0.421	0.578	0.603	0.467	0.573	0.710	0.577	0.480	0.537	0.082	15.277

Tabela K6 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.504	1.550	1.576	1.460	1.593	1.407	1.594	1.558	1.532	1.611	1.538	0.062	3.999
60 - 120	0.328	0.508	0.521	0.433	0.396	0.431	0.603	0.451	0.541	0.624	0.484	0.088	18.210
120 - 180	0.661	0.544	0.590	0.544	0.709	0.513	0.649	0.398	0.562	0.430	0.560	0.093	16.680
180 - 240	0.594	0.458	0.573	0.495	0.502	0.490	0.504	0.659	0.482	0.555	0.531	0.059	11.129

Tabela K7 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.223	1.220	1.244	1.302	1.241	1.223	1.296	1.257	1.377	1.224	1.261	0.048	3.793
60 - 120	0.487	0.445	0.461	0.536	0.543	0.482	0.532	0.553	0.576	0.525	0.514	0.041	7.883
120 - 180	0.496	0.533	0.500	0.503	0.559	0.605	0.610	0.541	0.498	0.539	0.538	0.040	7.451
180 - 240	0.448	0.487	0.470	0.501	0.436	0.460	0.491	0.529	0.586	0.584	0.499	0.050	9.959

Tabela K8 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.573	1.547	1.621	1.530	1.611	1.798	1.521	1.441	1.484	1.757	1.588	0.108	6.790
60 - 120	0.567	0.628	0.528	0.257	0.611	0.720	0.657	0.694	0.742	0.819	0.622	0.147	23.546
120 - 180	0.590	0.597	0.606	0.375	0.685	0.562	0.717	0.652	0.612	0.703	0.610	0.093	15.174
180 - 240	0.755	0.749	0.700	0.455	0.641	0.592	0.645	0.611	0.664	0.436	0.625	0.103	16.507

Tabela K9 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.645	1.719	1.728	1.807	1.780	1.669	1.725	1.885	1.836	1.847	1.764	0.075	4.269
60 - 120	0.832	0.770	0.688	0.699	0.826	0.809	0.815	0.775	0.604	0.902	0.772	0.082	10.626
120 - 180	0.765	0.704	0.798	0.792	0.729	0.713	0.678	0.831	0.706	0.765	0.748	0.047	6.302
180 - 240	0.535	0.743	0.635	0.694	0.654	0.654	0.692	0.610	0.698	0.580	0.650	0.059	9.078

Tabela K10 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.388	1.391	1.596	1.451	1.367	1.401	1.522	1.423	2.335	1.371	1.524	0.279	18.287
60 - 120	1.062	0.824	1.011	0.850	0.907	0.848	0.975	0.851	0.990	0.975	0.929	0.079	8.527
120 - 180	0.844	0.874	0.899	0.872	0.770	0.889	0.806	0.823	0.850	0.928	0.856	0.045	5.204
180 - 240	1.001	1.021	0.848	0.999	0.883	0.882	0.942	0.720	1.164	1.022	0.948	0.115	12.173

Tabela K11 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.610	2.186	2.806	1.823	2.013	1.617	1.836	1.666	1.750	1.928	1.923	0.341	17.725
60 - 120	1.162	0.871	1.118	1.061	1.609	1.194	1.112	1.286	1.107	1.347	1.187	0.186	15.678
120 - 180	0.930	0.930	1.016	1.184	1.133	1.126	1.215	1.296	1.142	0.941	1.091	0.123	11.292
180 - 240	1.052	1.040	1.089	1.257	1.143	1.211	1.456	1.079	1.251	0.691	1.127	0.188	16.721

Tabela K12 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.811	1.928	1.784	1.937	1.951	1.901	2.165	2.250	1.967	2.047	1.974	0.138	6.977
60 - 120	1.199	1.091	1.214	1.312	0.987	1.357	1.330	1.283	1.112	1.261	1.214	0.113	9.317
120 - 180	1.405	1.174	1.082	1.340	1.352	1.557	1.094	1.293	1.243	1.489	1.303	0.150	11.550
180 - 240	1.050	1.187	1.336	1.144	1.192	1.359	1.202	1.206	1.254	1.162	1.209	0.086	7.083

Tabela K13 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.177	1.177	1.178	1.176	1.184	1.177	1.185	1.171	1.171	1.149	1.174	0.010	0.812
60 - 120	0.329	0.317	0.273	0.307	0.352	0.280	0.335	0.286	0.344	0.305	0.313	0.026	8.325
120 - 180	0.421	0.335	0.371	0.401	0.312	0.336	0.337	0.398	0.417	0.380	0.371	0.037	9.908
180 - 240	0.329	0.327	0.351	0.323	0.339	0.377	0.382	0.388	0.356	0.397	0.357	0.026	7.336

Tabela K14 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.381	1.424	1.433	1.424	1.437	1.409	1.390	1.418	1.392	1.393	1.410	0.019	1.343
60 - 120	0.463	0.396	0.393	0.436	0.415	0.401	0.452	0.405	0.429	0.464	0.425	0.026	6.148
120 - 180	0.450	0.383	0.440	0.401	0.399	0.425	0.403	0.447	0.407	0.458	0.421	0.025	5.871
180 - 240	0.391	0.353	0.341	0.360	0.364	0.405	0.306	0.405	0.335	0.339	0.360	0.031	8.502

Tabela K15 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.062	1.070	1.064	1.088	1.069	1.082	1.077	1.072	1.066	1.060	1.071	0.008	0.793
60 - 120	0.237	0.241	0.267	0.211	0.216	0.291	0.246	0.210	0.203	0.226	0.235	0.026	11.255
120 - 180	0.296	0.283	0.258	0.281	0.251	0.228	0.213	0.248	0.275	0.255	0.259	0.024	9.433
180 - 240	0.231	0.225	0.240	0.229	0.252	0.233	0.255	0.241	0.219	0.245	0.237	0.011	4.689

Tabela K16 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.261	1.292	1.271	1.283	1.274	1.252	1.243	1.274	1.269	1.233	1.265	0.017	1.364
60 - 120	0.286	0.319	0.288	0.257	0.301	0.233	0.268	0.285	0.260	0.284	0.278	0.023	8.306
120 - 180	0.259	0.255	0.277	0.271	0.249	0.303	0.276	0.242	0.287	0.338	0.276	0.027	9.869
180 - 240	0.274	0.293	0.279	0.302	0.251	0.303	0.296	0.326	0.305	0.257	0.289	0.022	7.598

Tabela K17 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.663	1.683	1.616	1.701	1.693	1.579	1.640	1.638	1.671	1.626	1.651	0.036	2.184
60 - 120	0.894	0.803	0.707	0.855	0.889	0.840	0.790	0.704	0.696	0.709	0.789	0.076	9.593
120 - 180	0.934	0.821	0.817	0.730	0.747	0.676	0.769	0.758	0.766	0.804	0.782	0.065	8.320
180 - 240	0.708	0.763	0.735	0.738	0.741	0.812	0.710	0.944	0.869	0.928	0.795	0.084	10.621

Tabela K18 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.873	1.905	1.851	1.896	1.782	1.752	1.711	1.800	1.853	1.752	1.818	0.064	3.515
60 - 120	0.923	0.819	0.958	0.916	0.860	1.003	0.814	0.689	0.949	0.792	0.872	0.090	10.324
120 - 180	0.882	1.032	0.951	0.937	1.111	0.771	0.861	0.899	0.875	0.878	0.920	0.090	9.834
180 - 240	0.804	0.762	0.766	0.927	0.890	1.272	0.764	0.771	0.982	0.769	0.871	0.154	17.632

Tabela K19 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.250	1.172	1.248	1.294	1.251	1.168	1.211	1.186	1.209	1.194	1.218	0.039	3.200
60 - 120	0.429	0.483	0.441	0.502	0.463	0.484	0.424	0.430	0.440	0.487	0.458	0.027	5.991
120 - 180	0.370	0.358	0.451	0.390	0.434	0.476	0.401	0.389	0.445	0.422	0.414	0.036	8.747
180 - 240	0.418	0.500	0.467	0.462	0.482	0.505	0.579	0.476	0.488	0.497	0.487	0.039	7.936

Tabela K20 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.507	1.461	1.444	1.469	1.483	1.427	1.470	1.472	1.429	1.521	1.468	0.029	1.968
60 - 120	0.483	0.539	0.529	0.546	0.515	0.479	0.571	0.656	0.564	0.520	0.540	0.048	8.913
120 - 180	0.424	0.446	0.501	0.398	0.407	0.438	0.409	0.441	0.501	0.534	0.450	0.044	9.801
180 - 240	0.554	0.568	0.646	0.542	0.593	0.711	0.629	0.494	0.687	0.639	0.606	0.065	10.662

Tabela K21 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.632	1.603	1.704	1.552	1.748	1.606	1.619	1.602	1.680	1.638	1.639	0.054	3.319
60 - 120	0.669	0.800	0.765	0.550	0.626	0.576	0.694	0.744	0.632	0.610	0.666	0.079	11.827
120 - 180	0.571	0.486	0.530	0.552	0.558	0.435	0.498	0.534	0.534	0.508	0.521	0.038	7.325
180 - 240	0.772	0.554	0.756	0.858	0.689	0.824	0.686	0.590	0.766	0.801	0.730	0.094	12.852

