



CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

YAGO FILIPE DA SILVA FARIAS

**ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADES NO PAVIMENTO POR MEIO DO
APLICATIVO SMARTIRI APÓS OBRA DE REQUALIFICAÇÃO: RODOVIA CE - 401.**

FORTALEZA

2022

YAGO FILIPE DA SILVA FARIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL NO PAVIMENTO POR MEIO DO APLICATIVO SMARTIRI APÓS OBRA DE REQUALIFICAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Fernando Feitosa Monteiro.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F224a Farias, Yago Filipe da Silva Farias.
ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADES NO
PAVIMENTO POR MEIO DO APLICATIVO SMARTIRI APÓS
OBRA DE REQUALIFICAÇÃO: RODOVIA CE - 401 / Yago Filipe
da Silva Farias Farias. - 2022.

56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Me. Fernando Feitosa Monteiro.

1. SmartIRI. I. Título.

CDD 624

YAGO FILIPE DA SILVA FARIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL NO PAVIMENTO POR MEIO DO APLICATIVO SMARTIRI APÓS OBRA DE REQUALIFICAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Sistemas Construtivos e Materiais.

Orientadora: Profa. Me. Fernando Feitosa Monteiro.

Aprovada em: 05 / 12 / 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Alessandra Honório Oliveira
Centro Universitário Christus (Unichristus)

Prof. Dr. Francisco Helber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus, por ter me dado forças para alcançar o objetivo e sonho de ingressar no curso de engenharia civil.

À minha família pelo incentivo, motivação e apoio, nos momentos mais difíceis durante o curso. Especialmente, minhas avós, Dona Maria e Altiva Farias, que sempre tiveram a confiança depositadas em mim. Aos meus pais, Marcelo e Rejane, que sempre me apoiaram nos momentos difíceis durante o período de graduação, me dando forças em momentos que tudo parecia perdido.

A minha esposa, por todo o apoio e perseverança nos momentos que tive que me entregar 100% na graduação.

A professora Leila Carvalho, ao professor Lucas Almeida, que me orientaram, mas que seus caminhos fizeram com que não chegasse comigo ao final, meu muito obrigado.

Fernando Monteiro, meu orientador, incentivador e um amigo de graduação. Foi um incentivador e motivador para essa nova fase da minha vida. Obrigada pelo apoio, paciência, dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Alessandra, muito obrigado pela disponibilidade e pelo conhecimento passado aos longos das disciplinas de estradas I e II, que serviram de base para a execução dos trabalhos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram durante esse período e que, de alguma forma, ajudaram a alcançar o objetivo final. Meu muito OBRIGADO!

RESUMO

A irregularidade longitudinal é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação funcional de pavimentos rodoviários. Este parâmetro, quando elevado, prejudica a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. Vários instrumentos, como aplicativos para *smartphones*, têm sido desenvolvidos ao longo dos últimos anos para auxiliar os órgãos gestores na coleta de dados com precisão, baixo custo de aquisição e fácil operação, podendo ser utilizados como uma alternativa aos métodos tradicionais de avaliação da qualidade funcional dos pavimentos. Neste estudo foi realizada uma avaliação funcional de um trecho da Rodovia CE-401, buscando analisar as irregularidades longitudinais na camada de revestimento do pavimento, utilizando o aplicativo para *smartphone* SmartIRI. A coleta de dados de irregularidade longitudinal foi realizada em todas as faixas de tráfego da Avenida Senador Carlos Jereissati (trecho da Rodovia CE-401), em uma extensão de 4,1 km. Adicionalmente, foram realizadas análises comparativas com outras duas medições realizadas em um intervalo de tempo bienal (2018 e 2020). A análise dos dados comprovou que houve uma melhora progressiva na condição de rolamento possivelmente, devido às manutenções, que contribuiu para uma queda no valor do IRI (*Internationalized Resource Index*).

Palavras-chave: Avaliação funcional. Irregularidade longitudinal. SmartIRI.

ABSTRACT

Longitudinal unevenness is one of the most used parameters in the functional evaluation of pavements. This parameter, when high, impairs vehicle dynamics, the dynamic effect of loads, rolling quality and surface drainage of the track. Several instruments, such as applications for smartphones, have been developed over the last few years to assist management bodies in accurately collecting data, with low acquisition cost and easy operation, and can be used as an alternative to traditional methods of assessing functional quality. of the floors. In this study, a functional evaluation of a section of the CE-401 highway was carried out, seeking to analyze the longitudinal irregularities in the pavement layer, using the SmartIRI smartphone application. The collection of longitudinal irregularity data was carried out in all traffic lanes on Avenida Senador Carlos Jereissati (section of the CE-401 highway), over a length of 4.1 km. Additionally, comparative analyzes were carried out with two other measurements carried out in a biennial time interval (2018 and 2020). Data analysis proved that there was a progressive improvement in the bearing condition, possibly due to maintenance, which contributed to a drop in the IRI value.

Keywords: *Functional assessment. Longitudinal Roughness. SmartIRI.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte longitudinal de um pavimento rígido.....	15
Figura 2 – Diferentes níveis de irregularidade	16
Figura 3 – Interação entre os defeitos em rodovias pavimentadas.	18
Figura 4 – Faixas de variação do IRI dependendo do caso e da situação.....	19
Figura 5 – Classificação das qualidades das estradas avaliadas.....	20
Figura 6 – Exemplos de medidores de IRI.	22
Figura 7 – Estrutura de um acelerômetro instalada em smartphone.....	27
Figura 8 – Exemplos de aplicativo	29
Figura 9 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação.....	30
Figura 10 – Arquivo com os dados coletados pelo SmartIRI.....	31
Figura 11 – Fluxograma das etapas da pesquisa	32
Figura 12 – Imagem da CE 401	33
Figura 13 – Imagem da CE 401 levantada	34
Figura 14 – Imagem da CE-401, com divisões por faixas	35
Figura 15 – Dados fornecidos pelo SmartIRI na faixa 3 (F3).....	36
Figura 16 – Barra de classificação do IRI	37
Figura 17 – Dados de 2018 no sentido 1 (BR-Montese)	38
Figura 18 – Dados de 2020 no sentido 1 (BR-Montese)	38
Figura 19 – Dados de 2022 no sentido 1 (BR-Montese)	39
Figura 20 – Dados de 2018 no sentido 2 (BR-Montese)	40
Figura 21 – Dados de 2020 no sentido 2 (Montese-BR)	41
Figura 22 – Dados de 2022 no sentido 2 (Montese-BR).....	41
Figura 23 – Gráfico de barra com as médias do IRI	43
Figura 24 – Boxplot das faixas de tráfego do sentido 1	44
Figura 25 – Boxplot das faixas de tráfego do sentido 2.....	44
Figura 26 – Imagem do trecho da CE 401 nos anos de 2018, 2020 e 2022.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens das classes de equipamentos medidores de IRI.....	23
Tabela 2 – Média do IRI por faixa e ano	42
Tabela 3 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos anos de 2018,2020 e 2022	45

