



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GIOVANNI BRUNO DA SILVA LUZ**

**ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE APLICATIVOS PARA *SMARTPHONES* NA  
AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS  
URBANOS**

**FORTALEZA**

**2019**

GIOVANNI BRUNO DA SILVA LUZ

ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE APLICATIVOS PARA *SMARTPHONES* NA  
AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS  
URBANOS

Projeto de Graduação apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Civil  
do Centro de Tecnologia da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial  
à obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber  
Lacerda de Oliveira

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L994e Luz, Giovanni Bruno da Silva.  
Estudo da sensibilidade de aplicativos para smartphones na avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos urbanos / Giovanni Bruno da Silva Luz. – 2019.  
84 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

1. Irregularidade. 2. Aplicativos. 3. IRI. 4. Avaliação. Pavimentos. I. Título.

CDD 620

---

GIOVANNI BRUNO DA SILVA LUZ

ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE APLICATIVOS PARA *SMARTPHONES* NA  
AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS URBANOS

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mario Angelo Nunes de Azevedo Filho (Examinador interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc. Lucas Cavalcante de Almeida (Examinador externo)  
Centro Universitário Christus (Unichristus)

A Deus.

Aos meus pais, Vanda e Francisco.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que ao longo dos anos sempre tem estado ao meu lado, me dando coragem, força, serenidade e disposição para ter conseguido entrar nesse curso, avançar nesses cinco anos, por concluir esse trabalho de conclusão de curso, e por me permitir mais essa conquista em minha vida.

À minha mãe, Vanda, meu porto seguro, minha heroína, meu amor maior desse mundo, que sempre cuidou de mim da melhor forma, me incentivou a correr atrás dos meus sonhos, me consolou nos percalços da caminhada, celebrou comigo as vitórias e nunca, jamais me abandonou, te amo demais, minha mãe.

Ao meu pai, Francisco, que demonstra seu amor, nem sempre tão aparente, mas que sempre foi de um apoio fundamental pra mim, que topou a loucura de ir fazer as coletas de dados deste trabalho comigo, e refazer quando o aplicativo travava, muito obrigado, por tudo, pai.

À minha irmã, Isadora, minha confidente, minha parceira, minha melhor amiga, que sempre esteve ao meu lado, fosse pra elogiar ou dar uns merecidos puxões de orelha, uma das pessoas que mais me inspirou a entrar nessa loucura da engenharia civil, amo muito você, maninha.

Ao meu orientador, Prof. Heber Oliveira, por ter topado me guiar nessa loucura que é o TCC, muito obrigado pelas ideias, pela paciência com esse trabalhoso graduando, por ter gastado suas 37 canetas vermelhas corrigindo este trabalho, e por ser um dos maiores exemplos profissionais para mim, uma verdadeira inspiração, minha mais sincera gratidão.

Ao Prof. Lucas Cavalcante, que foi quase meu co-orientador nesta pesquisa, por sua grande paciência respondendo a tantas dúvidas, por sua disponibilidade, por sua generosidade, chegando até a me emprestar um equipamento próprio para a realização da coleta de dados deste trabalho, muito obrigado pelo apoio e confiança.

Aos meus amigos encontrados nesses anos de convívio na UFC, Livia, Talys, Arthur, Racine, Bruno, vocês tornaram mais leve essa jornada tão difícil, nos estudos pré provas, nas madrugadas fazendo trabalho, nas festas juninas desse Pici, por terem me dado apoio em um dos momentos mais difíceis da minha vida, muito obrigado por tudo, inclusive por me mostrar que a engenharia civil é mais colorida do que eu podia imaginar.

Aos meus amigos e colegas de estágio no CTAFOR, por sempre terem sido tão pacientes e prestativos comigo, por tudo o que me ensinaram, tanto no quesito técnico quanto

no humano, por terem proporcionado um ambiente tão confortável e tranquilo e por fazer eu me apaixonar ainda mais pelo ramo da engenharia de transportes.

Aos professores que eu passei a admirar e me inspiravam nos momentos de dificuldade da graduação, professores que ensinaram muito além de normas, cálculos e métodos de análise, ensinam a como ser um profissional completo, um ser humano melhor, meu muito obrigado a todos vocês.

Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para que eu conseguisse chegar aqui, que me ajudaram a concluir esse trabalho e que minha não tão boa memória não me permitiu lembrar de citar aqui, minha gratidão mais sincera a todos vocês.

## RESUMO

A irregularidade longitudinal é um dos principais fatores da avaliação funcional de pavimentos. Sendo assim, fornecer equipamentos e métodos que acelerem a medição desse parâmetro e forneçam resultados objetivos é importante para uma efetiva manutenção desse pavimento. Os aplicativos para *smartphones* surgem como uma alternativa viável aos métodos tradicionais de avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos, pois possuem custo de aquisição baixo, muitos até gratuitos; fácil operação pelo usuário e resultados objetivos do Índice de Irregularidade Internacional - IRI (do inglês *International Roughness Index*), que é o parâmetro mais representativo da irregularidade. Outras vantagens no uso de aplicativos é o fato do resultado ser apresentado de forma discretizada, possibilitando uma análise mais detalhada de trechos rodoviários e faixas de tráfego mais deteriorados do que outros, o que é oneroso em uma avaliação global. Este trabalho propõe uma análise comparativa de desempenho entre os aplicativos *Roadroid*, *Roadlab* e *SmartIRI* em vias urbanas, avaliando a Rodovia CE-401 e a Avenida Dioguinho, ambas localizadas na cidade de Fortaleza, estado do Ceará. Os resultados identificaram as diferenças de sensibilidade entres os aplicativos quanto ao tipo de pavimento e à velocidade de medição, fator importante dentro do perímetro urbano. Além disso, também foram identificadas as faixas e trechos críticos, que apresentam qualidade funcional inferior ao restante das rodovias. Espera-se com esse trabalho, auxiliar os órgãos gestores rodoviários no processo de manutenção e reabilitação de rodovias, no que diz respeito aos custos e acurácia dos dados coletados, a fim de garantir um investimento melhor direcionado para o setor.

**Palavras-chave:** Irregularidade. Aplicativos. IRI. Avaliação. Pavimentos.

## ABSTRACT

Longitudinal roughness is one of the main factors in the functional evaluation of pavements. Therefore, providing equipment and methods that accelerate the measurement of this parameter and provide objective results is of utmost importance for the effective maintenance of this structure. Smartphone applications appear as a viable alternative to traditional methods of assessing longitudinal roughness of pavements, as they have low acquisition cost, many even free of charge; user-friendly operation and objective results of the International Roughness Index (IRI), which is the most representative parameter to measure the roughness. Other advantages of using applications are that the result is presented by 100 meter stretches, allowing for a more detailed analysis of sections and traffic lanes that are more deteriorated than others, which is not possible in an overall assessment. This graduation project proposes a comparative performance analysis between Roadroid, Roadlab and SmartIRI applications in urban roads, evaluating the CE-401 Highway and Dioguinho Avenue, both located in Fortaleza, Ceará state. The results identified differences in sensitivity between applications regarding pavement type and measurement speed, an important factor within the urban perimeter. In addition, the critical lanes and stretches that have lower functional quality than the rest of the highways were also identified. This work is expected to assist road management bodies in the process of road maintenance and rehabilitation, with regard to the costs and accuracy of the data collected, in order to ensure a better investment directed to the sector.

**Keywords:** Roughness. Applications. IRI. Evaluation. Pavements

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas.....	19
Figura 2 - Modelo quarto de carro.....	20
Figura 3 - Equipamentos de classe I, Dipstick (esquerda) e Walking Profiler (direita) .....	22
Figura 4 - Perfilômetro a laser (equipamento classe II) .....	22
Figura 5 - Equipamento do tipo resposta (classe III) .....	23
Figura 6 - Ficha de avaliação de serventia (equipamento classe IV) .....	23
Figura 7 - Classificação dos smartphones em relação aos outros equipamentos .....	24
Figura 8 - Obstáculos para estudo e fixação do <i>smartphone</i> no veículo .....	27
Figura 9 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadroid.....	28
Figura 10 - Esquema de funcionamento do aplicativo RoadLab .....	30
Figura 11 - Captura de tela com dados coletados com <i>SmartIRI</i> .....	32
Figura 12 - Mapa gerado pelo aplicativo <i>SmartIRI</i> .....	32
Figura 13 - Samsung Galaxy S8 (dispositivo utilizado na coleta de dados) <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 14 - Suporte e posição correta do <i>smartphone</i> .....	35
Figura 15 - Rodovia CE-401 .....	36
Figura 16 - Avenida Dioguinho .....	36
Figura 17 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo).....	41
Figura 18 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo).....	42
Figura 19 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo).....	42
Figura 20 - Defeitos superficiais encontrados na faixa direita - sentido Dias Macedo da Rodovia CE-401.....	43
Figura 21 - Degrau em viaduto da Rodovia CE-401 .....	43
Figura 22 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadroid - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese) .....	44
Figura 23 - Mapa gerado pelo aplicativo SmartIRI - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese) .....	44
Figura 24 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadlab - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese) .....	44

Figura 25 - Trincas localizadas na faixa direita - sentido Montese da Rodovia CE-401 .....	45
Figura 26 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa central - sentido Dias Macedo).....	46
Figura 27 - Mapa gerado pelo SmartIRI – classificação por cores (Faixa central – sentido Dias Macedo).....	47
Figura 28 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa central - sentido Dias Macedo).....	47
Figura 29 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa central - sentido Montese).....	48
Figura 30 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa central - sentido Montese).....	48
Figura 31 - Trincas localizadas na faixa central - sentido Montese da Rodovia CE-401 .....	49
Figura 32 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) – Rodovia CE-401 .....	50
Figura 33 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401 .....	50
Figura 34 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401 .....	51
Figura 35 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401 .....	52
Figura 36 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401 .....	52
Figura 37 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401 .....	53
Figura 38 - Classificação da Rodovia CE-401 .....	54
Figura 39 - Textura do pavimento rígido na Avenida Dioguinho .....	59
Figura 40 - Veículos estacionados na Avenida Dioguinho .....	62
Figura 41 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por cores (Faixa direita - sentido Sabiaguaba) - Avenida Dioguinho .....	62
Figura 42 - Trinca localizada na Avenida Dioguinho .....	64
Figura 43 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por cores (Faixa direita - sentido Santos Dumont).....	64
Figura 44 - Semáforo localizado no cruzamento das Av. Dioguinho x Av. Dr.Aldy Mentor ...	66
Figura 45 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente -	

classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Sabiaguaba).....	67
Figura 46 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Santos Dumont).....	68
Figura 47 - Tampa de poço de visita e remendo desnivelado na Avenida Dioguinho.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da textura .....	27
Tabela 2 - Classificação do Roadroid segundo o eIRI.....	29
Tabela 3 - Classificação proposta pelo aplicativo Roadlab .....	31
Tabela 4 - Classificação proposta pelo <i>SmartIRI</i> .....	32
Tabela 5 - Dados de IRI por aplicativo (Faixa esquerda – sentido Montese) – Trecho de 100 m - continua .....	38
Tabela 8 - Dados e classificação dos aplicativos - Faixa direita (sentido Montese) Rodovia CE- 401 .....	43
Tabela 9 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa central - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401.....	46
Tabela 10 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa central - sentido Montese) Rodovia CE-401 .....	48
Tabela 11 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401 .....	50
Tabela 12 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401 .....	52
Tabela 13 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – SmartIRI.....	54
Tabela 14 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadroid.....	56
Tabela 15 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadlab.....	58
Tabela 16 - Dados de IRI por aplicativo (Faixa direita – sentido Sabiaguaba) na Avenida Dioguinho – Trecho de 100 m.....	60
Tabela 17 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa direita - sentido Sabiaguaba) – Av. Dioguinho.....	62
Tabela 18 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa direita – sentido Santos Dumont) – Av. Dioguinho.....	64
Tabela 19 - Dados coletados e classificação (Faixa esquerda - sentido Sabiaguaba) – Av. Dioguinho.....	67
Tabela 20 - Dados coletados e classificação (Faixa esquerda - sentido Santos Dumont) – Av. Dioguinho.....	68

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Estruturação do Trabalho.....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Avaliação Funcional.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Irregularidade Longitudinal.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 IRI (International Roughness Index – Índice de Irregularidade Internacional) 20</b>	
<b>2.3 Classe dos equipamentos medidores da irregularidade longitudinal .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Uso de aplicativos para smartphones para calcular o IRI.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Aplicativos para smartphones .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1 Roadroid.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.2 RoadLab .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3 SmartIRI .....</b>	<b>31</b>
<b>3 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Levantamento na Rodovia CE-401 .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Levantamento na Avenida Dioguinho.....</b>	<b>36</b>
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Uso de aplicativos em Pavimento Flexível – Rodovia CE-401.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.1 Faixa direita – Rodovia CE-401 .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.2 Faixa central – Rodovia CE-401.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.3 Faixa esquerda – Rodovia CE-401 .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.4 Análise comparativa com dados do DER-CE .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Uso de aplicativos em Pavimento Rígido – Avenida Dioguinho .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.1 Faixa direita – Av. Dioguinho .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.2 Faixa esquerda – Avenida Dioguinho.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3 Quadros Sinóticos .....</b>	<b>69</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – TABELAS DE IRI POR TRECHO DE 100 m – RODOVIA CE-401 ...</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE B – TABELAS DE IRI POR TRECHO DE 100 m – AVENIDA DIOGUINHO .....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do setor de transportes é notória na sociedade, visto que seu desempenho influencia diretamente as atividades humanas, sendo, portanto, fator essencial ao seu desenvolvimento. O desempenho dos sistemas de transportes está relacionado diretamente com a oferta de uma infraestrutura que seja compatível com a demanda desses sistemas. Assim, alguns fatores são indispensáveis para a criação e manutenção dessa infraestrutura, tais como: investimentos financeiros, além de práticas efetivas de execução, avaliação e monitoramento periódicos. Fatores que geram um desenvolvimento acelerado, seguro e estável à implantação de novas redes de infraestrutura e à manutenção das já existentes, promovendo um impacto positivo tanto na economia quanto na sociedade.

O meio acadêmico deve, por meio de estudos relativos à evolução dos métodos de pesquisa, ensaios laboratoriais, entre outros, contribuir para uma melhoria na concepção das infraestruturas de transportes, através da elaboração e revisão de normas e do desenvolvimento de pesquisas a médio e longo prazo. Além disso, o intenso avanço tecnológico da última década em diversos setores da sociedade deve ser incorporado também pela infraestrutura de transportes, mais especificamente, na avaliação de pavimentos urbanos, haja vista que os métodos atuais ainda se utilizam de acentuada subjetividade, dificultando a acurácia dos resultados de tal processo.

Tal medida vai de encontro à tendência mundial, visto que, segundo Flintsch e Bryant (2008), a maneira pela qual os órgãos gestores e empresas concessionárias coletam e analisam os dados, tem evoluído em conjunto com os avanços da tecnologia, com a utilização de *notebooks*, *smartphones*, *tablets*, sensores avançados, imagens e tecnologias espaciais de georreferenciamento. Esses recursos garantem um maior desempenho na elaboração de projetos, no acompanhamento da execução e na manutenção dos pavimentos, por proporcionar mais objetividade aos processos de avaliação.

Para que isso ocorra, é necessário que haja a utilização de métodos científicos para o desenvolvimento de sistemas e o armazenamento e gerenciamento de dados obtidos em avaliações de campo, subsidiados pelos ensaios de laboratório e pelo incremento de novas tecnologias, permitindo assim, a elaboração de projetos de Engenharia de Transportes mais consistentes. Através disso, torna-se possível a execução de infraestruturas com maior padrão de qualidade, por consequência, com melhor desempenho e avaliadas com maior produtividade. Com isso, proporcionam-se maiores benefícios aos usuários e menores gastos aos gestores, sejam eles públicos ou privados.

## 1.1 Justificativa

Este trabalho se justifica tendo em vista que os métodos de avaliação de pavimentos utilizados atualmente no Brasil conduzem, muitas vezes, a condições que podem não expressar a sua real serventia, por apresentar um alto grau de subjetividade e empirismo, além de interferir no fluxo normal das operações de tráfego. A junção desses fatores torna o processo lento, trabalhoso, inseguro e dispendioso.

Além disso, observa-se também, que as análises realizadas pelos órgãos rodoviários não levam em consideração trechos específicos onde as irregularidades são maiores que a média da rodovia, ou trechos críticos. Nesses casos, a qualidade da rodovia é classificada de maneira global. Isso pode proporcionar uma falsa impressão aos gestores rodoviários e, até mesmo, aos usuários, quanto à qualidade de conforto ao rolamento e a necessidade de se realizar manutenções preventivas ou corretivas, visto que, mesmo uma rodovia sendo classificada globalmente como boa, pode apresentar trechos específicos que apresentem qualidade insatisfatória.

Os aplicativos para *smartphones* surgem com uma alternativa viável para a solução desses problemas, pois, além de possuírem um baixo valor aquisitivo, muitos sendo até gratuitos, e de fácil operação, são mais precisos do que os métodos subjetivos. Aplicativos, como o *SmartIRI*, *RoadLab* e *Roadroid*, utilizados nesta pesquisa, fornecem valores de irregularidade longitudinal a cada 100 metros; com isso, é possível identificar os trechos críticos, onde a irregularidade é mais acentuada, podendo, assim, auxiliar na análise das possíveis causas desse aumento de irregularidade em trechos específicos.

Além de possibilitar essa análise em trechos específicos, os aplicativos viabilizam avaliações funcionais por faixa de tráfego, devido a sua praticidade e rapidez no levantamento de campo, proporcionando uma análise comparativa das irregularidades entre as faixas. Assim, pode-se também observar qual a faixa possui as piores condições funcionais.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa é realizar uma análise comparativa entre os aplicativos *SmartIRI*, *Roadlab* e *Roadroid* por meio da coleta do Índice de Irregularidade Internacional (IRI) em todas as faixas de tráfego das duas pistas da Rodovia CE-401 e da

Avenida Dioguinho, em Fortaleza.

Como objetivos específicos podem ser descritos:

- a) classificar a condição funcional das faixas de tráfego quanto ao conforto ao rolamento;
- b) comparar o resultado dos aplicativos, analisando semelhanças e diferenças;
- c) analisar os trechos críticos identificados por cada aplicativo;
- d) definir qual(is) aplicativo(s) é(são) mais adequado(s) para uso em pavimentos urbanos.

### **1.3 Estruturação do Trabalho**

O trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho, por meio de artigos internacionais e nacionais, teses, dissertações que abordam conceitos, definições e metodologias utilizadas nesta pesquisa. No Capítulo 3 está exposta a metodologia aplicada no desenvolvimento da pesquisa, com descrição de locais, materiais e métodos utilizados nos estudos de caso deste trabalho. No Capítulo 4 está exposto o estudo de caso para a Avenida Senador Carlos Jereissati (Rodovia CE-401) e para a Avenida Dioguinho. Descreve-se a realização do levantamento dos dados de IRI nas avenidas, em seguida a análise comparativa dos resultados de irregularidade longitudinal entre os aplicativos, por faixa de tráfego e a discussão dos resultados obtidos. No Capítulo 5 estão as conclusões para este estudo de caso obtidas através da análise dos resultados encontrados no capítulo anterior e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será discutida a avaliação funcional de pavimentos e os modos como pode ser realizada. Em seguida, o conceito de irregularidade longitudinal será apresentado juntamente com a influência que o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) tem na qualidade funcional dos pavimentos, com ênfase na conveniência e acurácia. Por fim, será apresentado um breve histórico do uso de aplicativos para *smartphones* na avaliação funcional, com foco nos aplicativos utilizados nesta pesquisa.