Tabela K22 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.723	1.748	1.816	1.741	1.860	1.793	1.706	1.839	1.760	1.720	1.771	0.051	2.860
60 - 120	0.768	0.734	0.778	0.648	0.628	0.809	0.729	0.725	0.592	0.811	0.722	0.072	10.009
120 - 180	0.469	0.616	0.429	0.533	0.548	0.553	0.457	0.572	0.643	0.572	0.539	0.066	12.164
180 - 240	0.434	0.575	0.693	0.614	0.545	0.600	0.556	0.583	0.545	0.589	0.573	0.062	10.799

Tabela K23 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.569	1.546	1.533	1.596	1.579	1.578	1.602	1.575	1.557	1.553	1.569	0.021	1.319
60 - 120	0.259	0.212	0.319	0.280	0.202	0.245	0.208	0.227	0.198	0.167	0.232	0.043	18.346
120 - 180	0.223	0.234	0.284	0.187	0.215	0.224	0.233	0.257	0.281	0.257	0.239	0.029	12.030
180 - 240	0.305	0.309	0.282	0.215	0.265	0.258	0.267	0.227	0.291	0.293	0.271	0.030	11.005

Tabela K24 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.248	1.274	1.277	1.260	1.234	1.237	1.253	1.267	1.248	1.267	1.256	0.014	1.126
60 - 120	0.301	0.268	0.263	0.262	0.262	0.297	0.285	0.257	0.260	0.287	0.274	0.016	5.759
120 - 180	0.210	0.256	0.249	0.220	0.244	0.207	0.254	0.263	0.199	0.230	0.233	0.022	9.359
180 - 240	0.271	0.238	0.208	0.238	0.220	0.249	0.226	0.259	0.225	0.278	0.241	0.022	9.003

Tabela K25 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.402	1.367	1.387	1.403	1.463	1.429	1.359	1.429	1.452	1.402	1.409	0.032	2.301
60 - 120	0.318	0.379	0.272	0.362	0.354	0.328	0.288	0.293	0.290	0.348	0.323	0.035	10.756
120 - 180	0.162	0.230	0.264	0.214	0.235	0.214	0.209	0.215	0.264	0.240	0.225	0.028	12.595
180 - 240	0.229	0.216	0.253	0.242	0.195	0.204	0.276	0.263	0.301	0.290	0.247	0.034	13.885

Tabela K26 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.546	1.542	1.562	1.540	1.572	1.570	1.576	1.568	1.592	1.553	1.562	0.016	1.017
60 - 120	0.337	0.365	0.310	0.404	0.335	0.413	0.350	0.375	0.380	0.246	0.352	0.046	13.171
120 - 180	0.265	0.281	0.274	0.256	0.212	0.283	0.243	0.248	0.257	0.263	0.258	0.020	7.613
180 - 240	0.337	0.274	0.349	0.253	0.312	0.241	0.363	0.295	0.232	0.258	0.291	0.045	15.399

Tabela K27 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.336	1.394	1.320	1.419	1.389	1.398	1.352	1.333	1.303	1.413	1.366	0.040	2.902
60 - 120	0.434	0.448	0.418	0.459	0.452	0.427	0.508	0.416	0.575	0.490	0.463	0.047	10.162
120 - 180	0.563	0.550	0.462	0.594	0.585	0.514	0.594	0.604	0.610	0.509	0.558	0.047	8.347
180 - 240	0.539	0.456	0.472	0.515	0.465	0.574	0.483	0.531	0.442	0.465	0.494	0.041	8.283

Tabela K28 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.641	1.628	1.646	1.669	1.672	1.663	1.627	1.643	1.644	1.614	1.645	0.018	1.085
60 - 120	0.629	0.625	0.559	0.630	0.578	0.730	0.788	0.511	0.753	0.669	0.647	0.084	12.969
120 - 180	0.608	0.642	0.714	0.703	0.590	0.723	0.736	0.706	0.701	0.642	0.676	0.049	7.218
180 - 240	0.541	0.513	0.571	0.478	0.601	0.626	0.562	0.563	0.580	0.522	0.556	0.041	7.416

Tabela K29 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.873	2.095	1.840	2.005	2.020	2.009	1.825	2.131	1.924	1.894	1.962	0.101	5.134
60 - 120	0.988	0.949	1.000	0.963	0.791	0.864	1.066	0.763	0.864	1.465	0.971	0.188	19.341
120 - 180	1.215	1.352	1.035	1.448	1.268	1.303	1.267	1.058	1.263	0.904	1.211	0.156	12.840
180 - 240	0.943	1.005	0.964	1.119	1.062	0.898	0.879	1.044	1.025	1.178	1.012	0.090	8.877

Tabela K30 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.349	1.324	1.335	1.403	1.265	1.321	1.381	1.444	1.298	1.331	1.345	0.049	3.676
60 - 120	0.688	0.650	0.642	0.637	0.693	0.630	0.595	0.604	0.671	0.718	0.653	0.038	5.749
120 - 180	0.658	0.814	0.613	0.686	0.809	0.762	0.721	0.760	0.623	0.732	0.718	0.068	9.454
180 - 240	0.684	0.771	0.812	0.768	0.745	0.652	0.680	0.609	0.856	0.598	0.717	0.082	11.435

Tabela K31 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.801	1.520	1.677	1.485	1.678	1.440	1.427	1.360	1.381	1.373	1.514	0.145	9.592
60 - 120	0.654	0.717	0.861	0.606	0.803	0.390	0.490	0.463	0.456	0.438	0.588	0.157	26.717
120 - 180	0.786	0.813	0.835	0.807	0.770	0.412	0.366	0.495	0.418	0.446	0.615	0.190	30.971
180 - 240	0.830	0.747	0.836	0.827	0.834	0.479	0.508	0.454	0.298	0.433	0.625	0.199	31.809

Tabela K32 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.561	1.508	1.489	1.542	1.486	1.607	1.557	1.475	1.446	1.442	1.511	0.051	3.384
60 - 120	0.421	0.538	0.680	0.726	1.071	0.710	0.895	1.048	0.961	1.108	0.816	0.224	27.487
120 - 180	0.452	0.530	0.407	0.527	0.523	0.413	0.473	0.565	0.435	0.499	0.483	0.052	10.748
180 - 240	0.512	0.518	0.475	0.545	0.412	0.480	0.460	0.425	0.408	0.465	0.470	0.044	9.321

Tabela K33 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.143	1.142	1.162	1.167	1.146	1.160	1.158	1.144	1.145	1.148	1.151	0.009	0.747
60 - 120	0.262	0.240	0.227	0.232	0.249	0.246	0.246	0.314	0.252	0.291	0.256	0.026	9.999
120 - 180	0.258	0.272	0.283	0.271	0.263	0.280	0.261	0.281	0.251	0.288	0.271	0.012	4.261
180 - 240	0.267	0.260	0.293	0.261	0.284	0.291	0.285	0.287	0.286	0.259	0.277	0.013	4.727

Tabela K34 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.330	1.381	1.368	1.376	1.357	1.381	1.365	1.370	1.386	1.355	1.367	0.016	1.151
60 - 120	0.373	0.346	0.256	0.355	0.307	0.381	0.380	0.339	0.316	0.316	0.337	0.037	11.062
120 - 180	0.314	0.327	0.411	0.315	0.314	0.339	0.371	0.240	0.366	0.359	0.336	0.044	12.995
180 - 240	0.340	0.328	0.334	0.313	0.336	0.323	0.309	0.332	0.324	0.349	0.329	0.011	3.478

Tabela K35 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.548	1.566	1.492	1.618	1.580	1.549	1.544	1.560	1.544	1.615	1.562	0.035	2.242
60 - 120	0.497	0.549	0.535	0.424	0.493	0.462	0.440	0.450	0.584	0.522	0.496	0.049	9.963
120 - 180	0.509	0.485	0.477	0.533	0.567	0.477	0.559	0.490	0.420	0.428	0.494	0.047	9.474
180 - 240	0.456	0.449	0.588	0.550	0.433	0.496	0.436	0.538	0.541	0.504	0.499	0.051	10.303

Tabela K36 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.719	1.773	1.712	1.703	1.694	1.683	1.707	1.702	1.660	1.682	1.703	0.028	1.660
60 - 120	0.548	0.559	0.578	0.616	0.566	0.483	0.497	0.539	0.579	0.571	0.553	0.037	6.767
120 - 180	0.568	0.371	0.449	0.447	0.436	0.648	0.495	0.501	0.467	0.567	0.495	0.076	15.391
180 - 240	0.575	0.515	0.499	0.590	0.477	0.529	0.469	0.566	0.470	0.573	0.526	0.045	8.471

Tabela K37 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.062	1.038	1.053	1.047	1.054	1.053	1.057	1.061	1.051	1.044	1.052	0.007	0.673
60 - 120	0.182	0.197	0.194	0.201	0.174	0.177	0.175	0.173	0.175	0.200	0.185	0.011	5.975
120 - 180	0.172	0.165	0.195	0.197	0.188	0.195	0.168	0.191	0.188	0.163	0.182	0.013	7.059
180 - 240	0.158	0.175	0.166	0.184	0.190	0.171	0.160	0.168	0.172	0.147	0.169	0.012	6.965