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	10
1.1.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Pavimentos Rodoviários.....	11
2.1.1	<i>Pavimentos flexíveis.....</i>	13
2.2	Irregularidades longitudinais e defeitos do pavimento	16
2.3	Equipamentos medidores de irregularidade longitudinal.....	19
2.4	<i>Smartphones</i> e sensores móveis para estimar a condição do pavimento.....	20
2.5	Processamento de dados fornecidos por <i>smartphones</i>	25
2.6	Pesquisas relacionadas a utilização de smartphones e sensores móveis para estimar a condição do pavimento.....	27
2.7	O SmartIRI	30
3	Métodos de Pesquisa	33
3.1	Localização dos trechos analisados em estudo	33
3.2	Levantamento de dados.....	35
4	Análise de resultados.....	36
4.1	Análise comparativa dos valores de IRI coletados.....	36
4.2	Análise de estatística descritiva.....	40
5	Conclusão	46
	REFERENCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os modos de transportes utilizados são aéreos, aquaviários, ferroviários e rodoviários. Porém, o destaque é para o rodoviário, devido ser o mais utilizado no território nacional, por conta da sua acessibilidade, flexibilidade e comodidade quando comparado aos outros. De acordo com a CNT – Confederação Nacional do Transporte (2019), mais de 61% do transporte de cargas e mais de 95% dos deslocamentos de passageiros do Brasil são feitos por rodovias. Junto a isso existe um grande problema, pois a falta de qualidade das estradas é um dos fatores que atrapalham a eficiência do serviço de transporte. Por ser bastante utilizada e não passarem por manutenções periódicas, as rodovias apresentam diversas falhas em sua extensão, percebidas por usuários que trafegam por elas.

A manutenção das vias está ligada diretamente com a sua qualidade da mesma. Uma rodovia que passa por manutenções periódicas, apresenta um conforto para as pessoas que estão trafegando por ela, garantindo uma viagem mais rápida e com maior qualidade.

Identificar os locais apresentam irregularidades longitudinais em uma estrada é uma tarefa complexa, principalmente quando é realizada por procedimentos mecânicos, com equipamentos que necessitam da mão de obra humana, exigindo um tempo considerável para levantar esses dados. Então, com o auxílio da tecnologia, tem-se vários aplicativos que conseguem levantar essas informações de forma mais rápida. A partir de *smartphone* acoplado em um carro em movimento, transitando sobre uma rodovia e coletando a irregularidade longitudinal presente.

No exterior, o uso de *softwares* embarcados em veículos dotados de sensores e outros dispositivos, e, mais recentemente, aplicativos para *smartphones e tablets*, destinado aos processos de avaliação de pavimentos rodoviários tem se tornado recorrente.

Levando em consideração que existe uma grande relação entre qualidade da via e a irregularidade longitudinal, e com o processo de avanço da tecnologia para minimizar o tempo gasto e maximizar a qualidade dos processos, foi desenvolvido por Almeida (2018) na Universidade Federal do Ceará (UFC), o SmartIRI, um aplicativo empregado para medição da irregularidade longitudinal por meio do IRI (*Internationalized Resource Index*).

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

O presente trabalho tem o objetivo de realizar uma avaliação funcional de um trecho da Rodovia CE-401, após o serviço de restauração do pavimento, com a análise da irregularidade longitudinal na camada de revestimento do pavimento, utilizando o aplicativo para smartphone SmartIRI.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Coletar dados de medições prévias relativas a irregularidade longitudinal da rodovia CE-401;
2. Identificar o nível de irregularidade longitudinal e classificar a qualidade da rodovia segundo o Índice Internacional de Irregularidade (IRI).
3. Analisar a variação da irregularidade longitudinal antes e após o serviço de restauração do pavimento;
4. Apresentar uma análise comparativa dos valores de IRI das medições prévias e as realizadas neste trabalho;

1.2 Estrutura da Pesquisa

O Capítulo 1 é apresenta a introdução do trabalho com sua problemática, os objetivos gerais, objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 contém o referencial teórico utilizado como embasamento para o desenvolvimento desta pesquisa.

O Capítulo 3 descreve a metodologia que foi adotada para o desenvolvimento do trabalho, assim como o estudo de campo que foi realizado.

O Capítulo 4 apresenta a análise comparativa de resultados para o trecho estudado utilizando o aplicativo SmartIRI e análise dos perfis longitudinais gerados em cada subtrecho do pavimento.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão e as proposições para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta um levantamento bibliográfico sobre os assuntos envolvidos na temática abordada nesta pesquisa, na qual serão dissertados tópicos sobre definição de pavimentos rígidos e flexíveis, definição de irregularidade longitudinal, defeitos da superfície do pavimento, equipamentos medidores de irregularidade longitudinal, índice de irregularidade longitudinal, *smartphones* e sensores para estimar a condição dos pavimentos rodoviários.

2.1 Pavimentos Rodoviários

Para ser considerado um pavimento é necessário existir uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir a os esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Para Balbo (2007), os avanços de operações no tráfego consistem na pavimentação da via, no qual é necessário uma superfície mais regular, a fim de garantir pontos positivos na dirigibilidade de um veículo, tais como: o conforto de locomoção do veículo; uma melhor aderência garantindo mais segurança no caso de a pista ser molhada; que essa superfície possua menos ruídos frente a ação dinâmica dos pneus, que tem finalidade garantir mais conforto do ambiente nas vias de zonas rurais e urbanas.