### 2.1 Avaliação Funcional

Tendo em vista que a importância que uma adequada condição dos pavimentos rodoviários tem para o pleno funcionamento de qualquer sociedade, é necessário estabelecer métodos mais objetivos e racionais para garantir a conservação das estruturas do pavimento, com o intuito de definir a priorização dos investimentos em projeto, construção, manutenção e reabilitação. Por meio desses mecanismos, pode-se garantir a aplicabilidade de uma gestão de infraestrutura de transportes mais efetiva.

Do ponto de vista do usuário, o estado em que se encontra a superfície do pavimento é o fator preponderante no que concerne à qualidade da via, pois o conforto ao rolamento é afetado diretamente pelos defeitos e pelas irregularidades na superfície. Tais defeitos acarretam em maiores custos operacionais com peças de manutenção do veículo, combustível, tempo de viagem e pneus. Alguns modelos empíricos evidenciam a correlação entre a irregularidade do pavimento e estes custos operacionais.

O desempenho funcional de um pavimento refere-se à capacidade deste de proporcionar um maior conforto e suavidade ao rolamento por meio de uma superfície com serventia adequada. No passado, e ainda hoje, a avaliação funcional dos pavimentos rodoviários são feitos de uma forma bastante subjetiva, embora já existam tecnologias e aparelhos desenvolvidos para a medição da irregularidade longitudinal em forma do parâmetro IRI – Índice de Irregularidade Internacional (do inglês, *International Roughness Index*). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) define que os pavimentos devem ser reabilitados quando atingirem um valor de serventia e de irregularidade.

## 2.2 Irregularidade Longitudinal

De acordo com DNIT (2006), conceitua-se a irregularidade longitudinal como o conjunto de desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência. Desvios esses que, entre outros inconvenientes, afetam a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via. A deterioração da estrutura do pavimento é causada pelo aumento da ação das cargas dinâmicas dos veículos sobre a superfície do pavimento devido à presença de irregularidade. Uma das principais particularidades da irregularidade longitudinal é que, a partir de um certo valor inicial, ela tende a crescer exponencialmente, já que os desvios verticais da superfície do pavimento afetam a componente dinâmica das forças, contribuindo para o aumento da própria irregularidade.

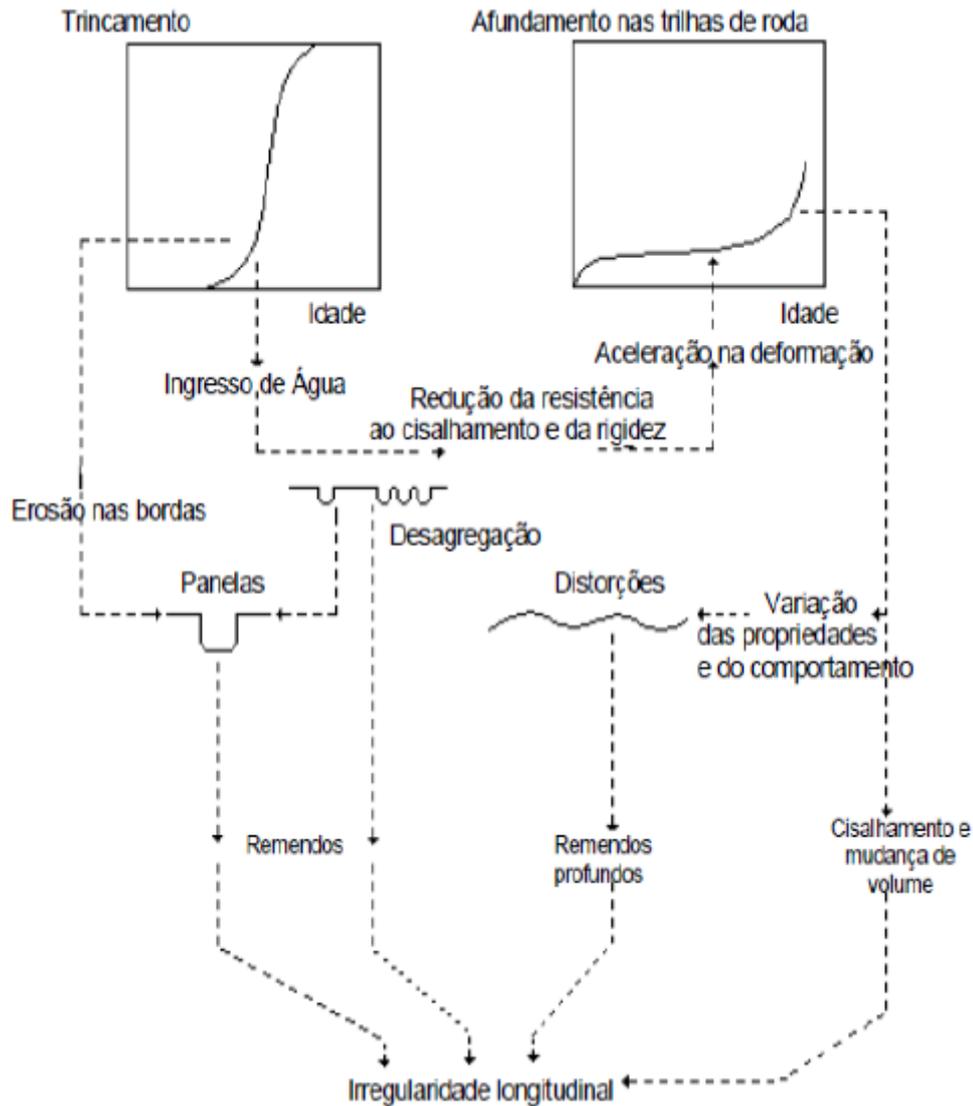
Barella (2008) cita a pesquisa da Hawaii *Asphalt Paving Industry*, que acompanhou a evolução da irregularidade durante dois anos, em aproximadamente 3000 km de faixas de rolamento. Mesmo em pouco tempo de observação já foi nítida a menor evolução da irregularidade nos pavimentos com irregularidade inicial menor. Por exemplo, um pavimento inicialmente com IRI igual a 0,5 m/km, ao fim de dois anos estava com IRI aproximadamente igual a 0,55 m/km, enquanto um pavimento com IRI inicial de 2,00 m/km, já possuía ao final de dois anos um IRI igual a 2,45 m/km. No primeiro caso, houve um aumento de 10% em relação ao valor inicial, enquanto que no segundo, esse aumento foi de 22,5%, mais do que o dobro em relação ao primeiro, comprovando assim, que o aumento da irregularidade longitudinal ocorre de forma exponencial. Diante disso, nota-se que trechos com irregularidade mais elevada devem ter uma atenção maior, no que concerne a manutenções preventivas, em relação aos trechos que possuem irregularidade menor.

De acordo com DNIT (2011), a irregularidade longitudinal pode decorrer de imperfeições no processo construtivo da via, assim como pode ser resultado de sua degradação, em função da ação do tráfego, do clima e de outros fatores. Não se deve entender a irregularidade como mais um defeito de superfície, mas, sim, como um parâmetro que representa os efeitos que o conjunto de defeitos de um pavimento provoca na condição de rolamento dos veículos. Isso vai de acordo com González *et al.* (2008), que considera a irregularidade longitudinal um termo amplo que incorpora desde buracos e rachaduras até desvios aleatórios no perfil.

Conforme DNIT (2006), há uma interação entre os defeitos dos pavimentos. Como por exemplo, quando há trincamentos, a água infiltra nas camadas de base, reduzindo a rigidez e a resistência ao cisalhamento do pavimento, ocasionando afundamento nas trilhas de roda.

Esses mesmos trincamentos associados à desagregação originarão as panelas. As interações entre os defeitos dos pavimentos estão esquematizadas na Figura 1.

Figura 1 - Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas



Fonte: DNIT (2006).

A irregularidade é apontada como o principal defeito na avaliação de pavimentos (DNIT, 2011). Isso decorre do fato de ela é resultado das interações dos mais diversos defeitos que comprometem as finalidades para as quais o pavimento é construído: proporcionar segurança, conforto e suavidade ao rolamento.

### 2.2.1 IRI (*International Roughness Index – Índice de Irregularidade Internacional*)

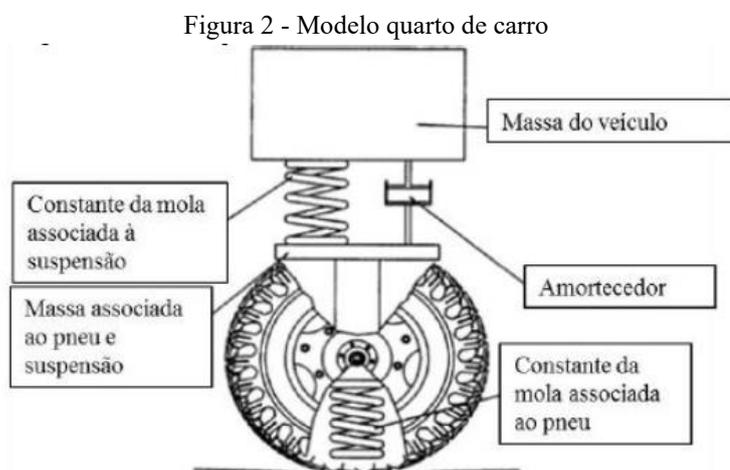
O IRI, do inglês *International Roughness Index*, ou Índice de Irregularidade Internacional, é chamado assim pois foi produto do experimento internacional denominado Experiência Internacional de Rugosidade das Estradas, do inglês *International Road Roughness Experiment* (IRRE), conduzido por equipes de pesquisa do Brasil, Bélgica, Estados Unidos e Inglaterra, com o intuito de estabelecer um índice unificado internacionalmente, de acordo com Gillespie, Paterson e Sayers (1986).

O IRRE foi realizado em Brasília, no Brasil, em 1982, e envolveu a medição controlada da irregularidade longitudinal para várias rodovias sob várias condições, instrumentos e métodos, com o objetivo de eleger a escala que representasse o índice internacional. A escala de irregularidade escolhida para ser o IRI foi a que melhor satisfizes os critérios de ser estável no tempo, transportável e relevante, além de ser prontamente mensurável por todos os praticantes.

Conforme Sayers, Gillespie e Queiroz (1986), essa escala usa um modelo matemático de um quarto de carro para calcular o IRI, que é o quociente do movimento linear acumulado da suspensão dividido pelo comprimento do perfil longitudinal da rodovia. Portanto, o IRI tem uma unidade de medida de inclinação, como mm/m, m/km ou in/mi, por exemplo. O IRRE definiu que os fatores que afetam o IRI são:

- a) veículo de medição, que pode ser minimizado pela calibração;
- b) velocidade, que também pode ser minimizada pela calibração;
- c) tipo de pavimento.

O modelo quarto de carro está representado na Figura 2.



Fonte: Almeida (2018).

O IRI pode ser calculado por algoritmos que tem como dados de entrada as cotas do perfil longitudinal (método do Nível e Mira). Esse índice também pode ser calculado indiretamente através da resposta da suspensão de um veículo, ao passar pelo trecho. O IRI tem sido utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços em alguns países, como Suécia e Japão, segundo Bernucci *et al.* (2008).

De acordo com Karamihas e Sayers (1998), o cálculo do IRI é baseado na acumulação dos deslocamentos em valor absoluto, da massa superior em relação à massa inferior (em milímetros, metros ou polegadas), de um modelo de veículo, dividido pela distância percorrida (em metros, quilômetros ou milhas), quando o veículo está trafegando em uma velocidade de cerca de 80 km/h, dessa forma, o cálculo do IRI é realizado com base na medição da resposta de um veículo às condições de superfície.

### **2.3 Classe dos equipamentos medidores da irregularidade longitudinal**

Existem diversos equipamentos utilizados para medir a irregularidade longitudinal utilizando o IRI, estes equipamentos são divididos em quatro classes. De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a irregularidade pode ser aferida através de medidas topográficas com equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato; ou indiretamente, avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação a suspensão. Essa última terminologia deve-se ao fato desses equipamentos medirem mais a resposta da suspensão dos veículos causada pela irregularidade do que esta propriamente dita.

A definição da classe de um equipamento tem a ver com a acurácia dos dados obtidos e, por consequência, com a conveniência que esse equipamento proporciona para sua utilização. A classificação vai desde Classe I até Classe IV, na qual a primeira apresenta maior acurácia e menor conveniência e a última apresenta o oposto, além de não medir irregularidade, avaliando apenas a sensação do usuário quanto ao conforto ao rolamento da rodovia analisada. Em outras palavras, ainda não há uma forma de medir o IRI com, simultaneamente, precisão e exatidão, alto rendimento e baixo custo.

Karamihas e Sayers (1998) classificam as avaliações de pavimentos da seguinte forma:

- a) avaliação direta: aquela realizada por equipamentos de Classe I (nível e mira,

Dipstick (Figura 3), ARRB *walking profilometer*, perfilômetro do TRL, ROMDAS z-250, etc.) e Classe II (APL Trailer francês, GMR *type Inertial Profilometer* e demais equipamentos com sensores a laser (Figura 4), etc.);

Figura 3 - Equipamentos de classe I, Dipstick (esquerda) e Walking Profiler (direita)



Fonte: Bisconsini (2016).

Figura 4 - Perfilômetro a laser (equipamento classe II)



Fonte: Dynatest (2016)

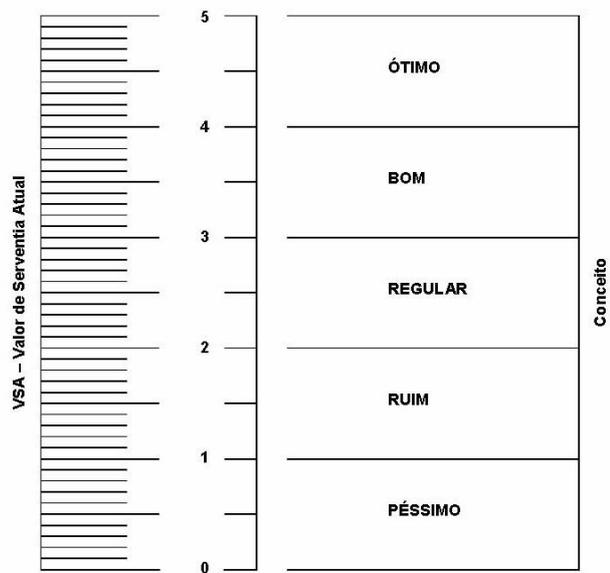
b) avaliação indireta: realizada com equipamentos de Classe III (TRL *Bump Integrator*, *Maysmeter*, *Roughmeter* (Figura 5), *Roadmaster*, Merlin, ROMDAS, *Rolling straight edge*, etc.) e Classe IV (inspeção visual) (Figura 6).

Figura 5 - Equipamento do tipo resposta (classe III)



Fonte: Douangphachanh (2014).

Figura 6 - Ficha de avaliação de serventia (método classe IV)



Rodovia: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

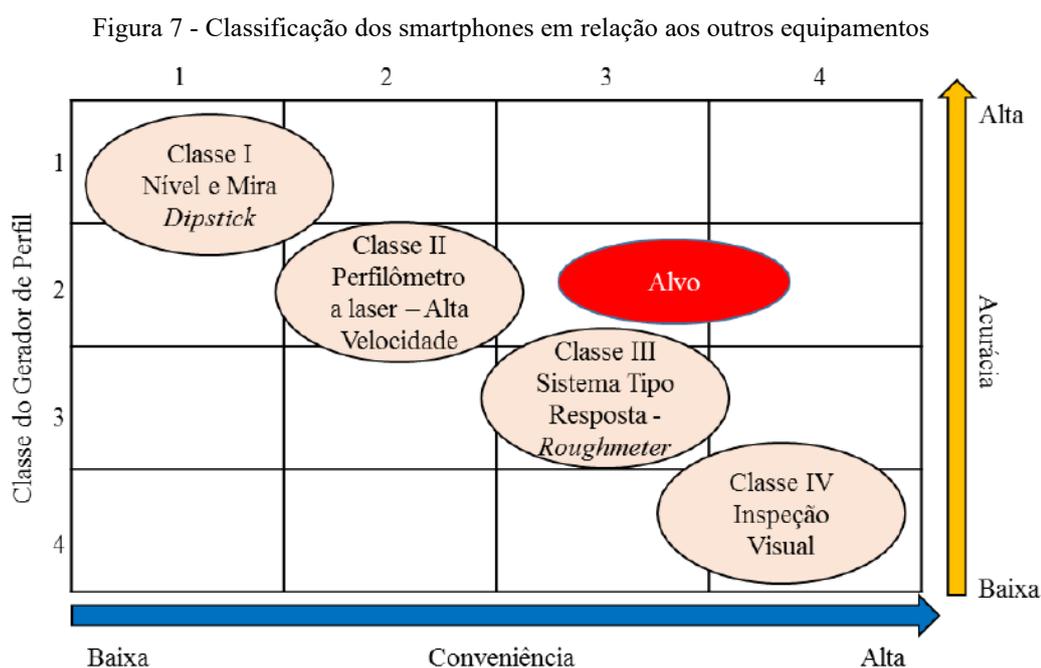
Observações: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Nº do Avaliador: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Fonte: DNIT (2003e).

Tomiyama *et al.*(2012) classificam a utilização dos *smartphones* para obtenção da irregularidade em função da acurácia do gerador do perfil e da sua conveniência de acordo com a Figura 7. O alvo refere-se ao objetivo da pesquisa de Tomiyama *et al.* (2012), ou seja, a obtenção de um método com maior acurácia e conveniência possível, que seria um método que utilize *smartphones* para medir a irregularidade longitudinal, mas ainda pertencente à Classe III.



De acordo com Duarte (2018), determinar o método que forneça dados mais representativos possíveis da irregularidade longitudinal de um pavimento, por meio do IRI, é de extrema importância para uma gestão de pavimentos eficiente. Quanto mais acurado for o método, mais confiáveis e representativos são os dados de IRI obtidos e melhor será o embasamento para identificar trechos críticos, e então, destinar melhor os recursos e planejar as manutenções.

Ainda segundo Duarte (2018), a conveniência do equipamento e sua viabilidade econômica são fatores decisivos na escolha do método. A comparação entre métodos é fundamental na tomada de decisão, pois um método será mais viável do que o outro, dependendo do objetivo dos profissionais, das equipes e das condições técnicas e econômicas do órgão gestor rodoviário.

## 2.4 Uso de aplicativos para *smartphones* para calcular o IRI

De acordo com Almeida (2018), uma das vantagens no uso de aplicativos desenvolvidos para *smartphones* na avaliação de pavimentos é a realização de levantamentos mais rápidos, com maior desempenho e produtividade, e sem maiores interferências humanas, aumentando a objetividade do método. Os dados ficam mais acessíveis ao usuário através da plataforma *online* de aplicativo, bem como mais facilmente visualizados e compreendidos pelos envolvidos no processo de gestão de pavimentos, facilitando a tomada de decisão.

Conforme as pesquisas de Forslof e Jones (2013), Bisconsini (2016), Wang e Guo (2016) e Almeida (2018), para se mensurar a irregularidade longitudinal, o *smartphone* precisa ter, basicamente, o acelerômetro para medir a aceleração vertical, o GPS para fornecer a velocidade com que o veículo passou no trecho e suas coordenadas geográficas e, para finalizar, uma unidade de processamento com boa frequência de transmissão de dados, para que o maior número possível de informações (aceleração vertical, coordenadas geográficas, velocidade) sejam coletadas em um trecho.

Os sinais obtidos são bastante sensíveis à velocidade com que o veículo trafega no trecho, assim como os equipamentos do tipo resposta, por esse motivo, precisam de uma calibração por correlação, com o objetivo de determinar, para cada velocidade operacional, a relação entre o valor de IRI obtido por um equipamento de precisão Classe I (preferencialmente o nível e a mira) e quantidade de deslocamentos verticais dividido pela distância percorrida medidos pelo equipamento. No caso dos aplicativos para *smartphones*, o princípio básico é correlacionar os valores obtidos de IRI (obtidos por um equipamento de precisão) com as acelerações verticais causadas pelas irregularidades longitudinais do trecho (BISCONSINI, 2016).