Tabela K38 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.222	1.237	1.247	1.237	1.248	1.229	1.251	1.239	1.220	1.241	1.237	0.010	0.817
60 - 120	0.224	0.196	0.204	0.243	0.259	0.242	0.249	0.201	0.229	0.242	0.229	0.021	9.180
120 - 180	0.216	0.219	0.197	0.195	0.236	0.206	0.188	0.183	0.207	0.215	0.206	0.015	7.345
180 - 240	0.198	0.162	0.219	0.197	0.190	0.191	0.181	0.155	0.217	0.198	0.191	0.020	10.319

Tabela K39 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.324	1.356	1.364	1.376	1.341	1.361	1.320	1.320	1.351	1.313	1.342	0.021	1.569
60 - 120	0.321	0.296	0.317	0.330	0.327	0.331	0.273	0.302	0.321	0.287	0.311	0.019	6.071
120 - 180	0.246	0.236	0.252	0.266	0.235	0.212	0.229	0.252	0.239	0.284	0.245	0.019	7.744
180 - 240	0.287	0.214	0.290	0.223	0.236	0.237	0.269	0.228	0.288	0.313	0.258	0.033	12.819

Tabela K40 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.453	1.397	1.446	1.424	1.463	1.462	1.391	1.456	1.453	1.418	1.436	0.025	1.770
60 - 120	0.235	0.263	0.351	0.366	0.360	0.321	0.319	0.345	0.328	0.300	0.319	0.040	12.654
120 - 180	0.189	0.242	0.289	0.267	0.308	0.210	0.328	0.274	0.201	0.231	0.254	0.045	17.562
180 - 240	0.370	0.326	0.260	0.329	0.267	0.295	0.245	0.342	0.372	0.360	0.316	0.045	14.144

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela K41 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.228	1.201	1.211	1.293	1.188	1.229	1.227	1.288	1.223	1.222	1.231	0.032	2.617
60 - 120	0.579	0.643	0.633	0.557	0.728	0.666	0.658	0.568	0.578	0.545	0.615	0.056	9.100
120 - 180	0.616	0.571	0.570	0.590	0.566	0.594	0.520	0.537	0.579	0.618	0.576	0.030	5.126
180 - 240	0.534	0.616	0.509	0.529	0.542	0.591	0.515	0.523	0.551	0.565	0.548	0.032	5.926

Tabela K42 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.472	1.410	1.423	1.507	1.415	1.566	1.534	1.511	1.444	1.589	1.487	0.061	4.090
60 - 120	0.647	0.734	0.714	0.633	0.764	0.781	0.797	0.773	0.730	0.716	0.729	0.052	7.126
120 - 180	0.751	0.723	0.635	0.694	0.768	0.804	0.660	0.688	0.719	0.711	0.715	0.048	6.683
180 - 240	0.684	0.528	0.715	0.670	0.691	0.506	0.649	0.666	0.536	0.557	0.620	0.075	12.100

Tabela K43 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.761	1.912	1.690	1.654	1.715	2.001	1.664	1.799	1.948	1.662	1.781	0.123	6.904
60 - 120	0.857	0.622	0.794	0.618	0.630	0.755	0.712	0.873	0.726	0.629	0.722	0.092	12.788
120 - 180	0.731	0.835	0.687	0.821	0.852	0.681	0.822	0.820	0.675	0.729	0.765	0.068	8.822
180 - 240	0.828	0.533	0.695	0.610	0.547	0.646	0.496	0.674	0.666	0.805	0.650	0.104	15.998

Tabela K44 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.173	1.116	1.142	1.219	1.151	1.161	1.164	1.175	1.179	1.135	1.162	0.027	2.307
60 - 120	0.470	0.527	0.430	0.401	0.483	0.472	0.549	0.454	0.413	0.470	0.467	0.044	9.485
120 - 180	0.444	0.539	0.523	0.439	0.462	0.380	0.492	0.452	0.442	0.456	0.463	0.043	9.347
180 - 240	0.455	0.427	0.435	0.448	0.502	0.435	0.397	0.341	0.413	0.407	0.426	0.040	9.366

Tabela K45 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.356	1.318	1.412	1.330	1.348	1.326	1.359	1.292	1.335	1.365	1.344	0.031	2.291
60 - 120	0.490	0.662	0.570	0.452	0.615	0.658	0.658	0.582	0.546	0.691	0.592	0.075	12.675
120 - 180	0.611	0.613	0.605	0.506	0.582	0.679	0.532	0.497	0.533	0.428	0.559	0.069	12.384
180 - 240	0.495	0.591	0.509	0.613	0.629	0.572	0.585	0.724	0.589	0.488	0.579	0.067	11.634

Tabela K46 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.520	1.572	1.596	1.757	1.613	1.714	1.616	1.575	1.552	1.631	1.615	0.068	4.242
60 - 120	0.336	0.517	0.532	0.749	0.407	0.738	0.618	0.459	0.549	0.637	0.554	0.127	23.002
120 - 180	0.675	0.552	0.603	0.582	0.726	0.569	0.657	0.404	0.576	0.438	0.578	0.094	16.298
180 - 240	0.608	0.468	0.588	0.521	0.509	0.414	0.518	0.672	0.493	0.564	0.536	0.071	13.186

Tabela K47 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.241	1.238	1.261	1.321	1.258	1.240	1.315	1.277	1.400	1.242	1.279	0.050	3.877
60 - 120	0.498	0.457	0.471	0.548	0.557	0.495	0.547	0.564	0.593	0.537	0.527	0.042	7.970
120 - 180	0.509	0.545	0.512	0.516	0.569	0.617	0.623	0.553	0.508	0.553	0.550	0.040	7.316
180 - 240	0.464	0.498	0.480	0.523	0.447	0.469	0.508	0.543	0.601	0.598	0.513	0.051	9.942

Tabela K48 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.567	1.645	1.465	1.554	1.639	1.819	1.544	1.462	1.504	2.382	1.658	0.261	15.763
60 - 120	0.644	0.541	0.687	0.261	0.627	0.731	0.670	0.708	0.761	0.707	0.634	0.137	21.644
120 - 180	0.617	0.619	0.145	0.382	0.699	0.580	0.732	0.666	0.629	0.723	0.579	0.173	29.861
180 - 240	0.756	0.716	0.110	0.466	0.657	0.605	0.658	0.625	0.676	0.630	0.590	0.176	29.776

Tabela K49 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.666	1.741	1.748	1.832	1.804	1.694	1.747	1.914	1.856	1.865	1.787	0.076	4.257
60 - 120	0.853	0.790	0.700	0.715	0.840	0.822	0.834	0.790	0.614	0.918	0.788	0.084	10.661
120 - 180	0.777	0.726	0.824	0.817	0.752	0.733	0.700	0.861	0.722	0.789	0.770	0.050	6.432
180 - 240	0.550	0.764	0.646	0.712	0.665	0.674	0.715	0.628	0.713	0.599	0.667	0.060	9.011

Tabela K50 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.414	1.619	1.478	1.387	1.423	1.548	1.446	2.390	1.398		1.567	0.300	19.123
60 - 120	1.087	1.036	0.871	0.930	0.875	1.002	0.875	1.016	0.995		0.965	0.075	7.807
120 - 180	0.865	0.920	0.896	0.792	0.915	0.830	0.840	0.871	0.948		0.875	0.047	5.332
180 - 240	1.030	0.867	1.025	0.907	0.909	0.969	0.738	1.195	1.048		0.965	0.123	12.699

Tabela K51 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	2.236	2.852	1.859	3.831	2.052	1.649	1.870	1.691	1.783	3.626	2.345	0.768	32.740
60 - 120	0.891	1.142	1.085	1.154	1.638	1.216	1.141	1.315	1.138	1.119	1.184	0.182	15.357
120 - 180	0.956	1.047	1.219	1.138	1.181	1.163	1.259	1.329	1.176	1.245	1.171	0.102	8.675
180 - 240	1.066	1.119	1.290	1.311	1.159	1.231	1.486	1.105	1.279	1.276	1.232	0.118	9.598

Tabela K52 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.843	1.962	1.815	1.978	1.986	1.940	2.207	2.281	2.005	2.073	2.009	0.138	6.887
60 - 120	1.227	1.116	1.245	1.331	1.024	1.378	1.368	1.308	1.137	1.293	1.243	0.111	8.965
120 - 180	1.435	1.199	1.111	1.377	1.390	1.592	1.122	1.332	1.271	1.529	1.336	0.154	11.516
180 - 240	1.078	1.221	1.358	1.168	1.218	1.385	1.227	1.235	1.282	1.184	1.236	0.085	6.880

Tabela K53 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.191	1.191	1.192	1.190	1.200	1.191	1.187	1.201	1.184	1.165	1.189	0.009	0.791
60 - 120	0.341	0.329	0.281	0.318	0.364	0.289	0.278	0.346	0.294	0.314	0.315	0.028	8.888
120 - 180	0.432	0.348	0.382	0.413	0.322	0.346	0.305	0.346	0.410	0.390	0.369	0.040	10.763
180 - 240	0.338	0.337	0.360	0.333	0.350	0.386	0.385	0.394	0.397	0.406	0.368	0.027	7.230