Bernucci *et al* (2022) classificam o pavimento rodoviário em tradicionalmente dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento.

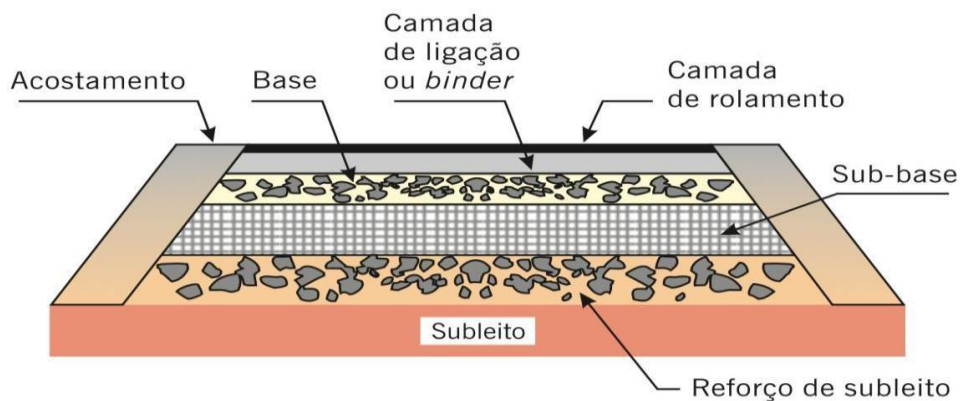
2.1.1 Pavimentos Flexíveis

Segundo o DNIT (2006), pavimento flexível é caracterizado como aquele que possui uma camada de rolamento asfáltica e de base, podendo possuir mais camadas que são apoiadas sobre a estrada quando a camada de rolamento se adapta na formação da base.

Segundo Bernucci *et al* 2022, os pavimentos flexíveis ou pavimentos asfálticos tem em sua composição uma mistura constituída de agregados e ligantes asfálticos. Em geral, sua formação é caracterizada por quatro principais camadas, são elas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros (Figura 1)

Ribeiro (2017), caracteriza a camada de revestimento, também denominada de capa de rolamento, como uma camada com materiais mais nobre, devido a responsabilidade da camada de receber diretamente a ação do tráfego, com a função de melhorar a superfície de rolamento e também de resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade. Ribeiro ainda define a função de cada camada subsequente. A base é a camada responsável por receber e distribuir os esforços oriundos do tráfego, sendo a camada inferior ao revestimento. A sub-base só é indicada quando não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do sub-leito. Esse, que pode ser a quinta camada, é o terreno de fundação do pavimento. É formada por uma camada de espessura constante e, para alguns pesquisadores, quando construída acima da regularização do sub-leito, possui características técnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, mas superiores às do material do sub-leito. A regularização do sub-leito possui espessura irregular e é destinada a conformar o sub-leito com o projeto, de forma transversal e longitudinal.

Figura 1 - Corte transversal de um pavimento Flexível.



Fonte: Bernucci *et al.*, 2022.

2.2 Irregularidade longitudinal e defeitos do pavimento

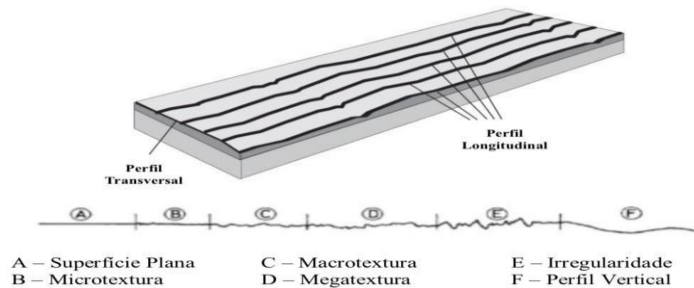
A Irregularidade Longitudinal de um pavimento é definida como o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência. Esses desvios apresentam prejuízos na qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via e os componentes dos veículos. (DNIT, 2006). Através do valor do IRI é que definimos o grau da irregularidade Longitudinal de um pavimento. Esse índice estatístico geralmente fornecido em m/km ou mm/m foi proposto pelo Banco Mundial em 1986 (BARELLA, 2008).

A irregularidade longitudinal é comumente medida pelo IRI. Além de apresentar várias particularidades, dentre elas que, a partir de um valor inicial, a função do processo construtivo, a irregularidade passa a assumir valores crescentes com decorrência da ação do tráfego, do clima e de outros fatores de deterioração (ALMEIDA, 2018).

Segundo o DNIT (2006), a presença de irregularidades e seus níveis (Figura 2), junto ao aumento da ação das cargas dinâmicas dos veículos sobre a superfície do pavimento fazem com que acelere a deterioração da estrutura da via, e também, possui grande influência sobre vários custos, dentre eles: custos operacionais dos veículos (gasolina, pneus, óleo, suspensão, etc.), custos no tempo de viagem, custos econômicos devido a acidentes e o custo social e

ambiental devido à emissão de poluentes e poluição sonora.

Figura 2 – Diferentes níveis de irregularidade



Fonte: ALMEIDA, (2018).

Segundo Benevides (2006), vários fatores ocasionam o aumento da irregularidade no decorrer do tempo, os quais, podem ser em virtude da ação do tráfego, do meio ambiente (temperatura, água), de imperfeições no processo executivo do pavimento e da idade do pavimento. As movimentações e esforços indesejáveis que atuam nos veículos devido à irregularidade longitudinal provocam uma condição de rolamento desconfortável, insegura e antieconômica.

Conforme Souza (2015), é recorrente encontrar pavimentos em situações inadequadas, com diversos tipos de trincas, marcas de trilhas de roda, painéis, até mesmo remendos mal aplicados, dentre outros, na qual, todos estes fatores são caracterizados como defeitos e são consequências das irregularidades ou por conta da deterioração do pavimento, visto que os pavimentos são elementos que possuem uma vida útil a ser respeitada. Caso os defeitos sejam originados por conta da deterioração dos pavimentos, sua causa pode se dar tanto pelas solicitações climáticas quanto pelas solicitações de tráfego, sendo necessário levar em consideração a severidade destes defeitos e suas dimensões, para que seja avaliada a gravidade da situação. Além dessa avaliação, pode ser averiguado se os mesmos podem ser considerados defeitos superficiais ou pertencentes da estrutura do pavimento, manifestando-se de diversas formas.