Segundo Forslof e Jones (2013), os *smartphones* podem fornecer atualizações sobre a condição da irregularidade do pavimento a uma página da web rapidamente, em relação a outros métodos mais precisos, mas que, devido ao custo, são utilizados com pouca frequência. Sendo assim, devem-se adequar os diferentes tipos de equipamentos de avaliação da irregularidade longitudinal de acordo com o tipo de informação requerida, o tempo e os meios disponíveis.

## 2.5 Aplicativos para *smartphones*

A princípio, o interesse dos aplicativos era a detecção de buracos ou panelas utilizando sensores móveis, a maioria busca identificar e localizar esses defeitos em vez de estimar a real condição do pavimento, particularmente em termos de IRI. Um exemplo dessa aplicação é o *StreetBump*. Esse aplicativo foi desenvolvido para que os usuários contribuam mapeando buracos e outras deformações nas ruas de Boston. Os dados coletados a partir do acelerômetro e do GPS presentes no *smartphone* são enviados a um servidor gerido pelo departamento de obras públicas de Boston (BISCONSINI, 2016).

Além do *StreetBump*, outro aplicativo desenvolvido para detecção de buracos foi o *BumpRecorder*. Esse aplicativo foi desenvolvido por pesquisadores japoneses e funciona de maneira análoga ao *StreetBump*. Considerar apenas a localização dos buracos não é uma forma eficiente de se avaliar a qualidade da rodovia, pois a não existência de buracos implica uma rodovia em perfeitas condições de rolamento, pois além dos buracos, existem outros defeitos (ALMEIDA, 2018).

Segundo Duarte (2018), avaliar a qualidade do pavimento é mais eficiente utilizando a irregularidade longitudinal, pois é resultado de vários defeitos, não apenas de buracos. Com o estudo de González *et al.* (2008), no qual apresentou um método conveniente, rápido e econômico de estimar a condição da rodovia, usando dados aproveitados de acelerômetros de veículos, outros pesquisadores, como Forslof e Jones (2013), Bisconsini (2016), Wang e Guo (2016) e Almeida (2018) desenvolveram trabalhos utilizando acelerômetros de *smartphones* para avaliação de rodovias, principalmente devido ao seu baixo custo, alta produtividade e fácil operação em relação aos métodos de avaliação direta.

Uma das limitações que os aplicativos apresentam tem relação com a textura do pavimento a ser analisado, visto que uma textura mais aberta tende a ser interpretada como irregularidade longitudinal pelos algoritmos de calibração dos aplicativos. Essa hipótese pode ser fundamentada na pesquisa de Almeida, Oliveira e Ramos (2018), a qual constatou que, embora o revestimento não apresente defeitos, apresenta valores consideráveis de irregularidade longitudinal para texturas abertas. Isso se deve à sobreposição entre os domínios de escala vertical entre a megatextura e a irregularidade longitudinal, indicado na Tabela 1. Além disso, excetuando-se o *Roadroid*, os aplicativos não possuem filtros para minimizar a influência da textura, sendo assim, os aplicativos ainda não conseguem fazer distinção entre as dimensões verticais da textura e a irregularidade.

Tabela 1 - Classificação da textura

Domínio	Intervalo de Dimensões	
	Horizontal	Vertical
Microtextura	0 - 0,5 mm	0 - 0,2 mm
Macrotextura	0,5 - 50 mm	0,2 - 10 mm
Megatextura	50 - 500 mm	1 - 50 mm
Irregularidade	0,5 m - 50 m	1 mm - 20 cm

Fonte: APS (2006).

Será dada ênfase, nos próximos tópicos, a descrição dos aplicativos *Roadroid*, *RoadLab* e *SmartIRI*, que foram desenvolvidos para estimar a condição funcional do pavimento através da correlação do IRI com dados de aceleração vertical obtidos pelos *smartphones*. Esses também são os aplicativos que serão utilizados no estudo de caso para desenvolvimento desta pesquisa.

### 2.5.1 Roadroid

O aplicativo utilizado em grande parte dos estudos sobre o desenvolvimento de aplicativos para *smartphones* na avaliação da irregularidade de pavimentos foi o *Roadroid*. Esse aplicativo foi desenvolvido por Forslof e Jones (2013), começou a ser elaborado em 2002 e possui como princípio a análise de dados do acelerômetro, a velocidade do deslocamento do veículo e o intervalo de amostragem.

Por volta de 2011, os desenvolvedores do *Roadroid* começaram a coletar dados em diferentes tipos de rodovias e de veículos trafegando por obstáculos distintos, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Obstáculos para estudo e fixação do *smartphone* no veículo



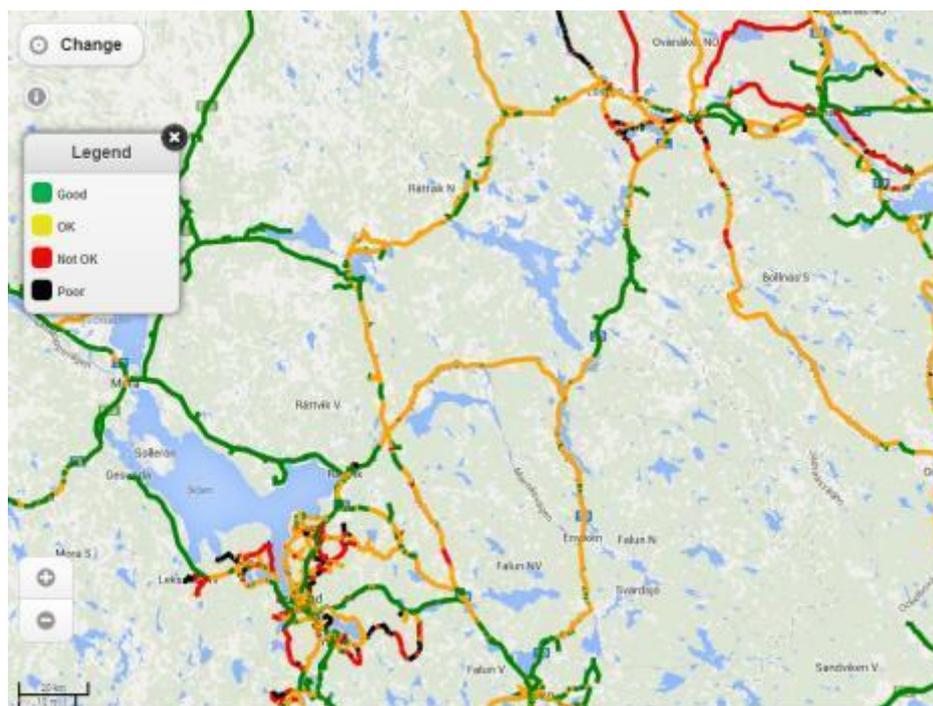
Fonte: Forslof e Jones (2013).

Segundo Hirpahuanca (2016), os obstáculos foram percorridos por diferentes tipos de veículos, desde carros de passeio até 4WD com seis tipos de velocidades (20, 40, 60, 80, 100 e 120km/h). Ainda de acordo com Hirpahuanca (2016), estes experimentos realizados durante o ano de 2011 podem ser utilizados como dados confiáveis. A análise dos dados permitiu fazer as seguintes observações:

- a) Foram verificadas diferenças entre os tipos de veículos, principalmente quando percorriam a via com baixas velocidades. Entretanto, notou-se que em um intervalo de velocidades entre 40 e 80km/h, essas diferenças tendem a diminuir;
- b) Foi encontrado um modelo que permite calcular a influência da velocidade em três tipos de veículos (pequeno, médio e grande porte). Também foram verificadas as diferenças entre dispositivos distintos, especialmente em relação à taxa de aquisição de dados e a sensibilidade dos acelerômetros. Foi realizado um processo de calibração que permitiu padronizar os parâmetros de cada dispositivo de coleta;
- c) Verificou-se também que, para ter uma confiabilidade dos dados, é preciso que haja um suporte ou uma base rígida e estável na qual o smartphone deve ser disposto.

O aplicativo fornece como saída duas opções de dados para irregularidade: eIRI e cIRI, além dos dados de localização através do GPS (Forslof e Jones, 2013). O eIRI (IRI estimado) é baseado na análise dos valores de RMS (*Root Mean Square* – Média Quadrática). A configuração é elaborada para três tipos de veículos e intervalo de medição de 20km/h a 100km/h. Este parâmetro mensura a influência da textura do pavimento na irregularidade longitudinal da rodovia analisada. Já o cIRI (IRI calculado) é fundamentado na simulação do modelo quarto de carro e o intervalo de velocidade de medição é entre 60 km/h e 80 km/h. De acordo com Forslof (2013), em estudos realizados na Universidade de Auckland em 2013, o *Roadroid* respondeu de forma similar aos sistemas utilizados pelo setor rodoviário de Auckland, atingindo 81% de correlação com os sistemas de medição a laser. Além dos valores de eIRI e cIRI, também é apresentada uma ferramenta visualizadora de mapas baseada em HTML5 que exhibe a condição da via, conforme Figura 9.

Figura 9 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadroid



Fonte: Forslof e Jones (2013).

O *Roadroid* indica que a condição da via é dividida em quatro diferentes níveis de qualidade funcional e cores, de acordo com os valores de eIRI: verde para boa, amarelo para regular, vermelho para ruim e preto para péssimo. Essa escala foi desenvolvida por Forslof e Jones (2013), possuindo correlação qualitativa com o IRI, no entanto, é adimensional. Os dados estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do Roadroid segundo o eIRI

Intervalos de eIRI	Classificação	Cor
$eIRI < 4$	Bom	Verde
$4 \leq eIRI < 6$	Satisfatório	Amarelo
$6 \leq eIRI < 8$	Insatisfatório	Vermelho
$8 \leq eIRI$	Péssimo	Preto

Fonte: Forlof e Jones (2013).

### 2.5.2 RoadLab

Este aplicativo foi desenvolvido na pesquisa de Wang e Guo (2016), cujo intuito era de informar as condições da rodovia em relação ao conforto ao rolamento e a segurança. O aplicativo é voltado para a participação dos usuários das rodovias no monitoramento e na avaliação das condições de infraestrutura das vias. A ideia é que os usuários instalem o

aplicativo e alimentem o banco de dados das agências de gerência de pavimentos ou compartilhem os dados com a comunidade *online*, informando a localização dos trechos críticos por meio das coordenadas geográficas obtidas pelo GPS dos *smartphones*. As agências teriam, portanto, a responsabilidade de dar um retorno positivo à população através de manutenções e reabilitações das vias danificadas.

De acordo com Wang e Guo (2016), os dados sobre as vias são coletadas pelo usuário de duas formas: por meio de relatórios escritos pelos próprios usuários anexando fotos dos defeitos do pavimento (buracos, trincas, manchas no asfalto, acidentes de trânsito) capturadas pelas câmeras dos *smartphones*; ou através dos dados de aceleração vertical obtidas através de acelerômetros, verificando-se onde se localizam os picos de aceleração, que evidenciam maiores irregularidades na rodovia. O princípio de funcionamento do aplicativo está esquematizada na Figura 10.

Figura 10 - Esquema de funcionamento do aplicativo RoadLab



Fonte: Adaptado de Wang e Guo (2016).

O aplicativo é ligado automaticamente quando a velocidade dos veículos chega a 30 km/h. Para usar o aplicativo, o *smartphone* deve ser colocado em uma superfície estável em um veículo em movimento, de preferência o para-brisa do veículo, visto que o painel sofre influência da vibração do motor, podendo comprometer as leituras do acelerômetro. O aplicativo irá detectar automaticamente as posições do aparelho e força dos sinais de GPS e lembrar o usuário para posicionar o dispositivo corretamente, com o intuito de se obter dados

confiáveis. Todos os dados dos acelerômetros são coletados anonimamente para proteger a identidade do usuário (WANG e GUO, 2016).

O aplicativo também utiliza uma escala de cores para representar a classificação da via com base nos valores de IRI coletados. Essa escala está representada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação proposta pelo aplicativo Roadlab

Intervalos de IRI (m/km)	Classificação	Cor
$IRI < 2,0$	Muito bom	Azul escuro
$2,0 \leq IRI \leq 4,0$	Bom	Azul claro
$4,0 \leq IRI \leq 6,0$	Regular	Amarelo
$6,0 < IRI \leq 10,00$	Ruim	Vermelho
$IRI > 10,00$	Péssimo	Roxo

Fonte: Wang e Guo (2016).

### 2.5.3 *SmartIRI*

O *SmartIRI* foi o aplicativo para *Android* desenvolvido por Almeida (2018). Todos os aplicativos passam por uma prévia calibração por correlação para cada veículo, aparelho e velocidade operacional. Após a calibração, o dispositivo deve ser fixado no para-brisa do veículo através de um suporte e a avaliação deve ser iniciada com o veículo em movimento, quando a velocidade estiver entre 60 e 80 km/h, pois de acordo com Bisconsini (2016), para velocidades muito baixas os pneus absorvem pequenas saliências, além disso, para menores velocidades, o veículo não apresenta resposta para irregularidades com grandes comprimentos de onda, o nível de irregularidade pode ser reduzido, então.

O aplicativo realiza o processamento dos dados de aceleração vertical e calcula o RMSVA a cada 100 metros percorridos, aproximadamente, informando também as coordenadas geográficas do respectivo trecho, com o intuito de georreferenciar o trecho. Esses dados podem ser analisados no próprio *smartphone* ou realizando o *upload* dos arquivos gerados para se realizar uma análise mais detalhada.

Além de RMSVA e coordenadas geográficas, outras informações que aplicativo fornece na coleta de dados são: hora do levantamento de dados, velocidade média e distância percorrida. A Figura 11 apresenta uma captura de tela do *SmartIRI*, com dados coletados durante uma avaliação.

Figura 11 - Captura de tela com dados coletados com *SmartIRI*

HORA	VEL. MÉDIA	CLASSIFICAÇÃO	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DISTÂNCIA	IRI	RMS
15:19:43	73.38 Km/h	BOM	-4.961603	-38.997786	-4.960694	-38.997858	100.00 m	2.63	0.78
15:19:49	76.91 Km/h	BOM	-4.960694	-38.997858	-4.959735	-38.997925	106.00 m	2.25	0.68
15:19:54	81.93 Km/h	BOM	-4.959735	-38.997925	-4.958715	-38.998006	113.00 m	3.14	1.10
15:19:59	84.33 Km/h	BOM	-4.958715	-38.998006	-4.957660	-38.998086	117.00 m	3.00	1.09
15:20:04	84.61 Km/h	BOM	-4.957660	-38.998086	-4.956614	-38.998274	117.00 m	3.86	1.47
15:20:09	84.95 Km/h	BOM	-4.956614	-38.998274	-4.955596	-38.998591	117.00 m	2.82	1.03
15:20:14	84.78 Km/h	BOM	-4.955596	-38.998591	-4.954579	-38.998904	117.00 m	2.99	1.10
15:20:19	85.65 Km/h	BOM	-4.954579	-38.998904	-4.953552	-38.999218	118.00 m	2.52	0.91
15:20:24	85.69 Km/h	BOM	-4.953552	-38.999218	-4.952525	-38.999535	118.00 m	2.64	0.96

Fonte: Almeida (2018).

Após calcular o IRI através da correlação com o RMSVA, o *SmartIRI* apresenta, além da Figura 11, um arquivo no formato KML apresentado na Figura 12, que permite ao usuário a visualização do trecho monitorado por meio de mapas, segmentando o trecho a cada 100 metros em uma escala de cores que obedece aos parâmetros apresentados na Tabela 4.

Figura 12 - Mapa gerado pelo aplicativo *SmartIRI*

Fonte: Almeida (2018).

Tabela 4 - Classificação proposta pelo *SmartIRI*

Intervalos de IRI (m/km)	Classificação	Cor
$IRI < 2$	Excelente	Verde escuro
$2 \leq IRI < 4$	Bom	Verde claro
$4 \leq IRI < 6$	Regular	Laranja
$6 \leq IRI$	Ruim	Vermelho

Fonte: Almeida (2018).

Segundo Almeida (2018), a ideia central do *SmartIRI* é ser simples e fácil de operar, de forma eficiente em termos de recursos para que não afete a vida útil da bateria do *smartphone*, bem como o desempenho geral do dispositivo enquanto o aplicativo estiver em funcionamento. Em relação à acurácia dos resultados, Duarte (2018) afirma que os valores de IRI fornecidos pelo *SmartIRI* foram condizentes com outros métodos ou classes de equipamentos na maioria dos testes realizados no trabalho em questão.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção, são descritos os métodos de coleta de dados utilizados no estudo de caso desta pesquisa. Além disso, são detalhados, também, os materiais usados e as vias definidas para ocorrer o levantamento da condição funcional dos pavimentos a partir dos aplicativos *Roadroid*, *Roadlab* e *SmartIRI*.

#### 3.1 Materiais

Foram realizados levantamentos em dois locais, os quais possuíam pavimentos com revestimentos distintos. Sendo assim, foram escolhidas a Rodovia CE-401, que apresenta um revestimento de pavimento flexível e a Avenida Dioguinho, que possui um revestimento de pavimento rígido. Essa escolha permitiu avaliar o desempenho dos aplicativos em diferentes tipos de estrutura.

Foi feito um levantamento por faixa, obtendo dados de IRI a cada 100 metros, aproximadamente, com o uso de cada aplicativo. Com os dados obtidos, pode-se realizar uma análise comparativa da irregularidade longitudinal e da qualidade funcional entre as faixas de tráfego, por meio dos resultados de IRI de cada aplicativo, além de se efetuar também, uma análise comparativa entre os resultados dos aplicativos, por meio do estudo do coeficiente de variação entre os três aplicativos. A discussão dessas comparações foi feita através de análises gráficas e construção de tabelas por meio do programa Excel.

O veículo utilizado na Rodovia CE-401 é da marca Hyundai, modelo HB20, motor 1.0, ano 2017. O sistema de suspensão foi inspecionado a fim de garantir seu funcionamento, de acordo com a calibragem dos aplicativos. Os pneus foram calibrados em 32 psi, conforme orientação do fabricante. O automóvel estava com meio tanque cheio com etanol.

O veículo utilizado no levantamento de dados da Av. Dioguinho foi da marca Chevrolet, modelo Prisma, motor 1.4, ano 2016. Também foi inspecionado o sistema de suspensão do veículo, assim como a calibração dos pneus em 32 psi, de acordo com a orientação do fabricante. O automóvel estava com tanque cheio com gasolina.

O *smartphone* utilizado foi o Galaxy S8 da marca Samsung, ilustrado na figura 13, pois o aparelho apresenta o giroscópio, que permite a permanência da mesma direção do eixo

de rotação na ausência de forças que o perturbem, seja qual for a direção do veículo que o conduz. O giroscópio, em consonância com o acelerômetro, minimiza os erros na aquisição de dados da aceleração vertical, tornando-os mais confiáveis.

Com relação ao suporte veicular para *smartphones* utilizado, Forslof e Jones (2013) recomenda o modelo *Vehicle Dock* da marca Samsung, ilustrado na Figura 14, para o aplicativo *Roadroid*, por questão de conveniência e padronização da coleta de dados, foi decidido utilizar o mesmo suporte em todas as leituras, incluindo os outros aplicativos. Esse equipamento fornece bom apoio ao *smartphone* e sua fixação é no para brisa, o que permite a mitigação de erros oriundos de vibração excessiva do aparelho com o veículo em movimento, ou que a vibração do motor de veículo interfira nas leituras dos aplicativos.