Tabela K54 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.397	1.441	1.450	1.440	1.452	1.424	1.406	1.435	1.410	1.411	1.427	0.019	1.304
60 - 120	0.474	0.406	0.403	0.446	0.425	0.413	0.463	0.412	0.440	0.473	0.436	0.026	6.028
120 - 180	0.461	0.392	0.454	0.411	0.408	0.434	0.414	0.459	0.415	0.469	0.432	0.026	5.988
180 - 240	0.401	0.363	0.349	0.368	0.372	0.415	0.314	0.414	0.342	0.349	0.369	0.031	8.494

Tabela K55 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.073	1.082	1.076	1.100	1.081	1.094	1.089	1.086	1.078	1.073	1.083	0.009	0.790
60 - 120	0.243	0.247	0.273	0.215	0.222	0.298	0.253	0.216	0.208	0.231	0.240	0.027	11.219
120 - 180	0.304	0.289	0.264	0.287	0.257	0.233	0.218	0.253	0.281	0.260	0.265	0.025	9.427
180 - 240	0.237	0.230	0.246	0.234	0.258	0.238	0.261	0.246	0.224	0.252	0.243	0.011	4.687

Tabela K56 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.276	1.306	1.285	1.308	1.299	1.289	1.266	1.290	1.284	1.249	1.285	0.017	1.338
60 - 120	0.292	0.325	0.294	0.294	0.262	0.308	0.238	0.292	0.266	0.290	0.286	0.024	8.217
120 - 180	0.264	0.260	0.282	0.307	0.277	0.254	0.310	0.245	0.294	0.344	0.284	0.029	10.154

Tabela K57 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.686	1.709	1.641	1.731	1.717	1.601	1.664	1.667	1.697	1.645	1.676	0.038	2.262
60 - 120	0.918	0.829	0.731	0.887	0.912	0.865	0.810	0.725	0.716	0.731	0.812	0.077	9.533
120 - 180	0.956	0.848	0.842	0.749	0.772	0.695	0.785	0.780	0.787	0.830	0.805	0.067	8.291
180 - 240	0.725	0.786	0.750	0.757	0.757	0.837	0.735	0.976	0.902	0.955	0.818	0.089	10.920

Tabela K58 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos no veículo de passeio com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.903	1.937	1.777	1.871	1.925	1.808	1.776	1.832	1.880	1.787	1.850	0.058	3.162
60 - 120	0.953	0.845	0.896	0.983	0.937	0.884	1.030	0.703	0.973	0.811	0.901	0.091	10.119
120 - 180	0.916	1.068	1.002	0.976	0.966	1.136	0.797	0.928	0.908	0.903	0.960	0.090	9.346
180 - 240	0.820	0.785	0.858	0.780	0.953	0.916	1.303	0.788	1.007	0.791	0.900	0.154	17.106

Tabela K59 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.264	1.187	1.264	1.311	1.268	1.185	1.229	1.201	1.225	1.211	1.234	0.039	3.161
60 - 120	0.440	0.496	0.452	0.515	0.476	0.496	0.434	0.439	0.452	0.499	0.470	0.029	6.069
120 - 180	0.381	0.367	0.461	0.400	0.445	0.489	0.411	0.400	0.458	0.434	0.425	0.037	8.688
180 - 240	0.430	0.518	0.480	0.475	0.495	0.519	0.592	0.488	0.500	0.508	0.501	0.039	7.812

Tabela K60 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.526	1.483	1.460	1.487	1.501	1.453	1.491	1.494	1.469	1.450	1.481	0.022	1.511
60 - 120	0.492	0.553	0.540	0.556	0.529	0.491	0.583	0.669	0.609	0.576	0.560	0.051	9.086
120 - 180	0.434	0.456	0.512	0.408	0.417	0.449	0.419	0.450	0.439	0.515	0.450	0.035	7.818
180 - 240	0.568	0.585	0.659	0.555	0.608	0.728	0.644	0.506	0.599	0.702	0.615	0.065	10.538

Tabela K61 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.651	1.628	1.722	1.575	1.766	1.632	1.642	1.707	1.654	1.755	1.673	0.058	3.493
60 - 120	0.686	0.816	0.781	0.561	0.639	0.588	0.707	0.643	0.624	0.621	0.667	0.077	11.623
120 - 180	0.582	0.500	0.543	0.565	0.577	0.445	0.510	0.548	0.517	0.535	0.533	0.039	7.334
180 - 240	0.789	0.565	0.770	0.884	0.702	0.846	0.702	0.787	0.821	0.748	0.761	0.085	11.225

Tabela K62 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.741	1.770	1.833	1.764	1.876	1.817	1.728	1.861	1.782	1.740	1.791	0.050	2.777
60 - 120	0.780	0.747	0.789	0.655	0.639	0.823	0.744	0.751	0.617	0.823	0.737	0.071	9.610
120 - 180	0.478	0.626	0.441	0.544	0.556	0.562	0.466	0.573	0.648	0.586	0.548	0.064	11.760
180 - 240	0.444	0.588	0.703	0.631	0.558	0.613	0.566	0.595	0.557	0.609	0.586	0.063	10.669

Tabela K63 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.084	1.068	1.105	1.087	1.092	1.103	1.086	1.071	1.119	1.068	1.088	0.016	1.469
60 - 120	0.268	0.276	0.221	0.239	0.223	0.257	0.247	0.288	0.241	0.273	0.253	0.022	8.528
120 - 180	0.218	0.207	0.228	0.216	0.211	0.209	0.212	0.224	0.184	0.215	0.212	0.011	5.308
180 - 240	0.223	0.248	0.237	0.207	0.251	0.204	0.235	0.240	0.256	0.262	0.236	0.019	7.868

Tabela K64 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.261	1.288	1.292	1.311	1.274	1.252	1.267	1.281	1.264	1.283	1.277	0.017	1.294
60 - 120	0.307	0.272	0.268	0.275	0.267	0.303	0.292	0.263	0.265	0.292	0.280	0.016	5.561
120 - 180	0.213	0.262	0.253	0.234	0.225	0.212	0.260	0.270	0.204	0.236	0.237	0.022	9.394
180 - 240	0.276	0.242	0.211	0.223	0.242	0.253	0.230	0.262	0.228	0.284	0.245	0.022	9.079

Tabela K65 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.417	1.383	1.402	1.421	1.471	1.480	1.447	1.445	1.468	1.421	1.436	0.030	2.115
60 - 120	0.324	0.389	0.279	0.369	0.368	0.363	0.334	0.298	0.296	0.356	0.338	0.035	10.483
120 - 180	0.164	0.235	0.269	0.217	0.259	0.240	0.218	0.220	0.269	0.245	0.234	0.030	12.759
180 - 240	0.235	0.221	0.258	0.247	0.329	0.198	0.210	0.267	0.306	0.296	0.257	0.041	15.965

Tabela K66 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Araucária medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.563	1.559	1.556	1.588	1.590	1.594	1.587	1.610	1.645	1.677	1.597	0.037	2.291
60 - 120	0.344	0.372	0.411	0.340	0.419	0.356	0.382	0.389	0.318	0.332	0.366	0.032	8.804
120 - 180	0.270	0.286	0.259	0.218	0.287	0.247	0.252	0.263	0.273	0.209	0.256	0.025	9.622
180 - 240	0.342	0.280	0.257	0.316	0.247	0.370	0.299	0.235	0.329	0.281	0.296	0.041	14.012

Tabela K67 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.417	1.340	1.445	1.411	1.421	1.374	1.355	1.322	1.439		1.392	0.043	3.057
60 - 120	0.458	0.432	0.472	0.464	0.439	0.525	0.427	0.595	0.504		0.479	0.051	10.636
120 - 180	0.564	0.475	0.609	0.599	0.528	0.608	0.618	0.622	0.524		0.572	0.049	8.601
180 - 240	0.469	0.484	0.530	0.480	0.589	0.498	0.545	0.454	0.475		0.503	0.041	8.146

Tabela K68 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.666	1.654	1.672	1.697	1.702	1.691	1.649	1.671	1.675	1.642	1.672	0.019	1.159
60 - 120	0.647	0.644	0.577	0.646	0.594	0.754	0.815	0.529	0.777	0.687	0.667	0.087	13.049
120 - 180	0.632	0.660	0.737	0.727	0.613	0.744	0.760	0.727	0.725	0.665	0.699	0.049	7.004
180 - 240	0.559	0.526	0.589	0.494	0.624	0.646	0.584	0.578	0.602	0.538	0.574	0.044	7.609

Tabela K69 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.905	2.137	2.042	2.052	2.045	1.858	2.163	1.952	1.924	1.642	1.972	0.145	7.343
60 - 120	1.017	0.978	0.984	0.816	0.886	1.092	0.788	0.886	1.479	1.271	1.020	0.203	19.946
120 - 180	1.261	1.394	1.495	1.306	1.344	1.311	1.095	1.310	0.931	1.143	1.259	0.154	12.225
180 - 240	0.961	1.043	1.148	1.093	0.932	0.903	1.072	1.055	1.208	1.015	1.043	0.090	8.645