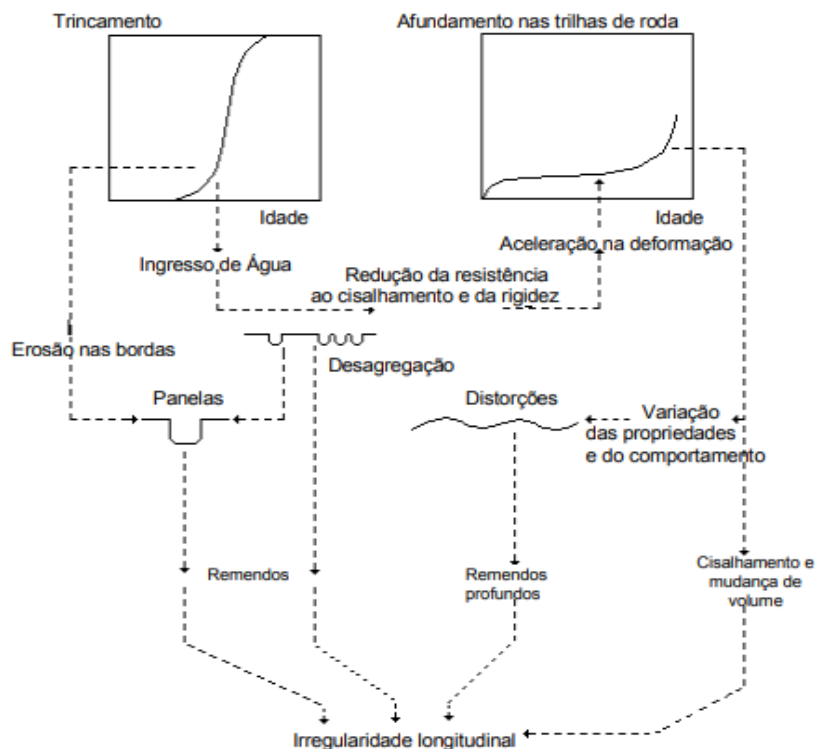
Benevides (2006) cita que a dinâmica dos veículos é prejudicada pelas distorções na superfície, causando desgaste, acréscimo do tempo de viagem e na manutenção do veículo. As distorções que geram as

irregularidades têm notável influência no custo de operação dos veículos, provocando também, os deslocamentos verticais e laterais, ocasionados pelas respectivas acelerações. Sendo o principal desconforto dos usuários função dos deslocamentos verticais, que são originados das distorções longitudinais do perfil do pavimento.

Já os deslocamentos laterais, são responsáveis pela maior ação da carga dinâmica dos veículos, originados de movimentos do veículo para a direita e esquerda em torno de seu eixo longitudinal, são resultantes das diferenças de declividades transversais do pavimento e pelas curvas horizontais (BENEVIDES, 2006).

A irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo em alguns casos haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o em diversas linhas paralelas imaginárias (Figura 3). A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros e depende do tipo de equipamento empregado. (BERNUCCI et al.,2022).

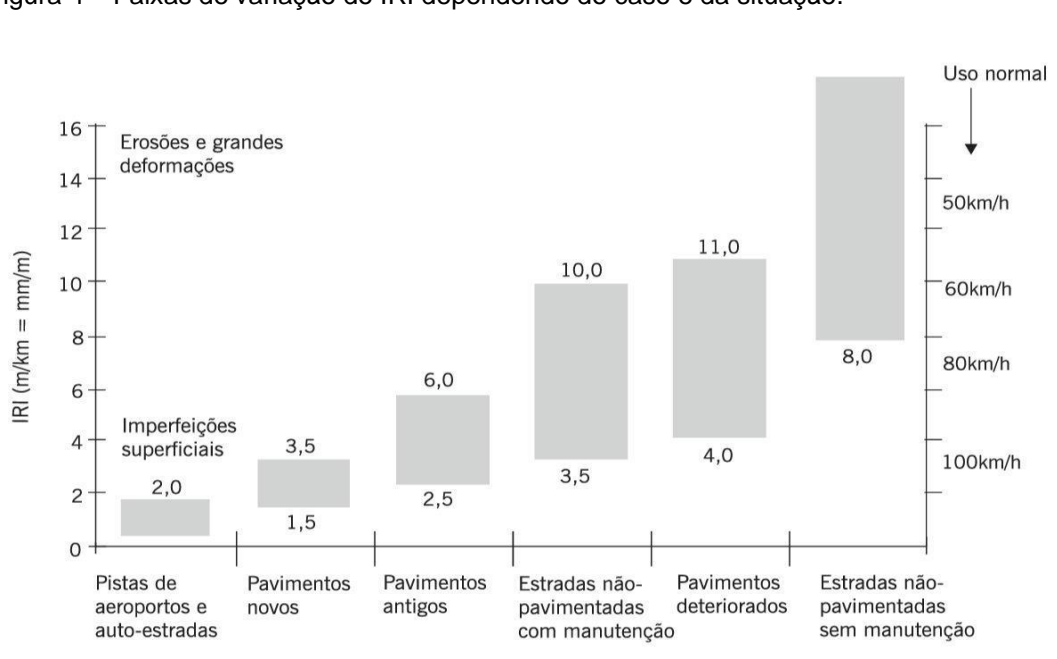
Figura 3 – Interação entre defeitos em rodovias pavimentadas.



Fonte: BRASIL, 2006.

Os defeitos de superfície podem aparecer precocemente (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries), conforme exibidos na Figura 4. Entre os erros ou inadequações que levam à redução da vida de projeto, destacam-se os seguintes fatores, agindo separada ou conjuntamente: erros de projeto; erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais; erros ou inadequações construtivas; erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção. (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Figura 4 – Faixas de variação do IRI dependendo do caso e da situação.