Figura 13 - Suporte e posição correta do *smartphone*



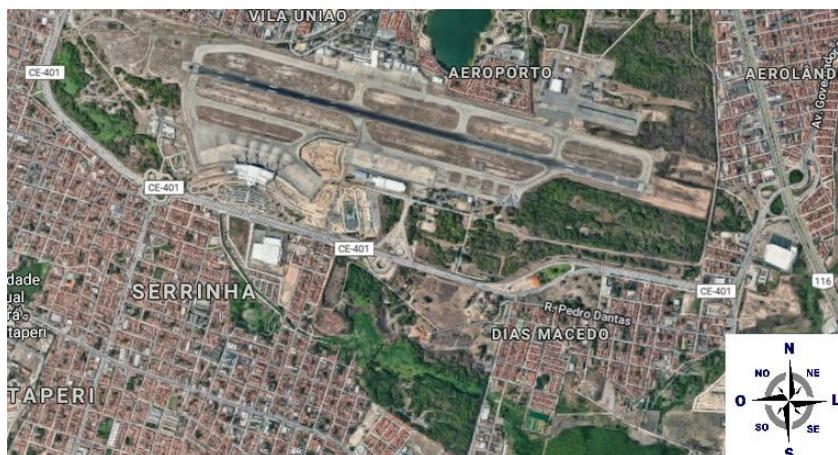
Fonte: Almeida (2018).

Buscou-se realizar os levantamentos em velocidades o mais próximo possível de 60 km/h, visto que a velocidade recomendada pelos aplicativos é entre 60 km/h e 80 km/h. É necessário esse cuidado, pois a velocidade tem influência nos valores de IRI calculados, variando de um aplicativo para outro.

### 3.1 Levantamento na Rodovia CE-401

Feito o estudo dos aplicativos e a escolha dos locais, foi então realizado o levantamento de dados na Rodovia CE-401, também denominada de Avenida Senador Carlos Jereissati, apresentada na Figura 15. A rodovia possui uma extensão de 6 km com duas pistas de rolamento, separadas por canteiro central, contendo 3 faixas de tráfego em cada pista. Com o objetivo de comparar o IRI por faixa de tráfego, o levantamento foi feito em cada uma das seis faixas de tráfego, por aplicativo.

Figura 14 - Rodovia CE-401



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2019a).

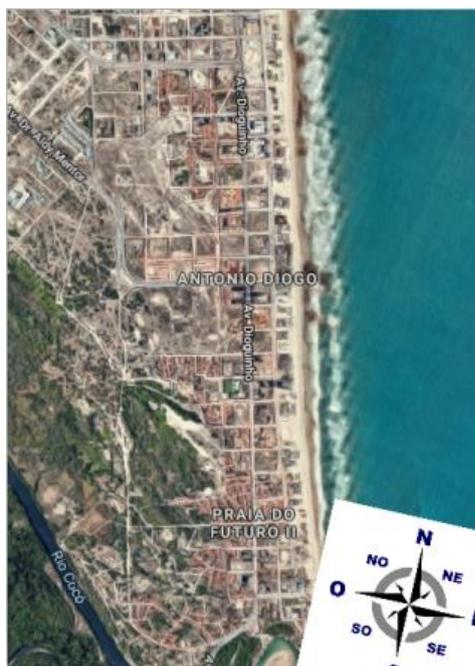
O levantamento foi feito em dois dias, no dia 28 de agosto de 2019, entre 11h e 13h, com condições climáticas favoráveis, com tempo firme e pista seca. Foram utilizados o *SmartIRI* e o *RoadLab* em um trecho de, aproximadamente, 4,1 km da rodovia CE-401. Esse trecho foi escolhido por apresentar uma concentração de defeitos no pavimento, permitindo uma análise detalhada dos mesmos, além de estar entre os retornos, o que facilitou o levantamento.

No dia 1º de setembro de 2019, entre 7h e 9h, foi realizado o levantamento utilizando o aplicativo *Roadroid*, no mesmo segmento descrito no parágrafo anterior. Procurou-se obter um intervalo de menos de uma semana entre os levantamentos, período no qual não foram efetuados serviços de manutenção na rodovia, a fim de se garantir que fossem feitos em condições semelhantes.

### 3.2 Levantamento na Avenida Dioguinho

A Avenida Dioguinho, possui cerca de 5,9 km, com duas pistas de rolamento, separadas por faixa contínua, sem canteiro central, contendo 2 faixas de tráfego cada, com revestimento de concreto simples (pavimento rígido) em toda a sua extensão, exemplificada na Figura 16. Como também se deseja comparar o IRI por faixa de tráfego, foi realizado um levantamento em cada uma das quatro faixas de tráfego.

Figura 15 - Avenida Dioguinho



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2019b).

O levantamento foi realizado no dia 13 de setembro de 2019, entre 13h e 16h, sendo utilizados os três aplicativos selecionados para esta pesquisa em um trecho de, aproximadamente, 2,8 km da avenida, que se estende da Av. Santos Dumont até o retorno, localizado no bairro Sabiaguaba. Essa avenida foi escolhida por ser uma das únicas vias de Fortaleza a apresentar estrutura de pavimento rígido.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são descritas as análises e discussão dos resultados obtidos a partir da coleta de dados realizada em campo com os aplicativos *Roadroid*, *RoadLab* e *SmartIRI*, comparando-os entre si na avaliação da irregularidade longitudinal por meio do IRI em pavimento flexível e pavimento rígido.

### 4.1 Uso de aplicativos em Pavimento Flexível – Rodovia CE-401

De modo geral, a Rodovia CE-401, via em pavimento flexível avaliada nesta pesquisa, foi classificada, globalmente, como boa pelos três aplicativos, apesar de apresentar alguns trechos, e até faixas de tráfego, como regular e alguns trechos, como ruins, com IRI acima de 6,0 m/km, por parte do *SmartIRI* e *Roadlab*. Assim, verifica-se que uma das vantagens do uso dos aplicativos é a de salientar os trechos da rodovia que precisam de maior atenção nos serviços de manutenção, o que muitas vezes não é evidenciado ao se utilizar outros métodos de coleta de dados, como o Valor de Serventia Atual (VSA).

Na Tabela 5, estão expostos os valores de IRI dos três aplicativos utilizados na coleta de dados na faixa esquerda da Rodovia CE-401 (sentido Montese). O número de trechos de 100m varia por causa da diferença de distância percorrida em cada leitura, haja vista que o motorista também era o operador do dispositivo; e de variações nas leituras do GPS, que ocasiona trechos com distâncias que variam em torno de 10m a 15m além dos 100m do trecho.

Para uma melhor consolidação dos dados coletados nesta pesquisa, os resultados estão consolidados em relação à média do IRI por faixa de tráfego por aplicativo, de modo a otimizar a análise dos dados coletados em campo, além dos mapas gerados pelos aplicativos, de forma a facilitar a localização dos trechos críticos identificados nas vias. Outras tabelas com os dados apresentados por trechos de 100 m estão alocadas no Apêndice A deste trabalho. Para uma melhor leitura da condição do trecho, foi adotado uma escala de cores: verde para bom, amarelo para regular e vermelho para ruim.

Tabela 5 - Dados de IRI por aplicativo (Faixa esquerda – sentido Montese) – Trecho de 100 m -  
continua

TRECHO DE 100m	SMARTIRI	ROADLAB	ROADROID
----------------	----------	---------	----------

	IRI (m/km)	IRI (m/km)	IRI (m/km)
1°	3,66	1,21	1,85
2°	3,10	7,15	3,11
3°	2,99	5,06	2,71
4°	4,82	2,08	2,13
5°	3,30	3,25	1,96
6°	4,24	4,25	2,04
7°	3,82	3,01	2,24
8°	4,59	3,35	2,45
9°	3,87	5,14	2,43
10°	3,93	3,07	2,83
11°	3,95	4,05	2,29
12°	4,11	3,89	2,28
13°	4,20	3,77	1,77
14°	3,77	2,91	1,92
15°	3,82	2,85	1,53
16°	3,78	2,58	2,00
17°	6,07	2,55	1,96
18°	3,38	2,69	2,03
19°	3,51	6,84	1,73
20°	3,47	2,10	3,08
21°	3,08	3,25	1,70
22°	3,20	2,87	2,20
23°	3,19	2,21	2,53
24°	4,26	2,81	1,99
25°	4,26	2,71	1,56
26°	2,90	4,30	2,18
27°	3,37	2,10	1,84
28°	3,27	1,83	2,28
29°	4,95	2,40	2,02
30°	3,15	3,16	2,15
31°	4,29	4,92	2,37
32°	2,96	2,84	2,05
33°	3,24	3,60	2,76
34°	4,25	2,61	2,43
35°	3,31	2,87	2,27
36°	3,98	4,12	2,05
37°	4,31	3,54	2,47
38°	3,91	3,53	2,46
39°	7,34	4,14	2,03

Tabela 5 - Dados de IRI por aplicativo (Faixa esquerda – sentido Montese) – Trecho de 100 m - conclusão

40°	-	3,61	2,21
41°	-	9,12	2,11
42°	-	-	2,32
43°	-	-	2,53
44°	-	-	4,26
<b>Média</b>	<b>3,89</b>	<b>3,52</b>	<b>2,25</b>
<b>Desvio-padrão (IRI)</b>	<b>0,86</b>	<b>Média dos aplicativos (IRI)</b>	<b>3,22</b>
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	<b>0,27</b>		

Fonte: O autor (2019).

Por meio da Tabela 4, fazendo as devidas considerações de trechos, verifica-se que os dados de IRI foram próximos entre o *Roadlab* e o *SmartIRI*. Contudo, mesmo com leituras um pouco abaixo, os dados do *Roadroid* deram a mesma classificação geral da faixa de rolagem que os outros dois aplicativos.

Essas diferenças de leituras podem ter ocorrido devido à velocidade em que a coleta ocorreu, visto que dos 4,1 km do trecho analisado, apenas 1,6 km permitia velocidade acima dos 60 km/h, que é a velocidade recomendada para as leituras dos aplicativos. Além disso, ainda há a dificuldade em se manter uma velocidade constante devido ao tráfego da avenida que é uma das mais movimentadas da cidade. Sendo assim, o aplicativo *Roadroid* demonstra uma maior sensibilidade à variação da velocidade de medição dos dados comparado aos outros dois aplicativos, interferindo nas suas leituras.

Ainda há o fator do processo de calibração de cada aplicativo utilizado nesta pesquisa. O *Roadlab* e o *SmartIRI* foram calibrados em tipos de pavimento semelhantes, do tipo de tratamento superficial (Wang e Guo, 2016; Almeida, 2018). Esse pavimento apresenta a característica da exposição do agregado, devido à baixa taxa de ligante, e isso provoca vibrações no veículo que contribuem para a aceleração vertical. Não necessariamente essas vibrações estão associadas à irregularidade longitudinal do pavimento, podendo ser simplesmente por causa da textura aberta que pode interferir na irregularidade. Esse tipo de pavimento é bastante comum nas rodovias cearenses.

O *Roadroid* passou por um tipo de calibração utilizando *softwares*, como o ProVal, em diversos tipos de pavimentos (Forslof e Jones, 2013). Sendo assim, esse aplicativo não leva em consideração os agregados expostos no pavimento, impedindo que esse fator interfira nos resultados de irregularidade calculados pelo aplicativo.

#### 4.1.1 Faixa direita – Rodovia CE-401

De modo geral, a faixa direita da Rodovia CE-401 apresenta uma menor velocidade média, comparada às outras faixas de tráfego. Fatores como proximidade ao acostamento e acesso de vias secundárias para entrada e saída de veículos são alguns limitadores de velocidade. Além disso, é nessa faixa onde, na maioria das avenidas, devem transitar os veículos pesados, tais como ônibus e caminhões.

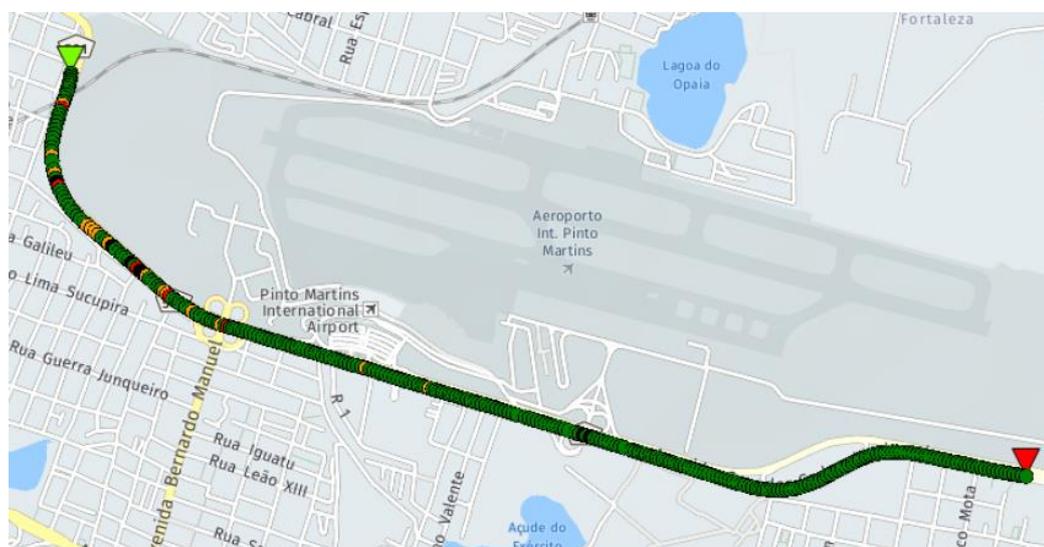
As Tabelas 7 e 8 mostram os valores de IRI, bem como as classificações, para as faixas de tráfego direita nos dois sentidos da CE-401 (sentido Dias Macedo e sentido Montese). Já as Figuras 17, 18 e 19 apresentam os mapas gerados por cada aplicativo, bem como suas respectivas classificações por cores, baseada no valor de IRI do trecho.

Tabela 6 - Dados e classificação dos aplicativos - Faixa direita (sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
<b>Vel média (km/h)</b>	56,06	50,87	47,95
<b>Distância (m)</b>	3895	4000	3974
<b>IRI médio (m/km)</b>	4,20	2,09	3,52
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	1,08	0,81	1,13
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	25,70%	38,67%	32,10%
<b>Classificação</b>	<b>REGULAR</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 16 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo)



Fonte: Roadroid (2019).

Figura 17 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo)



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 18 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa direita - sentido Dias Macedo)



Fonte: Roadlab (2019).

Pode-se notar que o aplicativo SmartIRI apresentou maior sensibilidade aos defeitos que provocam irregularidade longitudinal nessa faixa de tráfego como trincas, remendos e panelas, mostrados na Figura 20. Essa diferença de sensibilidade provocou uma diferença na classificação da faixa com relação aos outros dois aplicativos. Isso pode ter ocorrido pela leitura com o aplicativo em questão ter ocorrido com uma maior velocidade média, o que proporciona uma leitura mais precisa pelo dispositivo.

Apesar de apresentar essa diferença de classificação da faixa de tráfego, os trechos críticos foram localizados nas mesmas regiões. Um trecho contínuo no primeiro quilômetro do levantamento apresentou valores de IRI que caracterizam uma situação regular e até ruim da via, como mostrado nas Figuras 17, 18 e 19. Além disso, há casos pontuais que provocam grandes irregularidades na via, como degraus nos viadutos, mostrados na Figura 21, caso que se repete em todas as faixas de tráfego.

Figura 19 - Defeitos superficiais encontrados na faixa direita - sentido Dias Macedo da Rodovia CE-401



Fonte: *Google Earth* (2019a).

Figura 20 - Degrau em viaduto da Rodovia CE-401



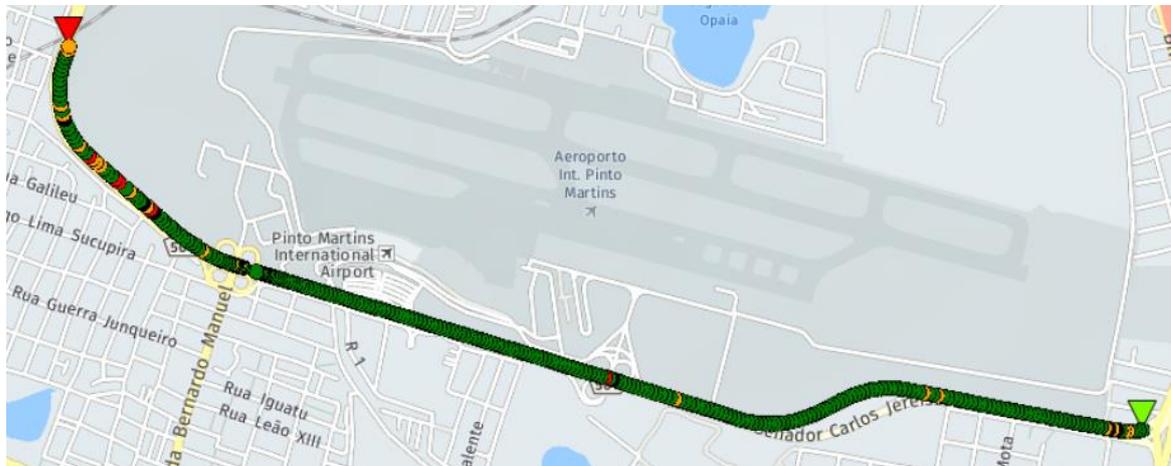
Fonte: Duarte (2018).

Tabela 6 - Dados e classificação dos aplicativos - Faixa direita (sentido Montese) Rodovia CE-401

<b>Dados</b>	<b>SmartIRI</b>	<b>Roadroid</b>	<b>Roadlab</b>
<b>Vel média (km/h)</b>	49,65	52,49	50,14
<b>Distância (m)</b>	4278	4200	3867
<b>IRI médio (m/km)</b>	4,53	2,17	4,06
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	1,07	0,74	1,11
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	23,59%	34,23%	27,25%
<b>Classificação</b>	<b>REGULAR</b>	<b>BOM</b>	<b>REGULAR</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 21 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadroid - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese)



Fonte: Roadroid (2019).

Figura 22 - Mapa gerado pelo aplicativo SmartIRI - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese)



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 23 - Mapa gerado pelo aplicativo Roadlab - classificação por cores (Faixa direita - sentido Montese)

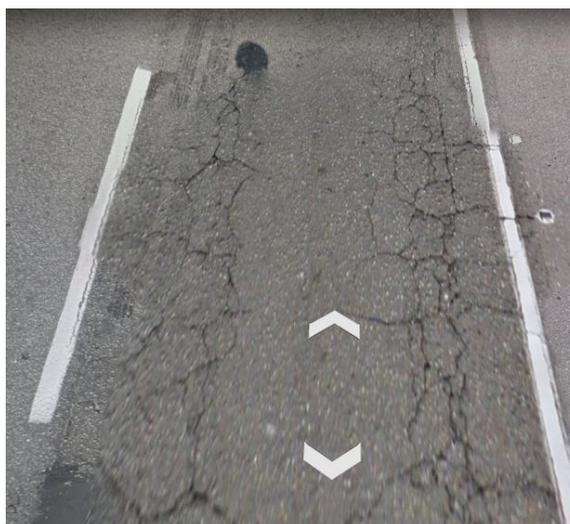


Fonte: Roadlab (2019).

Os trechos críticos identificados foram os mesmos para os três aplicativos, localizados no segmento dos últimos 600 m do levantamento, próximo ao bairro Montese, onde se concentram defeitos, como trincas e remendos, como mostra a Figura 24. Mesmo que com menor incidência no aplicativo *Roadroid*, os valores nesses trechos foram consideravelmente maiores também. Esses trechos se concentram na parte final da rodovia, entre 600 m a 800 m, próxima ao Montese, além de pontos isolados, como os degraus presentes nos viadutos da avenida e outro pequeno trecho próximo ao viaduto da Avenida Alberto Craveiro.