Tabela K70 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.370	1.347	1.362	1.284	1.341	1.345	1.402	1.469	1.317	1.355	1.359	0.047	3.451
60 - 120	0.705	0.668	0.659	0.712	0.646	0.608	0.607	0.619	0.689	0.738	0.665	0.043	6.502
120 - 180	0.673	0.833	0.627	0.828	0.783	0.765	0.740	0.779	0.639	0.752	0.742	0.069	9.334
180 - 240	0.702	0.792	0.833	0.767	0.671	0.664	0.699	0.626	0.878	0.611	0.724	0.085	11.720

Tabela K71 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.827	1.547	1.695	1.513	1.716	1.914	1.869	1.459	1.445	1.375	1.636	0.184	11.222
60 - 120	0.668	0.739	0.883	0.617	0.812	0.818	0.745	0.397	0.497	0.470	0.665	0.157	23.547
120 - 180	0.807	0.832	0.851	0.828	0.789	0.891	0.865	0.421	0.372	0.506	0.716	0.190	26.498
180 - 240	0.849	0.767	0.857	0.850	0.857	0.908	1.057	0.491	0.520	0.463	0.762	0.191	25.006

Tabela K72 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. José Maria de Brito medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.578	1.526	1.511	1.560	1.501	1.628	1.574	1.493	1.465	1.460	1.530	0.051	3.359
60 - 120	0.429	0.543	0.689	0.732	1.090	0.721	0.907	1.063	0.975	1.126	0.827	0.228	27.580
120 - 180	0.461	0.544	0.417	0.537	0.533	0.420	0.481	0.578	0.444	0.507	0.492	0.053	10.816
180 - 240	0.521	0.529	0.483	0.558	0.421	0.489	0.469	0.435	0.417	0.474	0.480	0.045	9.319

Tabela K73 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.155	1.155	1.174	1.178	1.181	1.160	1.171	1.170	1.158	1.161	1.166	0.009	0.784
60 - 120	0.269	0.247	0.233	0.239	0.276	0.255	0.252	0.252	0.258	0.299	0.258	0.018	7.072
120 - 180	0.266	0.280	0.290	0.277	0.286	0.270	0.288	0.269	0.259	0.295	0.278	0.011	4.066
180 - 240	0.274	0.267	0.300	0.268	0.265	0.292	0.298	0.293	0.293	0.266	0.281	0.014	5.035

Tabela K74 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.344	1.396	1.387	1.393	1.374	1.398	1.380	1.386	1.403	1.372	1.383	0.016	1.168
60 - 120	0.381	0.354	0.262	0.364	0.315	0.390	0.388	0.344	0.329	0.325	0.345	0.037	10.841
120 - 180	0.322	0.336	0.422	0.325	0.325	0.349	0.379	0.246	0.368	0.369	0.344	0.044	12.802
180 - 240	0.348	0.334	0.346	0.322	0.347	0.332	0.318	0.340	0.333	0.359	0.338	0.012	3.578

Tabela K75 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.566	1.514	1.586	1.510	1.599	1.566	1.564	1.580	1.560	1.631	1.567	0.034	2.177
60 - 120	0.510	0.500	0.559	0.552	0.500	0.476	0.449	0.459	0.599	0.534	0.514	0.045	8.719
120 - 180	0.521	0.405	0.497	0.483	0.576	0.489	0.570	0.499	0.428	0.442	0.491	0.053	10.822
180 - 240	0.467	0.553	0.460	0.606	0.446	0.506	0.445	0.549	0.556	0.512	0.510	0.052	10.249

Tabela K76 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte no para-brisa a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.739	1.790	1.769	1.733	1.722	1.714	1.707	1.732	1.723	1.701	1.733	0.026	1.510
60 - 120	0.561	0.570	0.576	0.592	0.629	0.577	0.508	0.514	0.554	0.581	0.566	0.034	5.995
120 - 180	0.581	0.382	0.537	0.461	0.459	0.445	0.651	0.508	0.506	0.583	0.511	0.075	14.699
180 - 240	0.586	0.526	0.529	0.510	0.601	0.486	0.539	0.483	0.583	0.589	0.543	0.042	7.691

Tabela K77 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 25 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.091	1.074	1.064	1.059	1.065	1.070	1.064	1.068	1.073	1.063	1.069	0.008	0.791
60 - 120	0.221	0.186	0.198	0.205	0.178	0.197	0.181	0.179	0.177	0.179	0.190	0.014	7.487
120 - 180	0.213	0.176	0.198	0.201	0.192	0.194	0.199	0.172	0.195	0.192	0.193	0.011	5.845
180 - 240	0.192	0.162	0.170	0.188	0.194	0.175	0.175	0.164	0.172	0.176	0.177	0.011	6.054

Tabela K78 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 35 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.235	1.251	1.224	1.260	1.251	1.242	1.264	1.253	1.234	1.254	1.247	0.012	0.977
60 - 120	0.227	0.199	0.232	0.208	0.247	0.246	0.253	0.205	0.233	0.247	0.230	0.019	8.173
120 - 180	0.220	0.223	0.178	0.201	0.199	0.209	0.191	0.187	0.211	0.218	0.204	0.014	7.009
180 - 240	0.201	0.165	0.237	0.222	0.201	0.194	0.185	0.157	0.221	0.201	0.198	0.024	11.875

Tabela K79 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 45 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.341	1.373	1.379	1.391	1.355	1.376	1.336	1.366	1.327	1.336	1.358	0.021	1.531
60 - 120	0.327	0.302	0.323	0.337	0.334	0.338	0.307	0.327	0.292	0.329	0.322	0.015	4.662
120 - 180	0.250	0.239	0.257	0.272	0.240	0.215	0.257	0.243	0.289	0.226	0.249	0.020	8.122
180 - 240	0.291	0.217	0.294	0.227	0.243	0.241	0.232	0.293	0.319	0.287	0.264	0.034	12.892

Tabela K80 - Valores de RMSVA em segmentos de 60 metros da Av. Pedro Basso medidos na pick-up com suporte na saída de ar a 55 km/h.

Segmento (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RMSVA (m/s ²)	σ (m/s ²)	CV (%)
0 - 60	1.513	1.469	1.461	1.441	1.480	1.478	1.407	1.473	1.469	1.434	1.463	0.028	1.888
60 - 120	0.333	0.238	0.358	0.374	0.370	0.328	0.326	0.352	0.334	0.305	0.332	0.037	11.199
120 - 180	0.238	0.192	0.294	0.272	0.314	0.213	0.333	0.280	0.204	0.234	0.257	0.046	17.739
180 - 240	0.279	0.377	0.266	0.334	0.272	0.303	0.249	0.347	0.380	0.368	0.317	0.047	14.853

APÊNDICE L: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DA NORMALIDADE DAS RMSVA's (TESTE DE SHAPIRO-WILK).

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela L1 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

	25 km/h	35 km/h
W-stat	0.835	0.807
p-value	0.200	0.130
alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes

Tabela L2 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h		35 km/h	45 km/h
W-stat	0.912	0.880	W-stat	0.912	0.955	W-stat	0.880	0.955
p-value	0.425	0.325	p-value	0.425	0.591	p-value	0.325	0.591
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L3 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte no para-brisa.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h
W-stat	0.997	1.000	W-stat	0.997	0.905
p-value	0.896	0.994	p-value	0.896	0.400
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L4 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte na saída de ar.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h		35 km/h	45 km/h
W-stat	0.928	0.803	W-stat	0.928	0.853	W-stat	0.803	0.853
p-value	0.480	0.121	p-value	0.480	0.249	p-value	0.121	0.249
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L5 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a diferentes velocidades operacionais.

	25 km/h		35 km/h	
	Para-brisa	Saída de ar	Para-brisa	Saída de ar
W-stat	0.835	0.912	0.807	0.880
p-value	0.200	0.425	0.130	0.325
alpha	0.050	0.050	0.050	0.050
normal	yes	yes	yes	yes

Tabela L6 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up a diferentes velocidades operacionais.

	25 km/h		35 km/h		45 km/h	
	Para-brisa	Saída de ar	Para-brisa	Saída de ar	Para-brisa	Saída de ar
W-stat	0.997	0.928	1.000	0.803	0.905	0.853
p-value	0.896	0.480	0.994	0.121	0.400	0.249
alpha	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
normal	yes	yes	yes	yes	yes	yes

Tabela L7 - Resultados de normalidade para RMSVA's com o smartphone apoiado no para-brisa quando se comparam os veículos.

25 km/h			35 km/h		
	Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up
W-stat	0.835	0.997	W-stat	0.807	1.000
p-value	0.200	0.896	p-value	0.130	0.994
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L8 - Resultados de normalidade para RMSVA's com o smartphone apoiado na saída de ar quando se comparam os veículos.