Fonte: Sayers e Karamilhas, 1998.

Os tipos de defeitos catalogados pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

Um estudo realizado pela CNT (2019) aponta casos de pavimentos implantados, projetados para durar cinco anos, que chegam a apresentar problemas de desgaste em menos de sete meses. Mantê-los em perfeito estado é uma garantia de que os motoristas irão trafegar de forma segura, econômica e confortável. Segundo a CNT (2019), em 108.863 Km avaliado em pesquisa, obteve-se os seguintes dados da Figura 5.

Figura 5 – Classificação das qualidades das estradas avaliadas

ESTADO GERAL	EXTENSÃO TOTAL	
	KM	%
Ótimo	12.951	11,9
Bom	31.714	29,1
Regular	37.628	34,6
Ruim	19.039	17,5
Péssimo	7.531	6,9
TOTAL	108.863	100,0

Fonte: CNT (2019).

2.3 Equipamentos medidores de irregularidade longitudinal

O perfil da superfície do pavimento, mais especificamente sua irregularidade, é preocupação de engenheiros rodoviários desde muito tempo. No início do século XX, um engenheiro irlandês, J. Brown, inventou o primeiro equipamento de medição da irregularidade da superfície do pavimento, conhecido como Viagraph. Tratava-se de um aparelho rudimentar, que realizava um registro contínuo em papel com base no desvio medido no ponto central de uma régua de madeira, apoiada e arrastada sobre o pavimento longitudinalmente (Bisconsini, 2016).

O instrumento criado por Brown serviu de base para o desenvolvimento de perfilômetros mais sofisticados até o final da década de 60, alguns destes foram o perfilômetro da *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* e o perfilômetro CHLOE, nomeado a partir das iniciais de seus inventores. Uma variedade ainda maior de aparelhos foram desenvolvidas após a década de 60 (Nikolaides, 2015). Segundo Echeverria (2011), existem diversos tipos de medidores de irregularidade que

podem ser utilizados, os principais aspectos que os diferenciam e influem na escolha de um modelo são o porte do equipamento, que está diretamente relacionado ao custo de aquisição e manutenções, velocidade de aquisição de dados, precisão e mão de obra (Bisconsini, 2016).

Barella (2008) afirma que para a avaliação da irregularidade são quatro o número de equipamentos mais utilizados no Brasil: os medidores tipo-resposta, o método do Nível e Mira, Dipstick e o Merlin.

A irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade. Tem sido empregadas diversas classificações de equipamentos, dependendo do tipo e princípio utilizado para o levantamento. (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Segundo Sayers e Karamihas (1998), tem-se empregado largamente a seguinte classificação - Figura 6

- Avaliação direta: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);

- Avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin etc.).

A avaliação subjetiva da serventia realizada por um painel de avaliadores é classificada por alguns autores e órgãos como classe IV, uma vez que a serventia e a irregularidade se correlacionam. (BERNUCCI *et al.*, 2022).

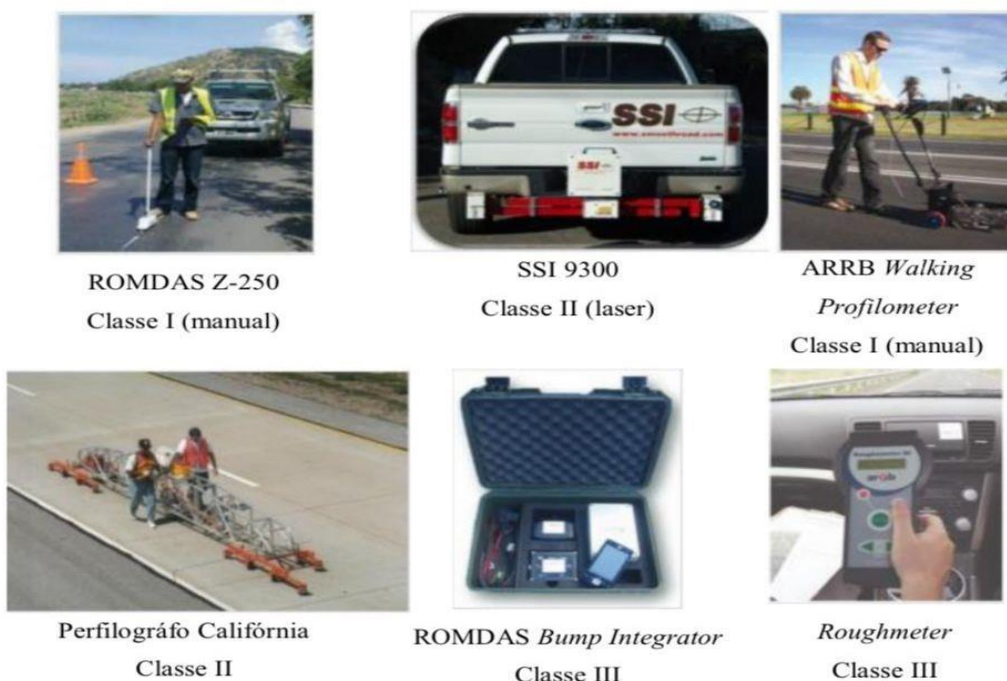
Como classe I, tem-se o levantamento topográfico do perfil longitudinal feito por nível e mira (DNER-ES 173/86). O levantamento longitudinal é feito nas trilhas de roda externa e interna a cada 0,50m, geralmente. Trata-se de método relativamente lento e trabalhoso, sendo empregado para calibração de outros instrumentos de medida de irregularidade de maior rendimento. (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Como classe II, O APL – *analyseur de profil en long* (analisador de perfil longitudinal) francês foi desenvolvido *pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (Laboratório Central de Pontes e Estradas) para medida de

irregularidade. É um equipamento rebocável, podendo ser empregado um único equipamento ou dois paralelos, para o levantamento das irregularidades nas trilhas de roda. O reboque é puxado por um braço muito rígido, com uma roda em contato com a superfície e possui um pêndulo inercial de baixa frequência que serve como referência horizontal. A velocidade de levantamento é de 72km/h; são registrados comprimentos de onda entre 1 e 40m (comprimentos de onda que interferem nos veículos trafegando entre 80 e 130km/h). (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Há uma série de equipamentos tipo-resposta de classe III, muito difundidos e utilizados pela sua praticidade. São sistemas de simples operação e relativamente de baixo custo, com uma unidade sensora/transmissora que registra os movimentos da carroceria do veículo em relação ao eixo traseiro, por meio de um sistema sensível a uma fotocélula, e transmite essas vibrações do movimento a uma unidade de processamento. Um registrador mostra a contagem de movimentos verticais em um trecho de via de determinada extensão (em geral de 80 a 320m). Os registros são de QI (quociente de irregularidade). (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Figura 6 – Exemplos de medidores de IRI.