Pode-se notar, através da Tabela 7, que o aplicativo *SmartIRI* apresentou uma maior sensibilidade às irregularidades do trecho e, por consequência, resultou em um IRI maior do que o *Roadlab*. O aplicativo *Roadroid* apresentou um IRI médio discrepante quando comparado aos outros dois aplicativos para essa faixa de tráfego, com diferenças na ordem de 50% entre os valores.

Figura 24 - Trincas localizadas na faixa direita - sentido Montese da Rodovia CE-401



Fonte: *Google Earth* (2019a).

#### **4.1.2 Faixa central – Rodovia CE-401**

A faixa central da Rodovia CE-401 possui características intermediárias com relação à velocidade e o tipo de veículo em operação. Ainda há a ocorrência de veículos pesados (ônibus e caminhões) o que representa um limitador de velocidade na faixa, pois a velocidade média desses veículos tende a ser menor do que a de carros e motos. Apesar disso, por causa da menor frequência desses veículos e por não ser acesso direto de vias secundárias, apresenta uma velocidade média um pouco maior do que a faixa da direita, refletida na velocidade média da coleta de dados.

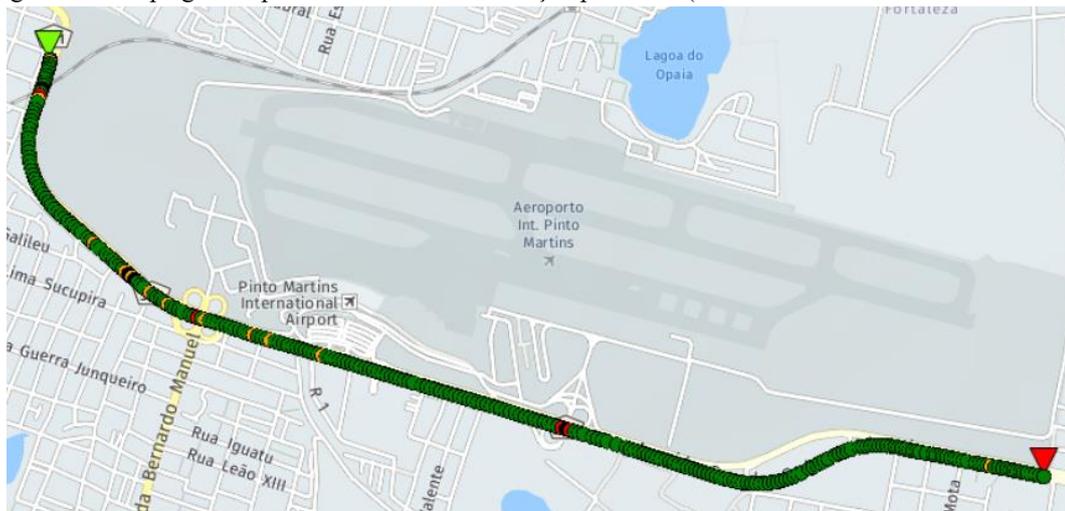
A análise foi baseada nos dados das Tabelas 8 e 9 e nas Figuras 25 a 29, as quais apresentam a velocidade média, o valor médio de IRI, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos dados coletados, bem como a consequente classificação da faixa de tráfego para cada aplicativo.

Tabela 7 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa central - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
<b>Vel média (km/h)</b>	59,54	54,73	51,42
<b>Distância (m)</b>	4005	4200	4049
<b>IRI médio (m/km)</b>	3,94	2,34	3,76
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	1,04	0,49	0,93
<b>Coeficiente de variação (IRI)</b>	26,30%	21,08%	24,77%
<b>Classificação</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 25 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa central - sentido Dias Macedo)



Fonte: Roadroid (2019).

Figura 26 - Mapa gerado pelo SmartIRI – classificação por cores (Faixa central – sentido Dias Macedo)



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 27 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa central - sentido Dias Macedo)



Fonte: Roadlab (2019).

Nesse levantamento pode-se notar uma maior proximidade entre os valores de IRI calculados pelos aplicativos *SmartIRI* e *Roadlab*, apresentando valores praticamente iguais. Mesmo com a diferença apresentada quando se analisa os três aplicativos, a classificação foi a mesma para todos os dispositivos, indicando que, apesar de haver trechos críticos, de uma maneira geral, a faixa de tráfego apresenta uma boa situação quanto ao conforto ao rolamento.

Uma das maiores vantagens do uso de aplicativos para *smartphones* na avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos é que, mesmo apresentando um resultado geral bom, os dispositivos acusam trechos específicos que possuem maiores valores de IRI e, conseqüentemente, necessitam de serviços de manutenção e reabilitação da via. Nessa faixa, foi observado que o primeiro quilômetro de levantamento caracteriza um trecho regular com alguns pontos considerados ruins.

Tabela 8 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa central - sentido Montese) Rodovia CE-401

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
Vel média (km/h)	60,21	57,51	57,11
Distância (m)	4107	4200	3919
IRI médio (m/km)	4,45	2,60	4,17
Desvio-Padrão (IRI)	1,40	1,02	1,55
Coefficiente de variação (IRI)	31,48%	39,48%	37,17%
Classificação	REGULAR	BOM	REGULAR

Fonte: O autor (2019).

Figura 28 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa central - sentido Montese)



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 29 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa central - sentido Montese)



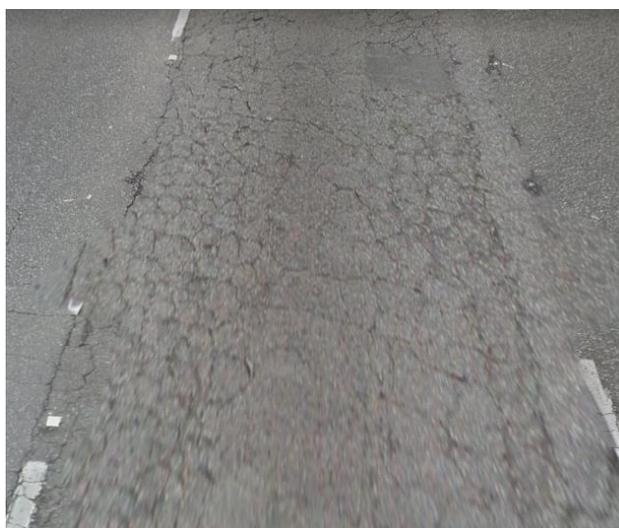
Fonte: Roadlab (2019).

Com uma velocidade média um pouco maior do que as faixas analisadas anteriormente, o aplicativo *SmartIRI* se mostrou, mais uma vez, como o que obteve maior sensibilidade às irregularidades longitudinais da faixa, visto que foi o aplicativo que resultou no maior valor médio de IRI para a faixa, como mostra a Tabela 9. Mesmo obtendo um valor

de IRI mais alto do que o *Roadlab*, ambos classificam a faixa de tráfego como regular, situação em que o parâmetro se encontra entre 4,0 e 6,0 m/km.

Os trechos críticos identificados se localizam em um pequeno segmento no início do levantamento, próxima ao viaduto da Avenida Alberto Craveiro, na qual os valores classificam esse trecho como ruim. Outro segmento identificado como trecho crítico localiza-se no quilômetro final do levantamento, próximo ao bairro Montese, onde há muitas trincas e remendos mal executados, com maior incidência na faixa central, mostrado na Figura 30, caracterizando esse trecho entre regular e ruim.

Figura 30 - Trincas localizadas na faixa central - sentido Montese da Rodovia CE-401



Fonte: *Google Earth* (2019a).

#### **4.1.3 Faixa esquerda – Rodovia CE-401**

A faixa de tráfego esquerda, utilizada como faixa de ultrapassagem, tende a ter as maiores velocidades médias de qualquer via, assim como uma menor incidência de veículos pesados, o que pode ser comprovado pelos dados de velocidade média presentes nas Tabelas 10 e 11. Por esse fator, essa faixa deve proporcionar condições que minimizem os defeitos superficiais de pavimento, de modo a promover um maior conforto ao rolamento em velocidades elevadas.

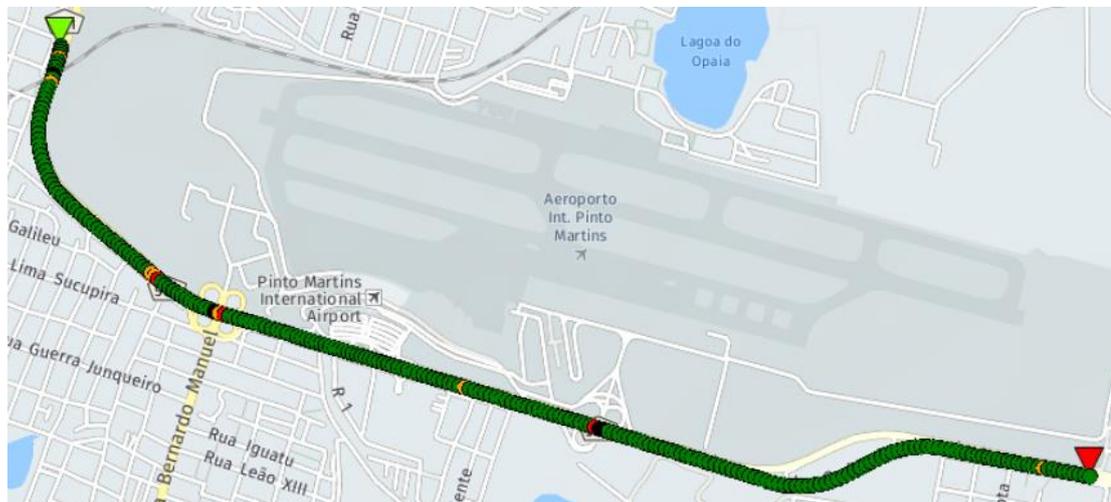
Apesar de apresentar valores médios menores, ainda são identificados alguns trechos críticos ao longo da rodovia, que apresentam defeitos superficiais no pavimento e necessitam de serviços de manutenção e reabilitação, como é mostrado nos dados das Tabelas 10 e 11 e das Figuras 32 a 34.

Tabela 9 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
<b>Vel média (km/h)</b>	66,47	64,09	64,73
<b>Distância (m)</b>	4085	4200	4006
<b>IRI médio (m/km)</b>	3,70	2,33	3,44
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	0,65	0,51	1,23
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	17,50%	21,87%	35,87%
<b>Classificação</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 31 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) – Rodovia CE-401



Fonte: Roadroid (2019).

Figura 32 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 33 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Dias Macedo) Rodovia CE-401



Fonte: Roadlab (2019).

A velocidade média do levantamento nessa faixa foi acima dos 60 km/h, corroborando o fato de possuir a velocidade média mais alta. A faixa analisada foi a que obteve a melhor classificação da Rodovia CE-401, obtendo uma classificação geral como boa por todos os aplicativos. Mais uma vez, o aplicativo *SmartIRI* foi o que apresentou o maior valor médio de IRI, embora bem próximo ao valor apresentado pelo *Roadlab*. O aplicativo *Roadroid* apresentou a melhor classificação de IRI, com valor abaixo dos 3,0 m/km, valor que expressa uma boa condição de conforto ao rolamento.

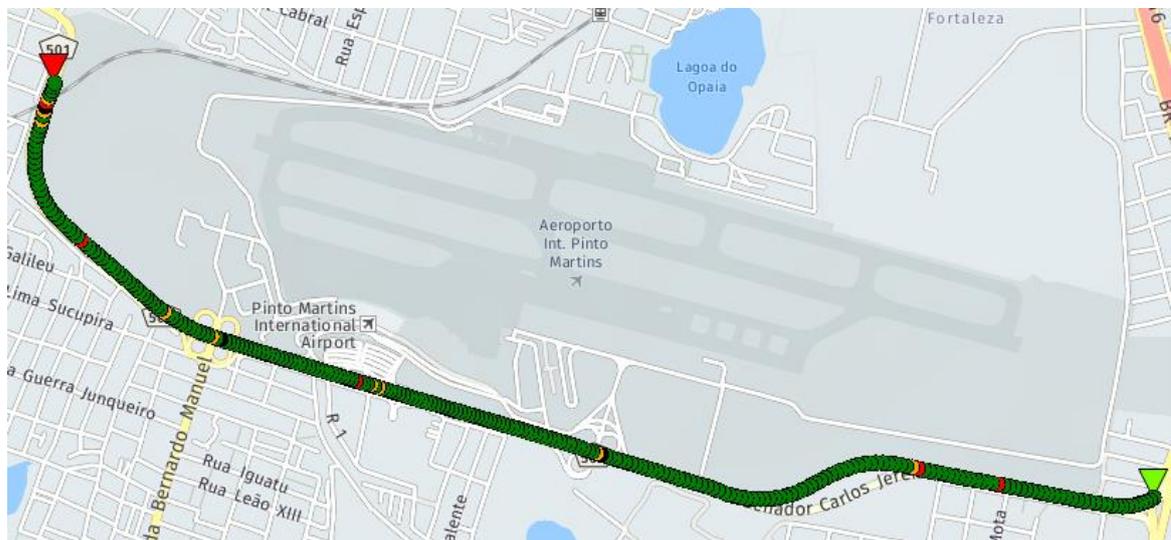
A faixa em questão foi a melhor analisada na Rodovia CE-401, com média de 3,20 m/km e apresenta apenas um trecho com IRI acima de 6,0 m/km, valor que caracteriza uma condição ruim da via. Apesar de haver a predominância de trechos classificados como bom, ainda há alguns que resultaram em condições indicadas como regular. Essa classificação não evidencia necessidade de intervenção imediata, mas indica lugares onde a irregularidade pode ter um crescimento acentuado em relação aos outros.

Tabela 10 - Dados coletados e classificação dos aplicativos (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
Vel média (km/h)	64,97	62,43	60,51
Distância (m)	4206	4400	4251
IRI médio (m/km)	3,89	2,25	3,49
Desvio-Padrão (IRI)	0,85	0,46	1,35
Coefficiente de variação (IRI)	21,81%	20,64%	38,70%
Classificação	BOM	BOM	BOM

Fonte: O autor (2019).

Figura 34 - Mapa gerado pelo Roadroid - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401



Fonte: Roadroid (2019).

Figura 35 - Mapa gerado pelo SmartIRI - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401



Fonte: SmartIRI (2019).

Figura 36 - Mapa gerado pelo Roadlab - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Montese) Rodovia CE-401



Fonte: Roadlab (2019).

Essa faixa de tráfego também apresenta baixos valores médios de IRI, com todos os aplicativos resultando em classificação bom, com pequenas diferenças entre os valores apresentados. Mesmo com essas pequenas diferenças, o aplicativo *SmartIRI* resultou em um valor levemente acima dos outros dois aplicativos e o *Roadroid* apresentou o valor mais baixo, porém, os três resultados apontam para uma ótima condição geral da faixa analisada.

Apesar de apresentar baixos valores gerais de IRI, ainda foram detectados alguns trechos críticos ao longo da Rodovia CE-401. O trecho final do levantamento, próximo ao bairro Montese, com extensão de cerca de 500 m, além do trecho crítico, localizado nos degraus do primeiro viaduto, no sentido do levantamento, apresentaram classificação ruim, demonstrando os locais que demandam uma tomada de decisão em relação às intervenções de manutenção na rodovia. Alguns outros trechos foram classificados como regular, identificando os locais que possuem tendência de um acentuado crescimento da irregularidade longitudinal, visto que se desenvolve mais rápido em locais que já apresentam algum defeito de superfície.

#### **4.1.4 Análise comparativa com dados do DER-CE**

A Superintendência de Obras Públicas do Ceará (SOP-CE), responsável pelo estudo sobre as condições dos pavimentos das rodovias estaduais, divide a CE-401 em dois segmentos. O primeiro é delimitado entre a Rodovia BR-116 e o Aeroporto Internacional de Fortaleza, e o segundo vai do Aeroporto Internacional de Fortaleza até a Avenida dos Expedicionários. A situação mais atual da Rodovia CE-401, considerando o aspecto funcional da qualidade ao

rolamento, está descrito na Figura 38.

Figura 37 - Classificação da Rodovia CE-401

Situação das Rodovias - CE				
<b>SITUAÇÃO DAS RODOVIAS DO CEARÁ</b>				
Rodovias: CE-401 - ENTR. BR-116 - AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS				
Situação	Segmento	Início	Fim	Extensão (km)
Boa	401ECE0010D	ENTR. BR-116	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	3.2
Boa	401ECE0010E	ENTR. BR-116	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	3.2
Regular	401ECE0030D	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS	2.8
Regular	401ECE0030E	AEROPORTO INTERNACIONAL PINTO MARTINS	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS	2.8

Fonte: DER-CE (2018).

A classificação feita pelo antigo Departamento Estadual de Rodovias do Ceará (DER-CE, 2018) é feita por meio de uma avaliação subjetiva Classe IV realizada pelo Distrito Operacional da Região Metropolitana de Fortaleza, que é responsável pela conservação da Rodovia CE-401. Trata-se de uma avaliação global, sem levar em consideração trechos ou faixas de tráfego específicos nos quais a irregularidade longitudinal pode ser maior.

Para ser realizada a análise comparativa, os dados coletados estão dispostos nas Tabelas 12, 13 e 14, de modo a oferecer uma melhor visualização dos dados. Além disso, também foi feita a divisão da rodovia nos trechos analisados pelo DER-CE, obtendo uma comparação de resultados mais confiável.

Tabela 11 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – SmartIRI - continua

SENTIDO DIAS MACEDO	SENTIDO MONTESE
---------------------	-----------------

	Segmento de 100 metros	Faixa direita	Faixa central	Faixa esquerda	Faixa esquerda	Faixa central	Faixa direita	Segmento de 100 metros
Segmento I (BR-116 ao Aeroporto) correspondente à classificação do DER-CE (2018)	39°	6.55	4.69	3.93	3.66	3.41	3.47	1°
	38°	5.52	3.90	3.38	3.10	2.63	2.71	2°
	37°	4.2	4.65	4.17	2.99	3.3	2.65	3°
	36°	5.71	3.59	4.07	4.82	3.36	3.18	4°
	35°	5.21	5.43	3.88	3.3	3.15	2.95	5°
	34°	5.29	5.22	3.46	4.24	3.33	3.18	6°
	33°	5.36	7.82	3.43	3.82	3.01	3.14	7°
	32°	6.50	5.15	4.73	4.59	3.34	3.17	8°
	31°	4.26	4.52	4.44	3.87	4.07	3.81	9°
	30°	5.56	4.55	4.85	3.93	4.77	4.56	10°
	29°	3.17	3.18	2.78	3.95	3.34	3.39	11°
	28°	3.24	4.21	3.11	4.11	3.2	4.33	12°
	27°	3.26	3.28	3.23	4.2	3.37	4.6	13°
	26°	5.16	4.41	3.81	3.77	3.13	4.41	14°
	25°	4.14	2.94	4.03	3.82	2.99	3.14	15°
	24°	3.4	3.07	3.03	3.78	4.86	5.19	16°
	23°	5.32	3.7	2.97	6.07	3.76	3.81	17°
	22°	3.95	3.38	3.62	3.38	3.21	5.1	18°
	21°	4.28	2.86	3.09	3.51	3.65	4.31	19°
	20°	3.66	3.37	2.89	3.47	3.58	4.73	20°
19°	3.32	3.49	3.32	3.08	4.36	5.23	21°	
18°	6.92	6.4	5.59	3.2	4.28	4.44	22°	
17°	3.55	3.94	5.39	3.19	5.73	4.5	23°	
	<b>IRI médio</b>	<b>4.68</b>	<b>4.25</b>	<b>3.79</b>	<b>3.82</b>	<b>3.64</b>	<b>3.91</b>	
Segmento II (Aeroporto à Av. dos Expedicionários) conforme classificação do DER-CE (2018)	16°	3.14	3.58	3.32	4.26	5.27	4.56	24°
	15°	3.36	4.06	3.28	4.26	4.38	5.23	25°
	14°	3.26	4.08	3.04	2.9	3.99	5.91	26°
	13°	3.63	4.27	3.25	3.37	4.42	4.48	27°
	12°	3.77	3.31	3.44	3.27	5.45	4.81	28°
	11°	3.63	3.34	3.5	4.95	5.38	4.13	29°
	10°	3.89	2.77	3.55	3.15	5.31	4.94	30°
	9°	3.44	2.87	3.68	4.29	7.74	6.03	31°

Tabela 13 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – SmartIRI - conclusão

Segmento II (Aeroporto à Av. dos Expedicionários)	8°	3.29	2.96	4.11	2.96	8.87	5.4	32°
	7°	3.46	3.85	3.6	3.24	6.03	6.26	33°

	6°	3.78	3.34	4.26	4.25	4.77	6.05	34°
	5°	3.84	3.15	4.08	3.31	4.65	6.25	35°
	4°	3.90	2.93	3.11	3.98	5.41	5.49	36°
	3°	3.05	3.02	3.3	4.31	6.11	5.8	37°
	2°	3.21	3.55	3.73	3.91	5.64	5.28	38°
	1°	-	-	3.62	7.34	7.15	6.18	39°
	<b>IRI médio</b>	<b>3.51</b>	<b>3.41</b>	<b>3.55</b>	<b>3.95</b>	<b>5.78</b>	<b>5.50</b>	

Fonte: O autor (2019).