25 km/h			35 km/h			45 km/h		
	Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up
W-stat	0.912	0.928	W-stat	0.880	0.803	W-stat	0.955	0.853
p-value	0.425	0.480	p-value	0.325	0.121	p-value	0.591	0.249
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela L9 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

	25 km/h	35 km/h
W-stat	0.793	0.877
p-value	0.099	0.315
alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes

Tabela L10 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h		35 km/h	45 km/h
W-stat	0.998	0.947	W-stat	0.998	0.771	W-stat	0.947	0.771
p-value	0.909	0.558	p-value	0.909	0.047	p-value	0.558	0.047
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	no	normal	yes	no

Tabela L11 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte no para-brisa.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h		35 km/h	45 km/h
W-stat	0.997	1.000	W-stat	0.997	0.917	W-stat	1.000	0.917
p-value	0.904	0.992	p-value	0.904	0.442	p-value	0.992	0.442
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L12 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte na saída de ar.

	25 km/h	35 km/h		25 km/h	45 km/h		35 km/h	45 km/h
W-stat	0.797	0.801	W-stat	0.797	0.871	W-stat	0.801	0.871
p-value	0.107	0.116	p-value	0.107	0.298	p-value	0.116	0.298
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L13 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a diferentes velocidades operacionais.

25 km/h			35 km/h		
	Para-brisa	Saída de ar		Para-brisa	Saída de ar
W-stat	0.793	0.910	W-stat	0.877	0.861
p-value	0.099	0.418	p-value	0.315	0.271
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L14 - Resultados de normalidade para RMSVA's coletadas na pick-up a diferentes velocidades operacionais.

25 km/h			35 km/h			45 km/h		
	Para-brisa	Saída de ar		Para-brisa	Saída de ar		Para-brisa	Saída de ar
W-stat	0.997	0.797	W-stat	1.000	0.801	W-stat	0.917	0.871
p-value	0.904	0.107	p-value	0.992	0.116	p-value	0.442	0.298
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L15 - Resultados de normalidade para RMSVA's com o smartphone apoiado no para-brisa quando se comparam os veículos.

25 km/h			35 km/h		
	Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up
W-stat	0.793	0.997	W-stat	0.877	1.000
p-value	0.099	0.904	p-value	0.315	0.992
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes

Tabela L16 - Resultados de normalidade para RMSVA's com o smartphone apoiado na saída de ar quando se comparam os veículos.

25 km/h			35 km/h			45 km/h		
	Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up		Veículo de passeio	Pick-up
W-stat	0.910	0.797	W-stat	0.861	0.801	W-stat	0.997	0.871
p-value	0.418	0.107	p-value	0.271	0.116	p-value	0.889	0.298
alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050	alpha	0.050	0.050
normal	yes	yes	normal	yes	yes	normal	yes	yes

APÊNDICE M: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DA HOMOGENEIDADE DAS VARIÂNCIAS DAS RMSVA's (TESTE DE LEVENE)

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela M1 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

25km/h x 35 km/h	
p-value	0.418
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M2 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

25 km/h x 35 km/h	
p-value	0.475
Alpha	0.050
Cond.	yes

25 km/h x 45 km/h	
p-value	0.951
Alpha	0.050
Cond.	yes

35 km/h x 45 km/h	
p-value	0.535
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M3 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte no para-brisa.

25 km/h x 35 km/h	
p-value	0.769
Alpha	0.050
Cond.	yes

25 km/h x 45 km/h	
p-value	0.132
Alpha	0.050
Cond.	yes

35 km/h x 45 km/h	
p-value	0.209
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M4 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte na saída de ar.

25 km/h x 35 km/h	
p-value	0.773
Alpha	0.050
Cond.	yes

25 km/h x 45 km/h	
p-value	0.387
Alpha	0.050
Cond.	yes

35 km/h x 45 km/h	
p-value	0.462
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M5 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a diferentes velocidades operacionais.

Para-brisa x Saída de ar a 25 km/h	
p-value	0.075
Alpha	0.050
Cond.	yes

Para-brisa x Saída de ar a 35 km/h	
p-value	0.063
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M6 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up a diferentes velocidades operacionais.

Para-brisa x Saída de ar a 25 km/h	
p-value	0.243
Alpha	0.050
Cond.	yes

Para-brisa x Saída de ar a 35 km/h	
p-value	0.477
Alpha	0.050
Cond.	yes

Para-brisa x Saída de ar a 45 km/h	
p-value	0.191
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M7 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas com smartphone fixado no para-brisa, quando se comparam os veículos.

Veículo de passeio x Pick-up a 25 km/h	
p-value	0.733
Alpha	0.050
Cond.	yes

Veículo de passeio x Pick-up a 35 km/h	
p-value	0.892
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M8 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas com smartphone fixado na saída de ar quando se comparam os veículos.

Veículo de passeio x Pick-up a 25 km/h		Veículo de passeio x Pick-up a 35 km/h		Veículo de passeio x Pick-up a 45 km/h	
p-value	0.420	p-value	0.129	p-value	0.188
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes	Cond.	yes

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela M9 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte no para-brisa.

25km/h x 35 km/h	
p-value	0.430
Alpha	0.050
Cond.	yes

Tabela M10 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte na saída de ar.

25km/h x 35 km/h		35km/h x 45 km/h	
p-value	0.091	p-value	0.161
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M11 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte no para-brisa.

25km/h x 35 km/h		25km/h x 45 km/h		35km/h x 45 km/h	
p-value	0.768	p-value	0.140	p-value	0.218
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M12 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte na saída de ar.

25km/h x 35 km/h		25km/h x 45 km/h		35km/h x 45 km/h	
p-value	0.894	p-value	0.234	p-value	0.204
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M13 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a diferentes velocidades operacionais.

Para-brisa x Saída de ar a 25 km/h		Para-brisa x Saída de ar a 35 km/h	
p-value	0.072	p-value	0.047
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M14 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas na pick-up a diferentes velocidades operacionais.

Para-brisa x Saída de ar a 25 km/h		Para-brisa x Saída de ar a 35 km/h		Para-brisa x Saída de ar a 45 km/h	
p-value	0.161	p-value	0.259	p-value	0.188
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M15 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas com smartphone fixado no para-brisa quando se comparam os veículos.

Veículo de passeio x Pick-up a 25 km/h		Veículo de passeio x Pick-up a 35 km/h	
p-value	0.705	p-value	0.872
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes

Tabela M16 - Resultados de homogeneidade para RMSVA's coletadas com smartphone fixado na saída de ar quando se comparam os veículos.

Veículo de passeio x Pick-up a 25 km/h		Veículo de passeio x Pick-up a 35 km/h		Veículo de passeio x Pick-up a 45 km/h	
p-value	0.468	p-value	0.131	p-value	0.782
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	yes	Cond.	yes	Cond.	yes

APÊNDICE N: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES (TESTE T DE STUDENT) EM SEGMENTOS COM 240 m DE COMPRIMENTO

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela N1 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa, para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.105	1.507	2	0.271	4.303	-0.608	0.293	no

Tabela N2 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar, para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.270	0.614	4	0.572	2.776	-0.916	0.584	no

Tabela N3 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar, para 25 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.231	1.528	4	0.201	2.776	-0.994	0.289	no

Tabela N4 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar, para 35 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.275	0.679	4	0.534	2.776	-0.952	0.578	no

Tabela N5 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa, para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.090	1.620	4	0.180	2.776	-0.395	0.104	no

Tabela N6 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa, para 25 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.151	2.388	4	0.075	2.776	-0.780	0.059	no

Tabela N7 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar, para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.141	0.069	4	0.949	2.776	-0.381	0.401	no

Tabela N8 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar, para 25 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.127	0.306	4	0.775	2.776	-0.391	0.313	no

Tabela N9 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar, para 35 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.114	0.425	4	0.692	2.776	-0.365	0.268	no

Tabela N10 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 25km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.164	0.308	4	0.773	2.776	-0.506	0.405	no

Tabela N11 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 35km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.226	0.255	4	0.811	2.776	-0.684	0.569	no

Tabela N12 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.121	0.298	4	0.780	2.776	-0.371	0.299	no

Tabela N13 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.116	1.031	4	0.361	2.776	-0.202	0.440	no

Tabela N14 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.156	1.831	4	0.141	2.776	-0.148	0.719	no

Tabela N15 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.069	0.311	4	0.772	2.776	-0.169	0.212	no

Tabela N16 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.091	0.383	4	0.721	2.776	-0.217	0.286	no

Tabela N17 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.192	0.187	4	0.860	2.776	-0.496	0.568	no

Tabela N18 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.237	0.893	4	0.422	2.776	-0.446	0.869	no

Tabela N19 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.181	1.934	4	0.125	2.776	-0.152	0.852	no

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela N20 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.072	2.281	4	0.085	2.776	-0.362	0.036	no

Tabela N21 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.274	0.939	4	0.401	2.776	-1.017	0.503	no

Tabela N22 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.094	1.581	4	0.189	2.776	-0.408	0.112	no

Tabela N23 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.158	2.328	4	0.080	2.776	-0.806	0.071	no

Tabela N24 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.164	1.335	4	0.253	2.776	-0.676	0.237	no

Tabela N25 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.169	0.585	4	0.590	2.776	-0.569	0.371	no

Tabela N26 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.135	0.894	4	0.422	2.776	-0.496	0.254	no

Tabela N27 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.141	0.155	4	0.885	2.776	-0.412	0.368	no

Tabela N28 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.171	0.334	4	0.755	2.776	-0.532	0.418	no

Tabela N29 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.286	0.422	4	0.695	2.776	-0.913	0.672	no

Tabela N30 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.130	0.353	4	0.742	2.776	-0.315	0.408	no

Tabela N31 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.143	0.664	4	0.543	2.776	-0.303	0.493	no

Tabela N32 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.162	1.807	4	0.145	2.776	-0.157	0.743	no

Tabela N33 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.071	0.260	4	0.808	2.776	-0.179	0.216	no

Tabela N34 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.094	0.357	4	0.739	2.776	-0.228	0.295	no

Tabela N35 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 25 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.203	0.599	4	0.581	2.776	-0.442	0.685	no

Tabela N36 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 35 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.305	0.816	4	0.460	2.776	-0.598	1.097	no

Tabela N37 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 45 km/h.