Fonte: Almeida, 2018.

A Tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens dos equipamentos medidores de IRI de acordo com sua classe.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens das classes de equipamentos medidores de IRI.

Classe	Vantagens	Desvantagens
I e II	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos sofisticados; • Geradores de perfis manuais não são tão caros; • Rápidos, para geradores de perfis automáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Geradores de perfis automáticos são caros para se obter, operar e manter; • Não são frequentemente implementados devido aos custos (automático) e velocidade (manual); • Obtenção dos dados pode ser demorada quando for de alta precisão; • Componentes pesados e necessidade de calibração antes da implantação.
III	<ul style="list-style-type: none"> • Custo relativamente baixo; • Rápido e acurácia moderada; • Alta performance; • Alta adequação entre os instrumentos de medição de irregularidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Envolve alguns custos para desenvolvimento; • Para calibração e configurações iniciais envolve trabalho exaustivo.
IV	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo; • Pode ser implementada regularmente, quando a área de estudo não for grande; • Não precisa de ferramentas ou equipamentos dispendiosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados podem ser imprecisos; • Trabalho intenso com bastante tempo consumido acarretando em baixo rendimento e adequação.

Fonte: Almeida, 2018.

2.4 Smartphones e sensores móveis para estimar a condição do pavimento

Segundo Braúna (2020) o rápido desenvolvimento da tecnologia de sensores móveis, o custo de acelerômetros e outros sensores de medição, como o GPS, estão ficando cada vez mais baixos. Esses sensores, assim como outros, têm se tornado portáteis e foram integrados à maioria dos *smartphones* existentes. Essa nova classe de aparelhos móveis, devido a suas diversas 34 funcionalidades, tornou-se bastante presente em nosso cotidiano.

A tecnologia embutida nos *smarthphones* permite o desenvolvimento de aplicativos que podem adquirir dados do tipo aceleração. Além disso, permite acessar os dados do sensor em tempo real, armazená-los na memória, manipulá-los com a capacidade de processamento do próprio dispositivo e

transmitir os dados para servidores remotos, por meio dos recursos de conectividade do dispositivo (ALESSANDRONI *et al.*, 2014).

Douangphachanh (2014) também reforçam a importância do uso de smartphones para avaliação de irregularidade longitudinal dos pavimentos em países em desenvolvimento, onde o orçamento e a infraestrutura são limitados. Segundo os autores, devido ao custo das abordagens de alta tecnologia, muitos órgãos rodoviários coletam informações com pouca frequência. (BISCONSINI, 2016).

De acordo com Braúna (2020), a aplicação de smartphones na avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser classificada como um sistema de medição do tipo-resposta. Apesar de não funcionar da mesma maneira que um equipamento convencional da classe, acumulando 35 deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo em um único sentido, os smartphones também não medem diretamente o perfil do pavimento como um perfilômetro, mas acelerações verticais com um aparelho fixado no interior do veículo.

Sabendo dos problemas causados pela irregularidade longitudinal nos pavimentos e que, para se obter informações de um perfil longitudinal existe um alto custo financeiro (equipamentos modernos) e de tempo (equipamentos/métodos tradicionais), é importante que a mensuração desse defeito seja feita de forma correta. Com o advento das novas tecnologias, novos equipamentos estão sendo utilizados para obtenção da irregularidade longitudinal. Sabe-se que já existem vários métodos de medição e, também, que existem diferenças entre os resultados desses métodos, principalmente no que diz respeito à acurácia e à conveniência (TOMIYAMA *et al.*, 2012).

De acordo com Douangphachanh (2014), apesar desses aplicativos serem inovadores e promissores, ainda existem algumas limitações para utilização. As principais são: a) muitos aplicativos estão buscando apenas identificar e localizar buracos, assim como classificá-los quanto à sua degradação. No entanto, poucos estão sendo desenvolvidos para avaliar a condição funcional dos pavimentos; b) para grande parte dos aplicativos, o smartphone precisa ser fixado com um suporte especial no para-brisas de um veículo; c) calibrações repetitivas precisam ser realizadas antes da utilização para fornecer valores condizentes com a condição funcional da via.

Bisconsini (2016) afirma que, se o interesse é aplicar diretamente os valores de IRI, o cálculo deve incluir a modelagem do veículo ou assistência de outros sensores de medição de distância para remover a influência da resposta ao veículo no perfil do pavimento medido e que, mesmo que a ordem de grandeza dos resultados seja semelhante, a abordagem de um equipamento do tipo resposta não equivale a de um perfilômetro, pelo menos quantitativamente.

De acordo com Braúna (2020), aplicação de smartphones na avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser classificada como um sistema de medição do tipo-resposta. Apesar de não funcionar da mesma maneira que um equipamento convencional da classe, acumulando 35 deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo em um único sentido, os smartphones também não medem diretamente o perfil do pavimento como um perfilômetro, mas acelerações verticais com um aparelho fixado no interior do veículo. Os sinais captados têm correlação com o IRI, e este último é altamente relacionado à avaliação funcional dos pavimentos.

Bisconsini (2016) afirma que um intervalo grande na coleta de dados dificulta a identificação de defeitos, que podem evoluir rapidamente em função da própria irregularidade longitudinal dos pavimentos. O autor ressalta que uma realimentação constante do índice de irregularidade em um sistema de gerência de pavimentos permite a previsão dos prejuízos causados aos usuários, especialmente em termos de custos operacionais dos veículos, sendo mais uma razão na tomada de decisão de uma malha rodoviária, isto é, na escolha da estratégia mais adequada.