Tabela 14 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadroid - continua

		SENTIDO DIAS MACEDO			SENTIDO MONTESE				
		Segmento de 100 metros	Faixa direita	Faixa central	Faixa esquerda	Faixa esquerda	Faixa central	Faixa direita	Segmento de 100 metros
Segmento I (BR-116 ao Aeroporto) correspondente à classificação do DER-CE (2018)	42°	1.53	1.57	1.77	1.85	3.81	1.27	1°	
	41°	2.85	3.12	3.27	3.11	2.83	1.77	2°	
	40°	1.84	2.6	2.23	2.71	1.93	1.74	3°	
	39°	3.08	2.15	2.04	2.13	1.91	2.31	4°	
	38°	3.93	2.21	2.22	1.96	2.33	1.87	5°	
	37°	2.05	2.24	2.27	2.04	2.4	2.33	6°	
	36°	4.62	2.24	2.14	2.24	2.08	2.33	7°	
	35°	3.11	3.26	1.89	2.45	2.2	2.17	8°	
	34°	4.06	2.48	2.38	2.43	1.9	2.61	9°	
	33°	3.85	3.83	3.28	2.83	2.12	1.85	10°	
	32°	2.76	2.82	2.63	2.29	2.22	1.78	11°	
	31°	1.72	2.03	2.54	2.28	2.11	1.93	12°	
	30°	1.72	1.77	3.46	1.77	2.31	2.37	13°	
	29°	1.62	1.94	1.88	1.92	1.78	2.2	14°	
	28°	1.54	2.54	2.06	2	2.08	2.2	15°	
	27°	1.7	2.55	2.38	1.96	2.35	2.01	16°	
	26°	1.75	2.68	2.48	2.03	2.22	2.07	17°	
	25°	2.65	2.42	2.78	1.73	2.29	1.94	18°	
	24°	1.61	2.33	1.83	3.08	3.2	1.77	19°	
	23°	1.48	2.45	1.99	1.7	1.81	1.65	20°	
22°	1.42	2.42	1.96	2.2	1.91	1.85	21°		
21°	1.33	2.03	2.22	2.53	1.7	2.08	22°		
20°	1.92	2.26	1.99	1.99	1.88	1.8	23°		
19°	1.83	2.41	1.62	2.18	1.96	1.94	24°		

Tabela 14 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadroid - conclusão

<b>IRI médio</b>	<b>2.33</b>	<b>2.43</b>	<b>2.30</b>	<b>2.23</b>	<b>2.22</b>	<b>1.99</b>
------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Segmento II (Aeroporto à Av. dos Expedicionários) conforme classificação do DER-CE (2018)	18°	1.56	2.57	1.92	1.84	2.09	2.01	25°
	17°	1.79	3.34	3.64	2.28	1.96	2.12	26°
	16°	1.56	2.1	1.75	2.02	2.62	1.51	27°
	15°	1.53	2.62	1.62	2.15	1.81	1.64	28°
	14°	1.67	2.79	1.95	2.37	2.05	1.5	29°
	13°	1.57	2.99	2.17	2.05	2.07	0.77	30°
	12°	1.96	2.35	1.92	2.76	1.73	0.96	31°
	11°	1.55	2.6	2.05	2.43	2.04	2.04	32°
	10°	1.5	2.15	2.51	2.27	2.36	2.56	33°
	9°	1.97	2.28	2.91	2.05	4.29	4.32	34°
	8°	1.95	1.84	3.04	2.47	6.38	3.54	35°
	7°	1.84	1.97	2.64	2.46	5.84	3.36	36°
	6°	1.7	1.93	2.27	2.03	3.01	4.36	37°
	5°	1.71	1.5	3.32	2.21	3.85	2.37	38°
	4°	1.6	1.62	2.62	2.11	2.86	3.51	39°
3°	1.98	1.63	1.81	2.32	3.91	2.34	40°	
2°	2.09	1.77	2.24	2.53	3.46	-	41°	
1°	-	1.97	2.36	4.26	3.36	-	42°	
<b>IRI médio</b>	<b>1.74</b>	<b>2.22</b>	<b>2.37</b>	<b>2.37</b>	<b>3.09</b>	<b>2.43</b>		

Fonte: O autor (2019).

Tabela 15 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadlab - continua

	SENTIDO DIAS MACEDO				SENTIDO MONTESE			Segmento de 100 metros
	Segmento de 100 metros	Faixa direita	Faixa central	Faixa esquerda	Faixa esquerda	Faixa central	Faixa direita	
Segmento I (BR-116 ao Aeroporto) correspondente à classificação do DER-CE (2018)	38°	6.3	7.35	7.73	5.06	8.29	4.09	1°
	37°	1	6.71	5.72	2.08	5.15	2.73	2°
	36°	2.44	2.92	3.16	3.25	3.29	3.48	3°
	35°	7.1	3.8	4.15	4.25	4.47	2.97	4°
	34°	3.3	3.84	3.26	3.01	3.6	2.9	5°
	33°	3.76	3.72	3.62	3.35	2.87	2.83	6°
	32°	5.36	8.55	2.26	5.14	3.53	3.58	7°
	31°	3.6	4.63	6.43	3.07	2.43	2.92	8°
	30°	4.93	3.03	4.91	4.05	2.34	3.15	9°
	29°	6.48	4.2	3.28	3.89	3.73	3.18	10°
	28°	4.72	3.36	3.03	3.77	3.94	3.2	11°
27°	3.24	3.66	2.63	2.91	2.85	4.33	12°	

Tabela 15 - Dados de IRI (m/km) por faixa de tráfego da Rodovia CE-401 – Roadlab - conclusão

Segmento I	26°	2.46	3.26	3.48	2.85	1.74	3.38	13°
------------	-----	------	------	------	------	------	------	-----

	25°	2.63	3.23	3.33	2.58	2.88	4.53	14°
	24°	2.9	3.79	4.72	2.55	2.21	3	15°
	23°	3.73	3.52	2.45	2.69	2.83	4.16	16°
	22°	3.19	3.65	2.01	6.84	4.86	2.88	17°
	21°	3.03	3.48	1.97	2.1	3.43	2.35	18°
	20°	3.11	3.5	4.15	3.25	3.71	3.24	19°
	19°	2.65	3.02	1.74	2.87	2.78	4.12	20°
	18°	2.71	3.64	2.92	2.21	3.79	4.15	21°
	17°	2.98	4.81	3.88	2.81	3.94	4.17	22°
	16°	3.06	3.1	7.47	2.71	3.46	4.33	23°
	15°	6.03	3.71	1.25	4.3	3.58	5.56	24°
	<b>IRI médio</b>	<b>3.78</b>	<b>4.10</b>	<b>3.73</b>	<b>3.40</b>	<b>3.57</b>	<b>3.55</b>	
Segmento II (Aeroporto à Av. dos Expedicionários) conforme classificação do DER-CE (2018)	14°	3.26	4.28	2.46	2.1	4.55	4.13	25°
	13°	3.47	3.7	2.79	2.4	4.35	3.88	26°
	12°	3.45	3.52	2.84	3.16	5.56	3.69	27°
	11°	2.55	3.53	3.06	4.92	4.47	3.75	28°
	10°	3.87	4.09	3.84	2.84	4.39	3.81	29°
	9°	2.4	3.11	4.24	3.6	4.08	3.62	30°
	8°	3.16	3.16	3.87	2.61	5.88	4.95	31°
	7°	2.63	3.55	2.83	2.87	9.83	5.5	32°
	6°	3.08	2.98	2.85	4.12	7.22	6.87	33°
	5°	3.39	3.37	2.87	3.54	4.37	5.3	34°
	4°	3.47	3.86	3.16	3.53	6.09	6.37	35°
	3°	3.17	4.6	2.98	4.14	5.99	6.32	36°
	2°	2.64	3.3	3.47	3.61	5.16	6.26	37°
1°	2.71	3.77	3.62	9.12	5.84	4.73	38°	
	<b>IRI médio</b>	<b>3.09</b>	<b>3.63</b>	<b>3.21</b>	<b>3.75</b>	<b>5.56</b>	<b>4.94</b>	

Fonte: O autor (2019).

O DER-CE classifica o primeiro trecho da Rodovia CE-401 como bom e o único aplicativo que obteve a mesma classificação para todas as faixas de tráfego foi o *Roadroid*, embora apresente alguns trechos classificados como regular. O aplicativo *Roadlab* classificou a faixa central – sentido Dias Macedo como regular, além de apresentar trechos críticos classificados como regular e ruim em todas as faixas de tráfego. O aplicativo *SmartIRI* classificou duas faixas de tráfego como regular nesse primeiro trecho, além de apontar trechos classificados como regular e ruim em todas as faixas de tráfego do trecho analisado.

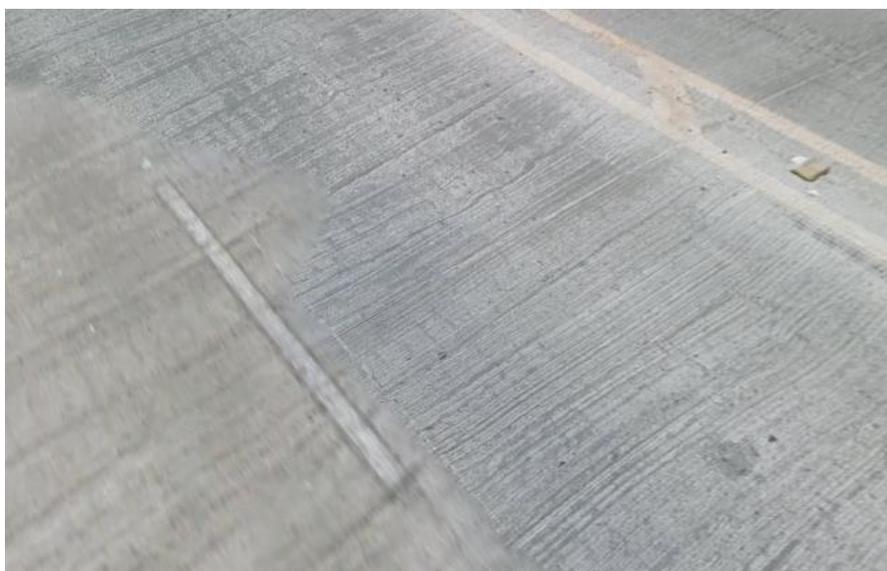
Para o segundo trecho, o DER-CE (2018) classifica a Rodovia CE-401 como regular. Todavia, nenhum aplicativo atribuiu essa classificação a todas as faixas de tráfego nesse trecho. O aplicativo *Roadroid* classificou todas as faixas de tráfego como boas, embora indique trechos classificados como regular e ruim. Os aplicativos *Roadlab* e *SmartIRI* classificaram

duas faixas de tráfego nesse segmento como regulares, que foram as faixas central e direita no sentido Montese. Contudo, mesmo classificando as outras faixas de tráfego como boas, ainda são encontrados trechos classificados como regular e ruim, o que demonstra que uma classificação global pode desprezar trechos que necessitam de intervenções de manutenção e reabilitação da via.

#### 4.2 Uso de aplicativos em Pavimento Rígido – Avenida Dioguinho

Como é uma das únicas avenidas de Fortaleza a ser estruturada com pavimento rígido, a Avenida Dioguinho, foi a escolha para se realizar a análise desse tipo de revestimento. Apesar de apresentar uma maior resistência a deformações permanentes e possuir vida útil superior ao pavimento flexível, esse tipo de estrutura demanda um maior cuidado na sua construção, principalmente quanto à textura, a fim de que o intervalo vertical de uma textura mal executada não seja analisado como irregularidade longitudinal na via, como mostrado na Figura 39.

Figura 38 - Textura do pavimento rígido na Avenida Dioguinho



Fonte: *Google Earth* (2019b).

Na Tabela 15 estão expostas as leituras de IRI dos três aplicativos utilizados na coleta de dados na faixa direita da Avenida Dioguinho (sentido Sabiaguaba). Assim como ocorreu no levantamento da Rodovia CE-401, o número de trechos de 100m varia por causa da diferença de distância percorrida em cada leitura, haja vista que o motorista também era o

operador do dispositivo; além de variações nas leituras do GPS, que ocasiona trechos com distâncias exatas que variam em torno de 10m a 15m além dos 100m do trecho.

Tabela 16 - Dados de IRI por aplicativo (Faixa direita – sentido Sabiaguaba) na Avenida Dioguinho – Trecho de 100 m

<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
1°	6,52	7.33	2.34
2°	6,84	7.8	5.43
3°	5,68	9.23	6.8
4°	4,86	6.52	5.27
5°	5,8	5.55	3.6
6°	5,68	7.75	4.61
7°	6,15	5.48	4.5
8°	5,1	5.58	6.75
9°	3,98	3.63	3.62
10°	5,65	6.3	2.63
11°	4,93	5.44	2.33
12°	5,34	6.89	4.14
13°	4,84	7.71	5.02
14°	4,88	5.23	5.26
15°	5,58	5.57	5.69
16°	5,15	7.01	3.92
17°	4,72	4.63	4.55
18°	5,39	5.87	5.04
19°	4,99	6.22	4.09
20°	4,98	4.98	4.98
21°	5,17	6.22	3.54
22°	4,75	5.75	3.73
23°	5,15	4.63	3.75
24°	-	-	3.81
25°	-	-	4.07
Média	5,31	6.14	4.38
Desvio-padrão (IRI)	0,88	Média dos aplicativos (IRI)	5.28
Coeficiente de variação (IRI)	0,17		

Fonte: O autor (2019).

Por meio dos dados fornecidos pela Tabela 15, pode-se perceber que os dados de

IRI (m/km) foram semelhantes entre os aplicativos *Roadlab* e *SmartIRI*. A discrepância de resultados do aplicativo *Roadroid* ocorre mais uma vez aqui, porém, resulta numa mesma classificação geral da rodovia que o *Roadlab* e, embora o *SmartIRI* tenha dado uma condição diferente a essa faixa de tráfego, a diferença de valor absoluto de IRI é pequena, comparado ao *Roadlab*, de aproximadamente 14%.

A discrepância nos dados do aplicativo *Roadroid* fica ainda mais evidente nesse levantamento devido ao fato de todo o trecho analisado possuir velocidade máxima estabelecida em 60 km/h. Além disso, a avenida possui dispositivos de controle de tráfego, como semáforos, e tráfego de veículos pesados, como ônibus e caminhões, que provocam uma diminuição da velocidade média do trecho. Ainda deve-se considerar a diferença nos algoritmos de calibração dos aplicativos, já discutidos na seção anterior.

A análise será feita de forma semelhante ao pavimento flexível, por meio dos IRI médios das faixas em forma de tabelas e com os respectivos mapas gerados pelos aplicativos, de forma a facilitar a análise dos trechos críticos identificados na via. Outras tabelas com os valores de IRI por trechos de 100 m poderão ser visualizadas no Apêndice B.

#### **4.2.1 Faixa direita – Av. Dioguinho**

Essa é a faixa que apresenta a maior frequência de limitadores de velocidade, visto que a avenida possui muitos acessos de vias secundárias, um intenso tráfego de veículos pesados, como ônibus e caminhões, semáforos de trânsito no trecho analisado, além de haver bastante veículos parados e estacionados, como mostra a Figura 40. O fato de apresentar uma textura mais aberta, aumenta suas dimensões verticais e é interpretado como irregularidade pelos aplicativos, contribuindo assim para o aumento do valor do IRI.

Figura 39 - Veículos estacionados na Avenida Dioguinho



Fonte: *Google Earth* (2019b).

A análise dessa faixa de tráfego ocorreu baseada os dados apresentados nas Tabelas 17 e 18 e nos mapas gerados por cada aplicativo, utilizando classificação por cores e indicando os trechos críticos da avenida, representados nas Figuras 37 a 39

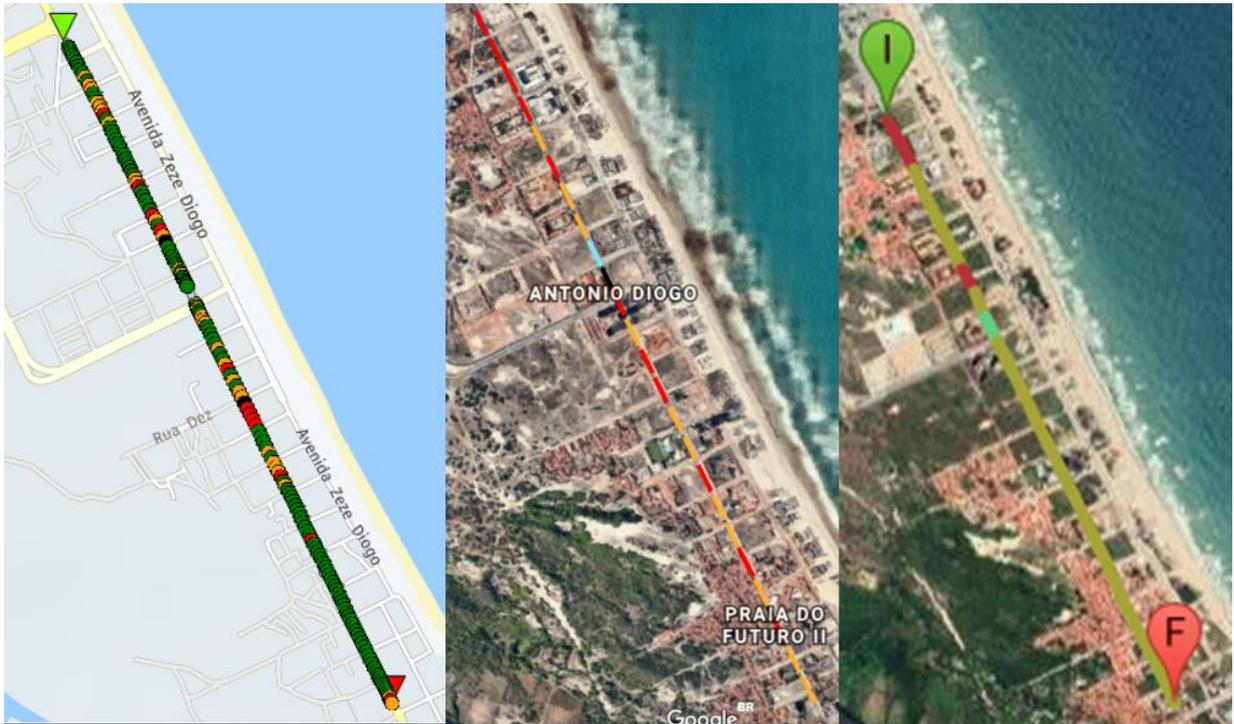
Tabela 17 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa direita - sentido Sabiaguaba) – Av. Dioguinho

<b>Dados</b>	<b>SmartIRI</b>	<b>Roadroid</b>	<b>Roadlab</b>
<b>Vel média (km/h)</b>	51,35	58,61	51,65
<b>Distância (m)</b>	2445	2500	2486
<b>IRI médio (m/km)</b>	5,31	4,38	6,14
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	0,62	1,13	1,24
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	11,60%	25,87%	20,21%
<b>Classificação</b>	<b>REGULAR</b>	<b>REGULAR</b>	<b>RUIM</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 40 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por

cores (Faixa direita - sentido Sabiaguaba) - Avenida Dioguinho



Fonte: Roadroid, Roadlab e SmartIRI (2019).