T TEST: Equal Variances				Alpha	0.05			
	std err	t-stat	df	p-value	t-crit	lower	upper	sig
Two Tail	0.112	1.156	4	0.312	2.776	-0.182	0.441	no

APÊNDICE O: VALORES OBTIDOS NA AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES (TESTE DE MANN-WHITNEY) EM SEGMENTOS COM 60 m DE COMPRIMENTO

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela O1 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.343
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O2 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O3 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito	
p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O4 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O5 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O6 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O7 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O8 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O9 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 45 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O10 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O11 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O12 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O13 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O14 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.686
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O15 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 45 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.486
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O16 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.343	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O17 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.886	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O18 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.486	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O19 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O20 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.343	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O21 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 45 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.486	p-value	0.486
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O22 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 25 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O23 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O24 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 45km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O25 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 25 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.343	p-value	0.343	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O26 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O27 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O28 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O29 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 25 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.886	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O30 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O31 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito	
p-value	0.686	p-value	0.200

Alpha	0.050
Cond.	no

Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O32 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 25 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O33 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O34 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O35 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela O36 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O37 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O38 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.686
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O39 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O40 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O41 – Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O42 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O43 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O44 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 45 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O45 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O46 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O47 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O48 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O49 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.686
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O50 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado no para-brisa para 45km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O51 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.886
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O52 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.486
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.886
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O53 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 25 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O54 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.886	p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O55 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 35 km/h x 55 km/h.

Av. Araucária		Av. Pedro Basso	
p-value	0.343	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O56 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up com suporte fixado na saída de ar para 45 km/h x 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.686
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O57 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 25 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.343	p-value	0.886	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O58 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 35 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O59 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas no veículo de passeio a 45 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito	
p-value	0.686	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no

Tabela O60 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 25 km/h.

Av. Araucária		Av. José Maria de Brito		Av. Pedro Basso	
p-value	0.200	p-value	0.200	p-value	0.200
Alpha	0.050	Alpha	0.050	Alpha	0.050
Cond.	no	Cond.	no	Cond.	no

Tabela O61 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O62 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O63 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas na pick-up a 55 km/h.

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O64 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 25 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O65 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O66 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado no para-brisa a 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O67 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 25 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.343
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O68 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 35 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.686
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O69 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 45 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. José Maria de Brito	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Tabela O70 - Teste de hipóteses para RMSVA's coletadas com o smartphone apoiado na saída de ar a 55 km/h.

Av. Araucária	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

Av. Pedro Basso	
p-value	0.200
Alpha	0.050
Cond.	no

- Entre tipos de filtragens: todas as filtragens

25km/h	
p-value	0.991
Alpha	0.050
Cond.	no

35km/h	
p-value	0.664
Alpha	0.050
Cond.	no

45km/h	
p-value	0.586
Alpha	0.050
Cond.	no

55km/h	
p-value	0.779
Alpha	0.050
Cond.	no

APÊNDICE P: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CORRELAÇÃO E ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR

SEGMENTO COM 240 m DE COMPRIMENTO

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela P1 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas nos dois veículos e considerando os dois tipos de suporte para fixação do smartphone para 25 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.908
p-value	0.202
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.252
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Para normalização, os valores originais de IRI foram submetidos à transformação de Box-Cox.

Tabela P2 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas nos dois veículos e considerando os dois tipos de suporte para fixação do smartphone para 35 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.947
p-value	0.600
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.106
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Para normalização, os valores originais de IRI foram submetidos à transformação de Box-Cox.

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela P3 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas nos dois veículos e considerando os dois tipos de suporte para fixação do smartphone para 25 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.927
p-value	0.358
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.155
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Para normalização, os valores originais de IRI foram submetidos à transformação de Box-Cox.

Tabela P4 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas nos dois veículos e considerando os dois tipos de suporte para fixação do smartphone para 35 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.916
p-value	0.257
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.08
Alpha	0.050
Cond.	yes

* Para normalização, os valores originais de IRI foram submetidos à transformação de Box-Cox.

SEGMENTOS COM 60 m DE COMPRIMENTO

- Filtragem 1: 0.5 a 20 Hz.

Tabela P5 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.893
p-value	0.398
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.982
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

Tabela P6 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no pick-up com suporte fixado no para-brisa para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.904
p-value	0.310
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.533
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

Tabela P7 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no pick-up com suporte fixado na saída de ar para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.903
p-value	0.310
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.572
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

- Filtragem 2: 0.5 Hz.

Tabela P8 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no veículo de passeio com suporte fixado na saída de ar para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.893
p-value	0.398
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.980
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

Tabela P9 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no pick-up com suporte fixado no para-brisa para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.903
p-value	0.310
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.612
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

Tabela P10 - Teste de premissas de IRI a partir de RMSVA coletadas no pick-up com suporte fixado na saída de ar para 55 km/h.

Shapiro-Wilk Test	
W-stat	0.904
p-value	0.310
alpha	0.050
normal	yes

Levene's Tests	
p-value	0.531
Alpha	0.050
Cond.	yes

*Não foi preciso transformação para normalização dos valores de IRI.

APÊNDICE Q: APLICAÇÃO EM LABVIEW

- Painel frontal

Dados | Acelerações auto designado | Acelerações auto em movimento | Resultados

 INSTITUTO LUTHERIANO DE TECNOLOGIA
INVESTIGATIVAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG EC)

Informação geral

Data: 12/01 Temperatura (C): 45
Local de medição: Aracaju Indicação do teste (%): 1
Ritmo do dia: Tarde Velocidade (km/h): 45
Distância do teste (m): 240 Motocicleta: Edvaldo

Informação para exportar o arquivo

Nome do arquivo: Test
Formato: Bloc de Notas
Direção do arquivo: C:\user\zozanq

Acelerações auto designado

Teste 1	Teste 2	Teste 3
n: 2500	n: 2500	n: 2500
ax: []	ax: []	ax: []
ay: []	ay: []	ay: []
az: []	az: []	az: []

Acelerações auto em movimento

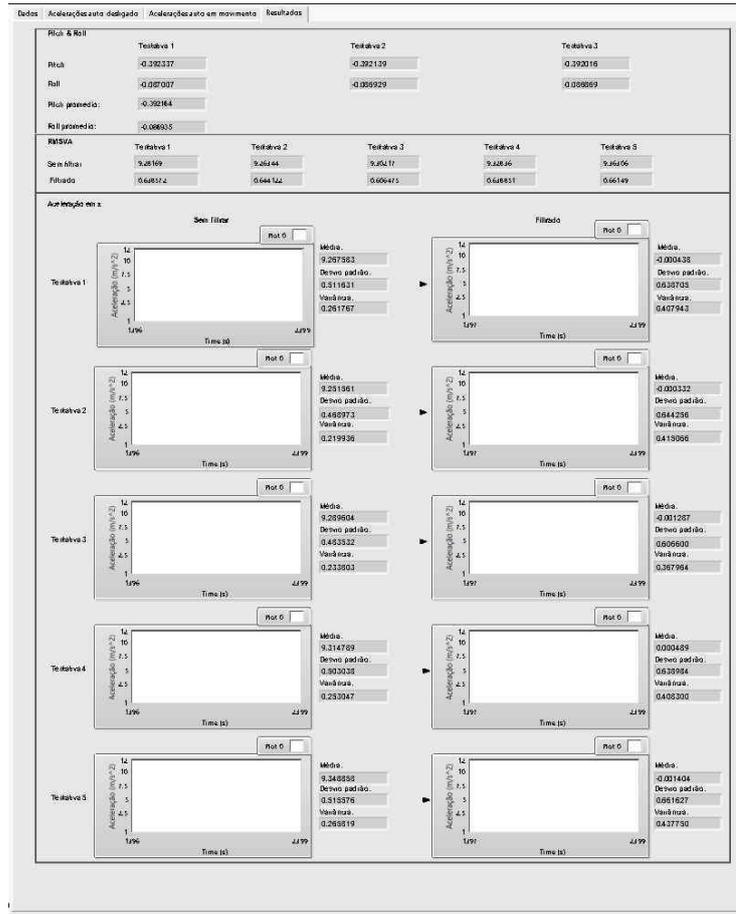
Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
n: 2400				
ax: []				
ay: []				
az: []				