2.5 Processamento de dados fornecidos por smartphones

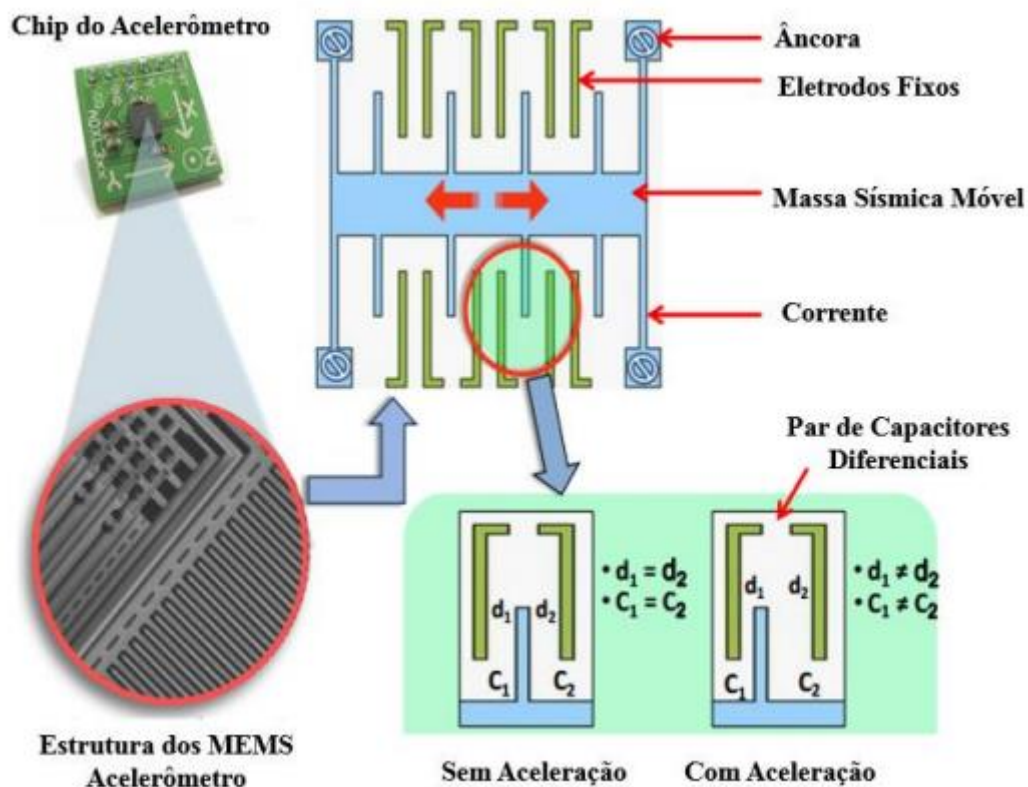
O avanço tecnológico dos equipamentos celulares originou um embarque de ferramentas complexas que otimizaram as mais variadas ações.

De acordo com Magalhães (2019), os celulares se tornaram ferramenta com capacidade de informação e processamento. A tecnologia embarcada neles, tais como sensores úteis, GPS (sistema de posicionamento global), microfones, câmeras de vídeo e acelerômetros triaxiais. O acelerômetro 3D ou de 3 eixos é um dos sensores mais importantes de um

smartphone. Um acelerômetro pode medir a aceleração em m/s^2 ao longo de cada eixo (x, y e z).

Com o avanço se tornou possível por meio desses componentes, expandindo a aplicação de *smartphones* em diversas áreas. Na avaliação da irregularidade dos pavimentos, um fator que podem vir a afetar a obtenção do índice de irregularidade através de acelerações verticais é a aceleração na velocidade do veículo. A frequência dos desvios verticais muda para diferentes velocidades, o mesmo pode ser dito para os valores de pico das acelerações (Figura 7). A diferença entre essa variação de frequência e os picos de aceleração devem ser compensados para que uma estimativa significativa de irregularidade possa ser fornecida para uma ampla faixa de velocidades (BISCONSINI, 2016).

Figura 7 – Estrutura de um acelerômetro instalada em *smartphone*



Fonte: BISCONSINI, 2016.

De acordo com Silva *et al.*, (2015), fatores podem alterar os sinais de aceleração, os mesmos podem estar sujeitos a “ruídos”, erros aleatórios ocasionados pelo próprio sensor ou outros dispositivos eletrônicos, que acabam por afetar o sinal de saída. Esses ruídos podem ser ocasionados, por

exemplo, por movimentos ressoantes do suporte do aparelho móvel para o smartphone, pelo ronco do motor, curvas horizontais e verticais, em freadas ou na troca de marchas. Por essa razão, as condições adotadas para aquisição de dados, como o trecho escolhido e o veículo utilizado, devem ser adequados para que estes erros possam ser minimizados.

Segundo Muliterno et al. (2019), investigar o potencial de smartphones para a mensuração da irregularidade longitudinal dos pavimentos é uma importante linha de pesquisa, tendo em vista que, embora haja um número crescente de trabalhos acerca do tema, ainda restam dúvidas sobre a qualidade e a forma de aplicação dos sinais obtidos por esta metodologia. Como exemplo de aplicativos para smartphones podem ser citados o Roadroid desenvolvido por Forslof e Jones (2013) e o SmartIRI desenvolvido por Almeida (2018).

2.6 Pesquisas relacionadas a utilização de smartphones e sensores móveis para estimar a condição do pavimento

Segundo Douangphachanh (2014), na literatura acadêmica não existem muitos estudos que exploram diretamente o uso do *smartphone* para estimar o IRI. Estudos anteriores mostram que há bastante interesse nos estudos para detecção de buracos ou panelas utilizando sensores móveis, a maioria busca identificar e localizar essas anomalias em vez de estimar a real condição do pavimento, particularmente em termos de IRI.