Pode-se notar que essa faixa de tráfego apresenta classificação de regular a ruim, com valores médios ultrapassando 6,0 m/km. O aplicativo *Roadlab* apresentou maior valor médio de IRI para a faixa de tráfego comparado aos outros, resultando, inclusive numa classificação de faixa diferente. Apesar disso, o resultado do aplicativo *SmartIRI* não obteve valores absolutos de IRI muito discrepantes do *Roadlab* ou do *Roadroid*, que resultou no menor valor médio (4,38 m/km).

A faixa de tráfego da direita possui, em sua maioria, trechos classificados como regular, mesmo assim, há alguns segmentos que apresentaram uma condição ruim de irregularidade longitudinal. Esses trechos críticos localizam-se no primeiro quilômetro do levantamento, a partir da Avenida Santos Dumont, que apresentam, além da textura aberta, algumas trincas, o que prejudica a condição da faixa de tráfego analisada, como mostra a Figura 42.

Figura 41 - Trinca localizada na Avenida Dioguinho



Fonte: *Google Earth* (2019b).

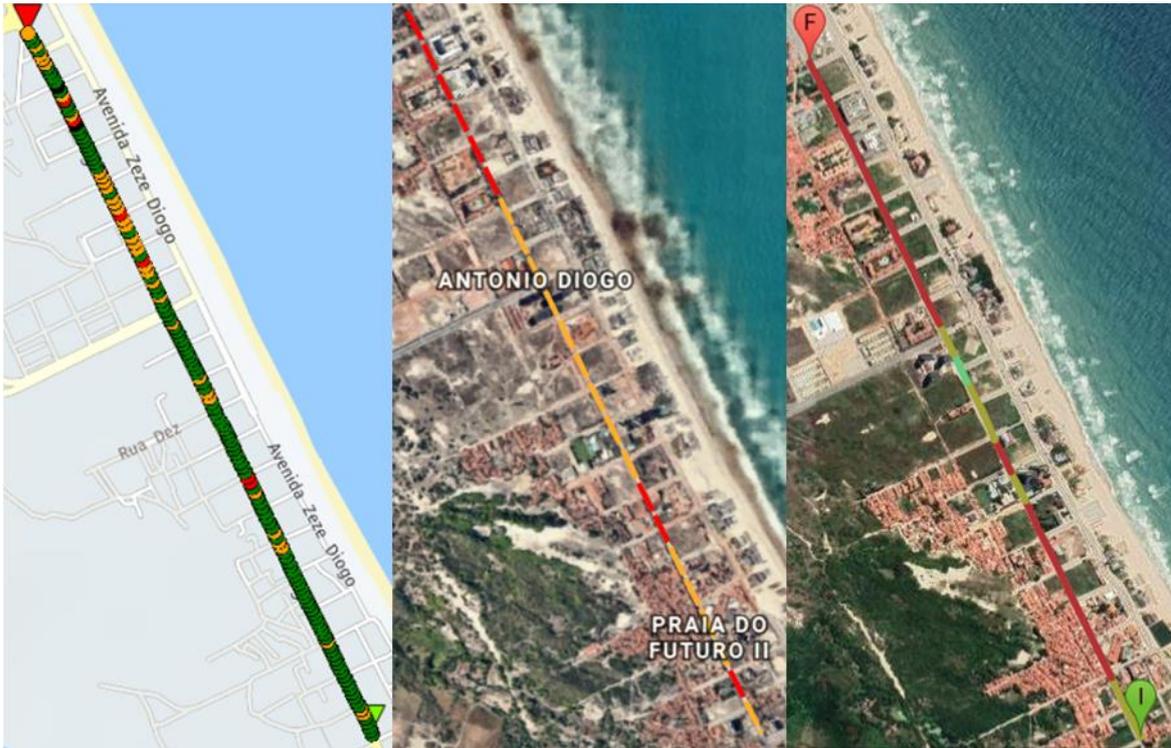
Tabela 18 - Dados e classificação dos aplicativos (Faixa direita – sentido Santos Dumont) – Av. Dioguinho

<b>Dados</b>	<b>SmartIRI</b>	<b>Roadroid</b>	<b>Roadlab</b>
<b>Vel média (km/h)</b>	47,04	58,61	53,33
<b>Distância (m)</b>	2441	2600	2599
<b>IRI médio (m/km)</b>	6,52	4,61	5,90
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	1,06	0,65	0,99
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	16,34%	14,19%	16,71%
<b>Classificação</b>	<b>RUIM</b>	<b>REGULAR</b>	<b>REGULAR</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 42 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por

cores (Faixa direita - sentido Santos Dumont)



Fonte: Roadroid, Roadlab e SmartIRI (2019).

A faixa apresenta valores médios de IRI elevados, com classificações variando entre regular e ruim. O aplicativo *SmartIRI* resultou no maior valor médio (6,52 m/km), sendo, inclusive, o único aplicativo a atribuir a classificação ruim à faixa. Embora tenha resultado em uma classificação diferente, os valores absolutos de IRI apresentados pelo *Roadlab* não foram muito discrepantes do *SmartIRI*, sendo da ordem de 9,5%. Com relação ao *Roadroid*, essa diferença aumenta, chegando a 29%, contudo, o aplicativo atribui a mesma classificação da faixa de tráfego que o *Roadlab*.

Este segmento apresenta trechos classificados como ruim, na maioria do seu percurso, com pequenos trechos regulares e um pequeno trecho bom. Essa classificação pode ter ocorrido devido à velocidade no momento da leitura, visto que o trecho se localiza próximo a um semáforo de trânsito como mostra a Figura 40, limitando a velocidade do veículo no momento. Esse resultado denota uma faixa de tráfego desconfortável ao rolamento, demandando intervenções de manutenção ou uma melhoria da textura do local.

Figura 43 - Semáforo localizado no cruzamento das Av. Dioguinho x Av. Dr.Aldy Mentor



Fonte: O autor (2019).

#### 4.2.2 Faixa esquerda – Avenida Dioguinho

Essa faixa de tráfego tende a apresentar maiores valores de velocidade média, apesar de ainda apresentar alguns limitadores de velocidade, como é o caso de semáforos de trânsito. Apesar de uma menor frequência, ainda há a presença da frota de veículos pesados, que representa um fator limitante de velocidade, além de exercer uma maior carga no pavimento, causando um maior desgaste. Apresenta uma textura bastante aberta, como a faixa da direita, o que contribui para o aumento do valor calculado de IRI. Contudo, alguns defeitos de superfície, como buracos, por exemplo, também contribuem para um alto valor de IRI calculado pelos aplicativos.

A análise da faixa foi feita baseada nos dados apresentados nas Tabelas 19 e 20, que contém os dados coletados e a classificação por aplicativo. Além disso, nas Figuras 45 e 46 estão expostos os mapas gerados pelos aplicativos e a classificação por cores de cada aplicativo.

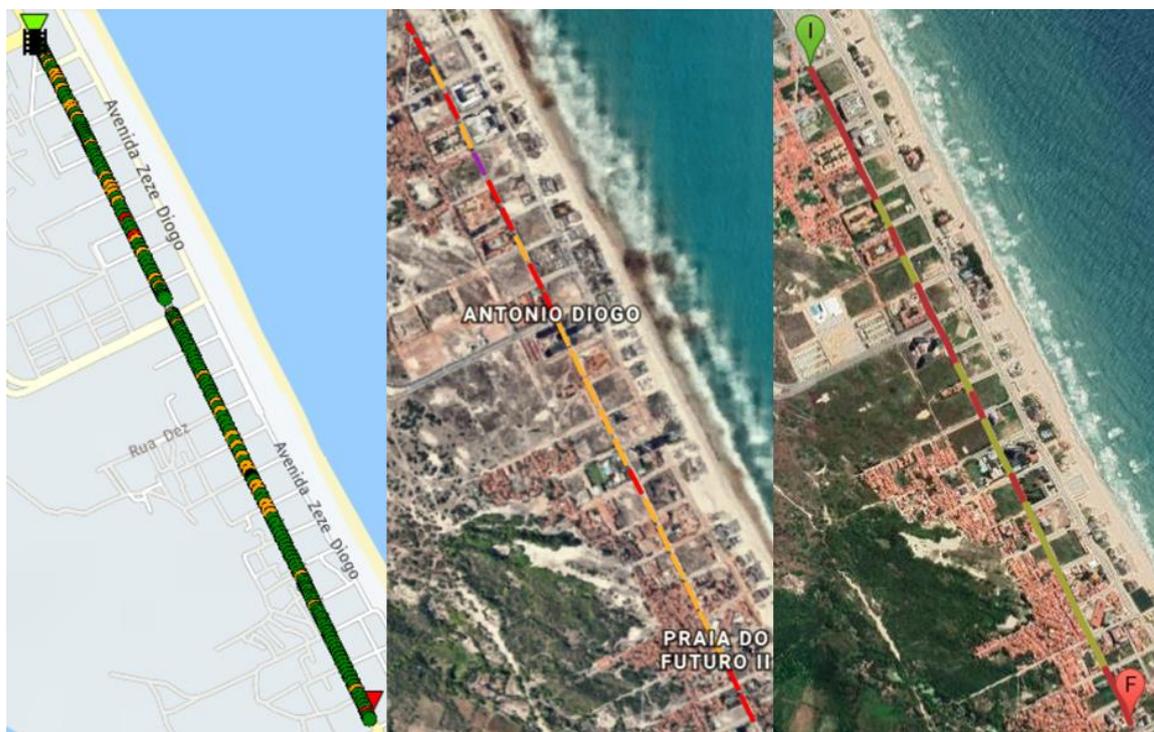
Tabela 19 - Dados coletados e classificação (Faixa esquerda - sentido Sabiaguaba) – Av. Dioguinho

<b>Dados</b>	<b>SmartIRI</b>	<b>Roadroid</b>	<b>Roadlab</b>
--------------	-----------------	-----------------	----------------

<b>Vel média (km/h)</b>	45,96	53,25	51,44
<b>Distância (m)</b>	2520	2600	2655
<b>IRI médio (m/km)</b>	6,12	4,19	5,98
<b>Desvio-Padrão (IRI)</b>	0,85	1,10	1,33
<b>Coefficiente de variação (IRI)</b>	13,84%	26,22%	22,23%
<b>Classificação</b>	<b>RUIM</b>	<b>REGULAR</b>	<b>REGULAR</b>

Fonte: O autor (2019).

Figura 44 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadroid, Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Sabiaguaba)



Fonte: Roadroid, Roadlab e SmartIRI (2019).

A faixa apresentou altos valores médios de IRI, com as classificações variando entre regular e ruim. Apesar de o aplicativo *SmartIRI* ter apresentado o valor médio mais alto (6,12 m/km), inclusive resultando em uma classificação pior que a dos outros dois, a diferença para o *Roadlab* foi bastante pequena, chegando a 2,2% de variação, com este último próximo ao limite de classificação regular da faixa, que vai até 6,0 m/km. O aplicativo *Roadroid* resultou na mesma classificação do *Roadlab*, embora com valor médio abaixo.

A faixa de tráfego apresenta bastante trechos com classificação regular e ruim, inclusive não há nenhum trecho considerado bom pelos aplicativos *SmartIRI* e *Roadlab*. Esse resultado demonstra o impacto que uma textura mal executada pode ter no conforto ao rolamento dos veículos e, por consequência, dos usuários, visto que não foram observados

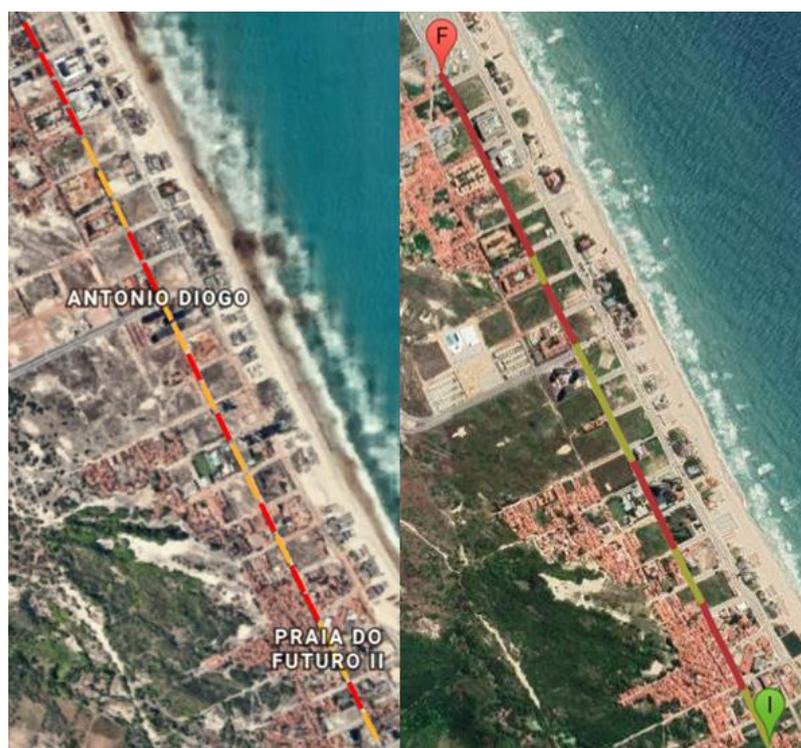
muitos defeitos de superfície que possam ter influenciado a irregularidade longitudinal de fato.

Tabela 20 - Dados coletos e classificação (Faixa esquerda - sentido Santos Dumont) – Av. Dioguinho

Dados	SmartIRI	Roadroid	Roadlab
Vel média (km/h)	45,96	55,61	47,60
Distância (m)	2455	2500	2655
IRI médio (m/km)	6,38	4,42	6,42
Desvio-Padrão (IRI)	1,10	1,10	1,33
Coefficiente de variação (IRI)	17,27%	26,22%	22,23%
Classificação	RUIM	REGULAR	REGULAR

Fonte: O autor (2019).

Figura 45 - Mapas gerados pelos aplicativos Roadlab e SmartIRI, respectivamente - classificação por cores (Faixa esquerda - sentido Santos Dumont)



Fonte: Roadlab e SmartIRI (2019).

Embora tenha sido feito levantamento com o aplicativo *Roadroid*, com os dados apresentados na Tabela 17, o mapa gerado não apresentou os dados coletados na faixa de tráfego em questão, através da classificação por cores, devido a problemas do próprio *software*. Por esse motivo, optou-se por não expor o mapa deste aplicativo.

A faixa em questão apresentou um dos piores resultados de irregularidade longitudinal da pesquisa, com o *Roadlab* e o *SmartIRI* resultando em uma classificação ruim e

apenas o *Roadroid* como regular. O *Roadlab* apresentou o maior valor médio (6,42 m/km), com o *SmartIRI* apresentando um valor menor (6,12 m/km), os dois resultando na mesma classificação (ruim), e o *Roadroid* com o menor valor dos três (4,42 m/km), inclusive resultando em uma melhor classificação (regular).

Dentre os três aplicativos, apenas o *Roadroid* apresentou alguns poucos trechos avaliados como bons, os outros dois apresentaram trechos apenas entre regular e ruim, com predominância do último. Esse resultado demanda do fato de, além de possuir uma textura com elevadas dimensões verticais, a faixa ainda apresenta alguns defeitos de superfície, como remendos e tampas de poços de visita mal niveladas, como mostra a Figura 47. A junção desses fatores resulta em uma faixa de tráfego que oferece um péssimo conforto ao rolamento ao usuário.

Figura 46 - Tampa de poço de visita e remendo desnivelado na Avenida Dioguinho



Fonte: *Google Earth* (2019b).

### 4.3 Quadros Sinóticos

Serão apresentadas, nesta seção, os quadros resumos, com os resultados dos três aplicativos utilizados na pesquisa em questão, nas duas avenidas, a fim de facilitar a visualização, análise e comparação dos dados coletados. De modo a manter uma melhor organização, será feito um quadro resumo por avenida, sendo o Quadro 1 relacionado à Rodovia CE-401 e o Quadro 2, à Avenida Dioguinho.

Quadro 1 - Dados coletados na Rodovia CE-401

Aplicativos	SENTIDO MONTESE			SENTIDO DIAS MACEDO		
	Faixa Direita	Faixa Central	Faixa Esquerda	Faixa Esquerda	Faixa Central	Faixa Direita
<b>SmartIRI (m/km)</b>	4,53	4,45	3,89	3,70	3,94	4,20
<b>Roadlab (m/km)</b>	4,06	4,30	3,52	3,56	3,93	3,53
<b>Roadroid (m/km)</b>	2,17	2,60	2,25	2,33	2,34	2,09

Fonte: O autor (2019).

Quadro 2 - Dados coletados na Avenida Dioguinho

Aplicativos	SENTIDO SABIAGUABA		SENTIDO SANTOS DUMONT	
	Faixa Direita	Faixa Esquerda	Faixa Esquerda	Faixa Direita
<b>SmartIRI (m/km)</b>	5,31	6,12	6,12	6,52
<b>Roadlab (m/km)</b>	6,14	5,98	6,42	5,90
<b>Roadroid (m/km)</b>	4,38	4,19	4,42	4,61

Fonte: O autor (2019).

Analisando os dados apresentados pelos quadros, nota-se uma tendência de aproximação de valores de IRI e, conseqüentemente, de classificação geral da faixa de tráfego entre os aplicativos *SmartIRI* e *Roadlab* na Rodovia CE-401. O *Roadroid* apresenta valores inferiores, mesmo quando resulta na mesma classificação dos outros aplicativos.

Na Avenida Dioguinho, os resultados não apresentaram a mesma tendência, embora tenham tido valores próximos, os aplicativos *SmartIRI* e *Roadlab* só resultaram na mesma classificação geral em uma faixa de tráfego, faixa da esquerda no sentido Av. Santos Dumont. O *Roadroid* continuou apresentando os menores valores de IRI, contudo, sua classificação geral foi a mesma de outro aplicativo em 3 faixas de tráfego.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados analisados neste trabalho, constata-se que na Rodovia CE-401, os aplicativos apontaram a mesma classificação geral das faixas de tráfego em metade das faixas analisadas, mesmo com valores diferentes. Enquanto o *Roadlab* e *SmartIRI* apresentaram valores próximos, o *Roadroid* resultou em resultados discrepantes dos valores do Índice de Irregularidade Internacional - IRI, sendo também o aplicativo que apontou uma classificação diferente em três faixas de tráfego. Uma das razões pode estar na sensibilidade que este último tem a limitações de velocidade, visto que o intervalo de velocidade recomendado para as medições dos aplicativos é entre 60 km/h e 80 km/h.

Os aplicativos apontaram os mesmos trechos críticos, onde os valores de IRI são mais elevados, indicando os segmentos ou faixas de tráfego específicos que necessitam de intervenções de manutenção e reabilitação da via, no caso de classificações ruins. Há ainda os trechos classificados como regular, os quais também foram semelhantes entre os aplicativos, que, embora não estejam deteriorados como os trechos ruins, demandam atenção, pois as irregularidades tendem a aumentar em um ritmo mais acelerado nesses segmentos, haja vista que a irregularidade tende a crescer em ritmo acentuado nos locais onde já existe algum defeito no pavimento.