Filtros

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Freq. investida (Hz)	100	100	100	100	100
Freq. de corte (Hz)	1.0	1	1	1	1

Dados		Acelerações auto deslocado		Acelerações auto em movimento		Resultados	
Acelerações auto deslocado (Ax)							
	Testativa 1		Testativa 2		Testativa 3		
Média	3,332815		3,349532		3,349067		
Desvio padrão	0,006407		0,012892		0,010132		
Variância	0,000071		0,000166		0,000103		
Acelerações auto deslocado (Ay)							
	Testativa 1		Testativa 2		Testativa 3		
Média	-0,746104		0,748237		-0,744613		
Desvio padrão	0,007277		0,009623		0,007604		
Variância	0,000053		0,000093		0,000058		
Acelerações auto deslocado (Az)							
	Testativa 1		Testativa 2		Testativa 3		
Média	0,333369		0,331292		0,332426		
Desvio padrão	0,006998		0,009146		0,007936		
Variância	0,000049		0,000054		0,000093		

Dados		Acelerações auto deslocado		Acelerações auto em movimento		Resultados	
Acelerações (Ax)							
	Testativa 1	Testativa 2	Testativa 3	Testativa 4	Testativa 5		
Média	-0,618921	-0,598756	-0,516314	-0,391009	-0,437779		
Desvio padrão	0,340092	0,494449	0,458632	0,495165	0,473962		
Variância	0,291699	0,244480	0,210362	0,236359	0,226540		
Acelerações (Ay)							
	Testativa 1	Testativa 2	Testativa 3	Testativa 4	Testativa 5		
Média	0,294345	0,263002	0,241996	0,231997	0,269066		
Desvio padrão	0,399946	0,323301	0,324146	0,333466	0,313299		
Variância	0,152030	0,104524	0,105070	0,111213	0,098196		
Acelerações (Az)							
	Testativa 1	Testativa 2	Testativa 3	Testativa 4	Testativa 5		
Média	0,267583	0,251561	0,289604	0,214709	0,248856		
Desvio padrão	0,511631	0,466973	0,483302	0,503036	0,513076		
Variância	0,261767	0,219936	0,233803	0,233047	0,263019		



• Arquivo exportado
 Bloco de notas

```

1  Universidade Federal de Integração Latino-Americana (UNILA)
2  Pós-graduação em Engenharia Civil
3
4  *****
5  * Data: 12/03   Temperatura ( C): 25 *
6  * Local de medição: Araucaria   Inclinac o do terreno (%): 1 *
7  * Período do dia: Tarde   Velocidade (km/h): 25 *
8  * Distância do trecho (m): 240   Motorista: Edivaldo *
9  *****
10
11  SÍNTESIS DADOS FILTRADOS
12  Tentativa      az_meia (m/s^2):      az_desviopadr o(m/s^2):
13  1      -0.000438      0.638705
14  2      -0.000332      0.644256
15  3      -0.001287      0.606600
16  4      0.000489      0.638984
17  5      -0.001404      0.661627
18
19  RMSVA
20  Tentativa      Sem filtrar(m/s^2)      Filtrador(m/s^2)
21  1      9.281689      0.638572
22  2      9.263435      0.644122
23  3      9.302174      0.606475
24  4      9.328357      0.638851
25  5      9.363058      0.661490
26  RESULTADOS (az)
27  Tentativa 1      Tentativa 2      Tentativa 3      Tentativa 4      Tentativa 5
28  Dado bruto      Dado filtrado      Dado bruto      Dado filtrado      Dado bruto      Dado filtrado      Dado bruto      Dado filtrado      Dado bruto      Dado filtrado
29  9.099417      8.703985      10.119297      9.679545      9.274917      8.871859      9.907174      9.476640      9.426265      9.016629
30  9.099417      7.931046      10.119297      8.819973      9.274917      8.084012      9.907174      8.635087      9.426265      8.215926
31  9.099417      7.193856      10.119297      8.000157      9.274917      7.332604      9.907174      7.832456      9.426265      7.452256
32  9.099417      6.492160      10.119297      7.219814      9.274917      6.617375      9.907174      7.068471      9.426265      6.725356
33  9.099417      5.825593      10.119297      6.478537      8.720138      5.407281      9.907174      6.342733      9.426265      6.034847
34  9.099417      5.193687      10.119297      5.775806      8.720138      4.810313      9.907174      5.654732      9.426265      5.380243
35  9.099417      4.595883      10.119297      5.110998      8.720138      4.245924      9.907174      5.003861      9.426265      4.760966
36  9.099417      4.031540      10.119297      4.483402      8.720138      3.713478      9.907174      4.389420      9.426265      4.176351
37  9.099417      3.499945      10.119297      3.892225      8.720138      3.212270      9.907174      3.810636      9.426265      3.625662
    
```

Excel

Universidade Federal de Integração Latino-Americana (UNILA)									
Pós-graduação em Engenharia Civil									

*	Data:	12-Mar	Temperc	25	*				
*	Local de Aruocaria		Inclinacç	1	*				
*	Período Tarde		Velocida	25	*				
*	Distância	240	Motorista	Edivaldo	*				

SINTESIS DADOS FILTRADOS									
Tentativa	az	meia (m/s^2):	az	desviopadrão(m/s^2):					
1		-0.0004		0.6387					
2		-0.0003		0.6443					
3		-0.0013		0.6066					
4		0.0005		0.639					
5		-0.0014		0.6616					
RMSVA									
Tentativa	Sem filtrar(m/s^2)	Filtrador(m/s^2)							
1	9.2817	0.6386							
2	9.2634	0.6441							
3	9.3022	0.6065							
4	9.3284	0.6389							
5	9.3631	0.6615							
RESULTADOS (az)									
Tentativa 1	Tentativa 2		Tentativa 3		Tentativa 4		Tentativa 5		
Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado	Dado br, Dado filtrado
9.0994 8.704	10.119 9.6795	9.2749 8.8719	9.9072 9.4766	9.4263 9.0166					
9.0994 7.931	10.119 8.82	9.2749 8.084	9.9072 8.6351	9.4263 8.2159					
9.0994 7.1939	10.119 8.0002	9.2749 7.3326	9.9072 7.8325	9.4263 7.4523					
9.0994 6.4922	10.119 7.2198	9.2749 6.6174	9.9072 7.0685	9.4263 6.7264					
9.0994 5.8266	10.119 6.4785	8.7201 5.4073	9.9072 6.3427	9.4263 6.0348					
9.0994 5.1937	10.119 5.7756	8.7201 4.8103	9.9072 5.6547	9.4263 5.3602					
9.0994 4.5959	10.119 5.111	8.7201 4.2459	9.9072 5.0039	9.4263 4.761					
9.0994 4.0315	10.119 4.4834	8.7201 3.7135	9.9072 4.3894	9.4263 4.1764					
9.0994 3.4999	10.119 3.8922	8.7201 3.2123	9.9072 3.8106	9.4263 3.6257					
9.0994 3.0003	10.119 3.3366	8.7201 2.7415	8.51 1.9302	9.4263 3.1081					
9.0994 2.5318	10.119 2.8156	8.7201 2.3005	8.51 1.5388	9.6128 2.8012					
9.0994 2.0936	9.1737 1.4238	8.7201 1.8882	8.51 1.1749	9.6128 2.3314					
9.6628 2.2237	9.1737 1.0495	8.7201 1.5039	8.51 0.8374	9.6128 1.8928					
9.6628 1.7953	9.1737 0.7029	8.7201 1.1465	8.51 0.6256	9.6128 1.4843					
9.6628 1.3966	9.1737 0.3832	8.7201 0.8152	8.51 0.2382	9.6128 1.1049					
9.6628 1.0266	9.1737 0.0893	8.7201 0.509	8.51 -0.0266	9.6128 0.7535					
9.6628 0.6841	9.1737 -0.18	9.8022 1.2619	8.51 -0.2669	9.6128 0.4292					
9.6628 0.3681	9.1737 -0.4258	9.8022 0.9111	8.51 -0.4867	9.6128 0.1309					
9.6628 0.0777	9.1737 -0.649	9.8022 0.5866	8.51 -0.696	9.6128 -0.1426					
9.6628 -0.1884	9.1737 -0.8508	9.8022 0.2874	8.51 -0.8657	9.6128 -0.3922					
9.6628 -0.4312	9.1737 -1.0322	9.8022 0.0127	8.51 -1.0269	9.6128 -0.6152					
9.6628 -0.6516	9.1737 -1.1943	9.8022 -0.2388	9.8047 0.008	9.0641 -1.3495					
9.6628 -0.8509	9.1737 -1.3381	9.8022 -0.468	9.8047 -0.1689	9.0641 -1.4876					
8.5382 -2.1057	9.1737 -1.4647	9.8022 -0.6759	9.8047 -0.385	9.0641 -1.6084					
8.5382 -2.1701	9.1737 -1.5749	9.8022 -0.8636	9.8047 -0.5814	9.0641 -1.7128					
8.5382 -2.2209	9.1737 -1.6698	9.8022 -1.032	9.8047 -0.7588	9.0641 -1.8019					

Test