A classificação global da qualidade do conforto ao rolamento apresentada pelo DER-CE para a Rodovia CE-401 foi boa para o segmento 1 e regular para o segmento 2. Esse resultado só foi encontrado pelo *Roadroid* no segmento 1, para os demais aplicativos e segmentos, houveram divergências entre as classificações globais, o que demonstra que a situação de irregularidade longitudinal pode variar entre as faixas de tráfego e faz-se necessário uma análise mais detalhada que evidencie essas diferenças.

Com relação à Avenida Dioguinho, não houve unanimidade nos resultados apresentados em nenhuma das faixas de tráfego analisadas. Isso aponta para a necessidade de um maior cuidado quanto à execução da textura dos revestimentos de pavimento rígido, e também de uma calibração dos aplicativos para *smartphones* no que diz respeito à influência da textura dos pavimentos na leitura da irregularidade longitudinal das vias.

De um modo geral, os aplicativos para *smartphones* oferecem uma série de vantagens na avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos, que vai desde seu baixo custo, muitos sendo gratuitos, podendo ser encontrado para *download* no serviço de distribuição de aplicativos *Google Play*, até a objetividade dos resultados apresentados e a obtenção de dados de IRI a cada 100 m, apontando trechos críticos que não seriam especificados em uma

avaliação global. Contudo, visto que há uma série de limitações no perímetro urbano, nem todos são adequados para esse uso em específico.

Dos três aplicativos utilizados nesta pesquisa, o *Roadroid* foi o que apresentou maior sensibilidade à limitação de velocidade, obtendo os resultados mais discrepantes, resultando até em uma classificação geral da via diferente dos outros dois dispositivos e dos dados oficiais, no caso da Rodovia CE-401, o que demonstra que o aplicativo pode não ser adequado para coletas de dados que ocorram abaixo dos 60 km/h.

As limitações desta pesquisa estão no o uso de dados com mais de um ano sobre a qualidade do conforto ao rolamento, visto que o órgão gestor não forneceu dados mais atuais. Além disso, outra limitação da pesquisa foi a limitação da velocidade em 60 km/h em quase toda a extensão dos trechos analisados, e por fim, o reduzido número de amostras dos levantamentos realizados pelos aplicativos.

Recomenda-se para trabalhos futuros que o trecho analisado pelos aplicativos tenha extensões iguais aos trechos analisados pelo órgão gestor de pavimento, de modo a se obter uma análise comparativa mais contundente. Além disso, sugere-se que se faça mais de um levantamento por faixa de tráfego, aumentando assim, o tamanho da amostra e a confiabilidade dos dados coletados. Por fim, recomenda-se o estudo de uma rodovia que permita o tráfego com maiores velocidades para avaliar a influência da velocidade no cálculo do IRI por parte dos aplicativos e na qualidade do conforto ao rolamento percebido pelo usuário.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.C. **Aplicativo para *smartphone* destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ALMEIDA, L.C.; OLIVEIRA, F.H.L.; RAMOS, S.P. Estudo da condição de superfície em rodovia por meio do uso de aplicativo para *smartphone*. In: **Revista Transportes**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 70-83, 2018.
- APS, Marcia. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – *International Friction Index* para revestimentos asfálticos**. 2006. 179f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BARELLA, R.M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. 2008. 362 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BERNUCCI, L.B.; MOTA, L.M.G.; CERATI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3.ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2008.
- BISCONSINI, D.R. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por *smartphones***. 2016. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- DER-CE. **Informativo gerencial 2017**. Departamento Estadual de Rodovias. Secretaria da Infraestrutura. Fortaleza, 2017.
- DNIT. **NORMA DNIT 009/2003 – PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2003e.
- DNIT. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **Manual de gerência de pavimentos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2011.
- DOUANGPHACHANH, V. ***The Development of a Simple Method for Network-wide Road Surface Roughness Condition Estimation and Monitoring Using Smartphones Sensors***. 2014. 172 f. Tese (Doutorado) – *Tokyo Metropolitan University*. Tokyo. 2014.
- DUARTE, R.I.M. **Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego na Rodovia CE-401 obtida por aplicativo para *smartphones***. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DYNATEST. **Equipamentos e Softwares**. 2016. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://dynatest.com.br>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

FLINTSCH, G.W.; BRYANT, J.W. *Asset Management data Colletion for Supporting Decision Process*. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2008.

FORSLÖF, L.; JONES, H. *Roadroid: continuous road condition monitoring with smartphones*. In: IRF 17th World Meeting and Exhibition, Riyadh, Saudi Arabia, 2013.

GILLESPIE, T.D.; PATERSON, W.D.O.; SAYERS, M.W. *Guidelines for conducting and calibrating Road roughness measurements*. Washington: The Word Bank. Washington, D.C., 1986.

GONZÁLEZ, A.; O'BRIEN, E.J.; LI, Y.Y.; CASHELL, K. *The use of vehicle acceleration measurements to estimate road roughness. Vehicle system dynamics. International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2008.

GOOGLE EARTH. [CE-401, Fortaleza – CE]. Disponível em: <<https://earth.app.goo.gl/TbCHgk>>. Acesso em: 27 set. 2019a.

GOOGLE EARTH. [Avenida Dioguinho, Fortaleza – CE]. Disponível em: <<https://earth.app.goo.gl/8uEmA1>>. Acesso em: 30 set. 2019b.

HIRPAHUANCA, D.L. *Determinación y comparación de La regularidad superficial Del pavimento de la carretera Cusco-Urcos usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro del MERLIN*. Monografia (Graduação em Ingeniería Civil). Universidad Andina Del Cusco – UANDINA, 2016.

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

ROADLAB. [Levantamento CE-401 e Avenida Dioguinho]. 2019. fotografia, color. Disponível em <[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.softteco.roadlabpro&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.softteco.roadlabpro&hl=en_US)>. Acesso em 18 out. 2019.

ROADROID. [Levantamento CE-401 e Avenida Dioguinho]. 2019. mapa, color. Disponível em <<https://www.roadroid.com/ImportHistory>>. Acesso em 10 out. 2019.

SAYERS, M.W.; GILLESPIE, T.D.; QUEIROZ, C.A.V. *The international road roughness experiment: a basis for establishing a standard scale for road roughness measurements. Transportation Research Record*, 1986.

SMARTIRI. [Levantamento CE-401 e Avenida Dioguinho]. 2019. fotografia, color. Disponível em <<https://smartiriapp-prod.firebaseio.com/#/home>>. Acesso em 10 out. 2019.

TOMIYAMA, K.; KAWAMURA, A.; NAKAJIMA, S.; ISHIDA, T.; JOMOTO, M. *A mobile profilometer for road surface monitoring by use of accelerometers*. 2012. Artigo apresentado no 7th Symposium on Pavement Surface Characteristics.

WANG, W.; GUO, F. *RoadLab – Revamping road condition and road safety monitoring by crowdsourcing with smartphone app*. *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, Washington, D.C., 2016.

**APÊNDICE A – TABELAS DE IRI POR TRECHO DE 100 m – RODOVIA CE-401**

<b>FAIXA DIREITA - SENTIDO DIAS MACEDO</b>			
<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1°	6.55	6.3	1.53
2°	5.52	2.44	2.85
3°	4.2	7.1	1.84
4°	5.71	3.3	3.08
5°	5.21	3.76	3.93
6°	5.36	5.36	2.05
7°	6.50	3.6	4.62
8°	4.26	4.93	3.11
9°	5.56	6.48	4.06
10°	3.17	4.72	3.85
11°	3.24	3.24	2.76
12°	3.26	2.46	1.72
13°	5.16	2.63	1.72
14°	4.14	2.9	1.62
15°	3.4	3.73	1.54
16°	5.32	3.19	1.7
17°	3.95	3.03	1.75
18°	4.28	3.11	2.65
19°	3.66	2.65	1.61
20°	3.32	2.71	1.48
21°	6.92	2.98	1.42
22°	3.55	3.06	1.33
23°	3.14	6.03	1.92
24°	3.36	3.26	1.83
25°	3.26	3.47	1.56
26°	3.63	3.45	1.79
27°	3.77	2.55	1.56
28°	3.63	3.87	1.53
29°	3.89	2.4	1.67
30°	3.44	3.16	1.57
31°	3.29	2.63	1.96
32°	3.46	3.08	1.55
33°	3.78	3.39	1.5
34°	3.90	3.47	1.97
35°	3.05	3.17	1.95
36°	3.21	2.64	1.84

37°	-	2.71	1.7
38°	-	-	1.71
39°	-	-	1.6
40°	-	-	1.98
<b>MÉDIA</b>	<b>4.20</b>	<b>3.59</b>	<b>2.09</b>
<b>DESVIO-PADRÃO</b>	1.09	<b>MÉDIA (IRI)</b>	3.29
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>0.33</b>	-	-

**FAIXA DIREITA - SENTIDO MONTESE**

<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1°	3.47	4.09	1.27
2°	2.71	2.73	1.77
3°	2.65	3.48	1.74
4°	3.18	2.97	2.31
5°	2.95	2.83	1.87
6°	3.18	3.58	2.33
7°	3.14	2.92	2.33
8°	3.17	3.15	2.17
9°	3.81	3.2	2.61
10°	4.56	4.33	1.85
11°	3.39	3.38	1.78
12°	4.33	4.53	1.93
13°	4.6	3	2.37
14°	4.41	4.16	2.2
15°	3.14	2.88	2.2
16°	5.19	2.35	2.01
17°	3.81	3.24	2.07
18°	5.1	4.12	1.94
19°	4.31	4.17	1.77
20°	4.73	4.33	1.65
21°	5.23	5.56	1.85
22°	4.44	4.13	2.08
23°	4.56	3.88	1.8
24°	5.23	3.69	1.94
25°	5.91	3.81	2.01
26°	4.48	3.62	2.12
27°	4.81	4.95	1.51
28°	4.13	5.5	1.64

29°	4.94	6.87	1.5
30°	6.03	5.3	0.77
31°	5.4	6.37	0.96
32°	6.26	6.26	2.04
33°	6.05	4.73	2.56
34°	6.25	-	4.32
35°	5.49	-	3.54
36°	5.8	-	3.36
37°	5.28	-	4.36
38°	6.18	-	2.37
39°	-	-	3.51
40°	-	-	2.34
<b>MÉDIA</b>	<b>4.53</b>	<b>4.06</b>	<b>2.17</b>
<b>DESVIO-PADRÃO</b>	1.25	<b>MÉDIA (IRI)</b>	3.59
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>0.35</b>	-	-

#### FAIXA CENTRAL - SENTIDO DIAS MACEDO

TRECHO DE 100m	SMARTIRI	ROADLAB	ROADROID
	IRI (m/km)	IRI (m/km)	IRI (m/km)
1°	4.69	1.57	7.35
2°	3.90	3.12	6.71
3°	4.65	2.6	2.92
4°	3.59	2.15	3.8
5°	5.43	2.21	3.84
6°	5.22	2.24	3.72
7°	7.82	2.24	8.55
8°	5.15	3.26	4.63
9°	4.52	2.48	3.03
10°	4.55	3.83	4.2
11°	3.18	2.82	3.36
12°	4.21	2.03	3.66
13°	3.28	1.77	3.26
14°	4.41	1.94	3.23
15°	2.94	2.54	3.79
16°	3.07	2.55	3.52
17°	3.7	2.68	3.65
18°	3.38	2.42	3.48
19°	2.86	2.33	3.5
20°	3.37	2.45	3.02

21°	3.49	2.42	3.64
22°	6.4	2.03	4.81
23°	3.94	2.26	3.1
24°	3.58	2.41	3.71
25°	4.06	2.57	4.28
26°	4.08	3.34	3.7
27°	4.27	2.1	3.52
28°	3.31	2.62	3.53
29°	3.34	2.79	4.09
30°	2.77	2.99	3.11
31°	2.96	2.35	3.16
32°	3.85	2.6	3.55
33°	3.34	2.15	2.98
34°	3.15	2.28	3.37
35°	2.93	1.84	3.86
36°	3.02	1.97	4.6
37°	3.55	1.93	3.3
38°	-	1.5	3.77
39°	-	1.62	-
40°	-	1.63	-
41°	-	1.77	-
42°	-	1.97	-
<b>MÉDIA</b>	<b>3.94</b>	<b>2.34</b>	<b>3.93</b>
<b>DESVIO-PADRÃO</b>	0.92	<b>MÉDIA (IRI)</b>	3.41
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>0.27</b>	-	-

**FAIXA CENTRAL - SENTIDO MONTESE**

<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
1°	3.41	8.29	3.81
2°	2.63	5.15	2.83
3°	3.3	3.29	1.93
4°	3.36	4.47	1.91
5°	3.15	3.6	2.33
6°	3.33	2.87	2.4
7°	3.01	3.53	2.08
8°	3.34	2.43	2.2
9°	4.07	2.34	1.9
10°	4.77	3.73	2.12

11°	3.34	3.94	2.22
12°	3.2	2.85	2.11
13°	3.37	1.74	2.31
14°	3.13	2.88	1.78
15°	2.99	2.21	2.08
16°	4.86	2.83	2.35
17°	3.76	4.86	2.22
18°	3.21	3.43	2.29
19°	3.65	3.71	3.2
20°	3.58	2.78	1.81
21°	4.36	3.79	1.91
22°	4.28	3.94	1.7
23°	5.73	3.46	1.88
24°	5.27	3.58	1.96
25°	4.38	4.55	2.09
26°	3.99	4.35	1.96
27°	4.42	5.56	2.62
28°	5.45	4.47	1.81
29°	5.31	4.39	2.05
30°	7.74	4.08	2.07
31°	8.87	5.88	1.73
32°	6.03	9.83	2.04
33°	4.77	7.22	2.36
34°	4.65	4.37	4.29
35°	5.41	6.09	6.38
36°	6.11	5.99	5.84
37°	5.64	5.16	3.01
38°	7.15	5.84	3.85
39°	-	-	2.86
40°	-	-	3.91
41°	-	-	3.46
42°	-	-	3.36
<b>MÉDIA</b>	<b>4.45</b>	<b>4.30</b>	<b>2.60</b>
<b>DESVIO-PADRÃO</b>	1.03	<b>MÉDIA (IRI)</b>	3.78
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>0.27</b>	-	-

**FAIXA ESQUERDA - SENTIDO DIAS MACEDO**

TRECHO DE 100m	SMARTIRI	ROADLAB	ROADROID
	IRI (m/km)	IRI (m/km)	IRI (m/km)
1°	3.93	7.73	1.77
2°	3.38	5.72	3.27
3°	4.17	3.16	2.23
4°	4.07	4.15	2.04
5°	3.88	3.26	2.22
6°	3.46	3.62	2.27
7°	3.43	2.26	2.14
8°	4.73	6.43	1.89
9°	4.44	4.91	2.38
10°	4.85	3.28	3.28
11°	2.78	3.03	2.63
12°	3.11	2.63	2.54
13°	3.23	3.48	3.46
14°	3.81	3.33	1.88
15°	4.03	4.72	2.06
16°	3.03	2.45	2.38
17°	2.97	2.01	2.48
18°	3.62	1.97	2.78
19°	3.09	4.15	1.83
20°	2.89	1.74	1.99
21°	3.32	2.92	1.96
22°	5.59	3.88	2.22
23°	5.39	7.47	1.99
24°	3.32	1.25	1.62
25°	3.28	2.46	1.92
26°	3.04	2.79	3.64
27°	3.25	2.84	1.75
28°	3.44	3.06	1.62
29°	3.55	3.84	1.95
30°	3.68	4.24	2.17
31°	4.11	3.87	1.92
32°	3.6	2.83	2.05
33°	4.26	2.87	2.51
34°	4.08	3.16	2.91
35°	3.11	2.98	3.04
36°	3.3	3.47	2.64
37°	3.73	3.62	2.27
38°	3.62	-	3.32
39°	-	-	2.62

40°	-	-	1.81
41°	-	-	2.24
42°	-	-	2.36
<b>MÉDIA</b>	<b>3.70</b>	<b>3.56</b>	<b>2.33</b>
<b>DESVIO-PADRÃO</b>	0.75	<b>MÉDIA (IRI)</b>	3.20
<b>COEFICIENTE DE VARIÇÃO</b>	<b>0.23</b>	-	-

**APÊNDICE B – TABELAS DE IRI POR TRECHO DE 100 m – AVENIDA  
DIOGUINHO**

**FAIXA DIREITA - SENTIDO SANTOS DUMONT**

<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
1°	5.67	5.75	4.06
2°	5.92	4.4	4.6
3°	6.29	6.09	3.86
4°	6.5	5.57	3.98
5°	6.29	4.87	4.1
6°	6.53	4.97	3.86
7°	6.71	5.08	4.37
8°	6.29	7.01	5.58
9°	5.62	6.55	4.81
10°	6.2	4.88	4.79
11°	5.9	5.04	4.59
12°	5.62	4.98	4
13°	3.62	4.85	3.77
14°	5.5	5.62	3.91
15°	7.63	5.6	4.08
16°	6.74	5.81	4.35
17°	6.08	5.96	4.26
18°	7.63	5.13	5.16
19°	7	7.28	5.22
20°	7.91	6.19	5.06
21°	7.39	7.5	6.31
22°	7.91	7.62	4.33
23°	8.9	7.65	4.61
24°	-	7.15	5.32
25°	-	-	5.67
26°	-	-	5.3
<b>MÉDIA</b>	<b>6.52</b>	<b>5.90</b>	<b>4.61</b>

**FAIXA ESQUERDA - SENTIDO SABIAGUABA**

<b>TRECHO DE 100m</b>	<b>SMARTIRI</b>	<b>ROADLAB</b>	<b>ROADROID</b>
1°	7.44	8.42	2.88
2°	7.71	6.22	4.66
3°	6.76	5.54	5.13
4°	6.62	7.39	4.74

5°	6.85	5.26	4.14
6°	5.8	10.01	4.6
7°	6.13	6.1	5.49
8°	5.79	6.5	4.99
9°	6.31	4.99	5.29
10°	6.81	6.05	4.28
11°	6.59	7.09	1.33
12°	4.96	4.18	2.75
13°	6.36	5.01	3.13
14°	5.66	5.19	3.16
15°	5.84	5.35	4.52
16°	6.87	5.71	5.56
17°	5.04	8.01	5.17
18°	4.95	4.75	5.66
19°	4.49	4.93	5.39
20°	4.8	4.59	4.41
21°	5.48	5.29	3.71
22°	5.8	5.43	2.79
23°	6.96	4.74	2.98
24°	6.74	6.02	3.02
25°	-	6.63	4.36
26°	-	-	4.92
<b>MÉDIA</b>	<b>6.12</b>	<b>5.98</b>	<b>4.19</b>

#### FAIXA ESQUERDA - SENTIDO SANTOS DUMONT

TRECHO DE 100m	SMARTIRI	ROADLAB	ROADROID
1°	7.44	6.42	4.11
2°	7.71	5.56	4.77
3°	6.76	6.47	3.74
4°	6.62	4.73	4.22
5°	6.85	4.31	4.13
6°	5.8	6.02	2.95
7°	6.13	6.8	3.56
8°	5.79	5.75	5.14
9°	6.31	6.42	5.23
10°	6.81	5.98	4.71
11°	6.59	5.62	5.24
12°	4.96	7.47	5.41
13°	6.36	5.49	5.32
14°	5.66	6.15	4.82
15°	5.84	5.65	3.46

16°	6.87	5.95	1.75
17°	5.04	8.82	3.52
18°	4.95	7.76	4.61
19°	4.49	5.1	4.39
20°	4.8	5.79	3.76
21°	5.48	5.77	5.69
22°	5.8	9.19	5.56
23°	6.96	8.58	4.47
24°	6.74	7.76	4.75
25°	-	6.88	5.08
<b>MÉDIA</b>	<b>6.12</b>	<b>6.42</b>	<b>4.42</b>