Existem uma variedade de aplicativos (Figura 8), 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 que funciona de maneira análoga ao *StreetBump*. Um aplicativo desenvolvido para estimar a condição funcional do pavimento baseado em dados do acelerômetro do *smartphone* é o *Roadlab*. Este aplicativo, diferentemente dos demais citados, busca estimar a condição da via a partir de

dados do acelerômetro utilizando valores de *Root Mean Square* (Raiz da Média Quadrática – RMS).

Figura 8 – Exemplos de aplicativos



Fonte: Douangphachanh (2014).

De acordo com Douangphachanh (2014), apesar desses aplicativos serem inovadores e promissores, ainda existem algumas limitações para utilização. As principais são: a) muitos aplicativos estão buscando apenas identificar e localizar buracos, assim como classificá-los quanto à sua degradação. No entanto, poucos estão sendo desenvolvidos para avaliar a condição funcional dos pavimentos; b) para grande parte dos aplicativos, o smartphone precisa ser fixado com um suporte especial no para-brisas de um veículo; c) calibrações repetitivas precisam ser realizadas antes da utilização para fornecer valores condizentes com a condição funcional da via.

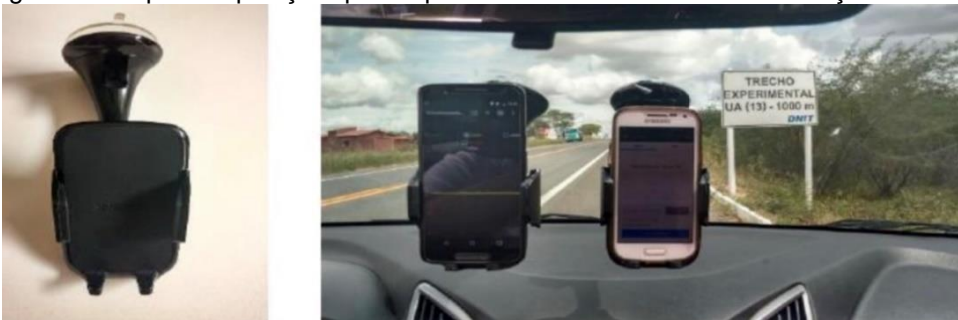
2.7 O SmartIRI

Desenvolvido por ALMEIDA (2018), e utilizado no presente trabalho para a obtenção dos valores de IRI das duas rodovias em estudo. Os aplicativos precisam de uma prévia calibração por correlação para cada veículo, aparelho e velocidade operacional (DUARTE, 2018). Feita a calibração, o celular 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 de 60 a 80 km/h é atingida, pois segundo Bisconsini (2016) para velocidade muito baixas os pneus

absorvem pequenas saliências, fenômeno conhecido como envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, além disso para menores velocidades o veículo não apresenta resposta para irregularidades com grandes comprimentos de onda, o nível de irregularidade pode ser então reduzido.

Ainda segundo Bisconsini (2016), o ruído produzido pelos *smartphones* tem maior efeito em velocidades menores, pois sua amplitude se aproxima do sinal de aceleração vertical medido, diminuindo sua relação com a irregularidade real do pavimento. Para mitigar os efeitos dos ruídos Forslof e Jones (2013) recomenda o suporte Vehicle Dock, da marca *Samsung* ilustrado na Figura 9, pois dentre os modelos de suporte para smartphone, este foi o que proporcionou as menores taxas de vibração do aparelho.

Figura 9 – Suporte e posição que o aparelho deve ficar durante a avaliação.



Fonte: Almeida (2018).

O próprio aplicativo faz o processamento dos dados de aceleração vertical e calcula o RMSVA a cada 100 metros percorridos, informando também as coordenadas geográficas do 36 respectivo trecho de 100 metros, afim de georreferenciar o trecho. Esses dados coletados foram implementados em um modelo desenvolvido por Almeida (2018) a partir de dados obtidos em Bisconsini (2016) com objetivo de determinar o valor de IRI, através de uma correlação com o RMSVA. Esses dados podem ser analisados no próprio smartphone ou realizando o upload dos arquivos gerados para se realizar uma análise mais detalhada. (DUARTE, 2018).

Além de RMSVA e coordenadas geográficas, outras informações foram inseridas na coleta de dados, tais como hora da avaliação, velocidade média e distância percorrida. A Figura 10 apresenta uma captura da tela do SmartIRI, com os dados coletados durante uma avaliação. (DUARTE, 2018).

Figura 10 – Arquivo com os dados coletados pelo SmartIRI

HORA	VEL. MEDIA	CLASSIFICACAO	LAT_INICIO	LNG_INICIO	LAT_FINAL	LNG_FINAL	DISTANCIA	RMS	IRI
8:51:22	54.86	BOM	-3.784120301	-38.5189661	-3.783941584	-38.51991746	107	0.868	3.529
8:51:30	55.05	BOM	-3.78391547	-38.52005433	-3.783760301	-38.52086638	107	0.771	3.177
8:51:37	52.53	BOM	-3.783735194	-38.52099528	-3.783588915	-38.5217687	102	0.703	3.013
8:51:44	53.85	BOM	-3.783564153	-38.52189937	-3.783411209	-38.52269403	104	0.721	3.046
8:51:51	56.55	BOM	-3.783385094	-38.52283191	-3.783218094	-38.5236689	110	0.631	2.849
8:51:58	57.38	BOM	-3.783191182	-38.52381193	-3.783033829	-38.52465547	111	0.722	2.939
8:52:05	57.02	BOM	-3.783009438	-38.52479309	-3.782868223	-38.52564886	110	0.567	2.419
8:52:12	58.59	BOM	-3.78298496	-38.52579458	-3.78323192	-38.52663582	113	0.717	2.887
8:52:19	55.94	BOM	-3.783292751	-38.52676449	-3.783669331	-38.52750534	108	0.805	3.266
8:52:26	55.25	REGULAR	-3.783726719	-38.5278298	-3.783883211	-38.52841731	107	1.028	4.068

Fonte: Almeida (2018).

Na fase de desenvolvimento inicial do aplicativo, optou-se por não discretizar os valores de IRI a cada 100 m, e sim, calcular o IRI médio dos trechos estudados sem segmentá-los. A escolha em segmentar os trechos a cada 100 metros foi feita para facilitar a visualização de segmentos principalmente quando possuem características distintas de superfície em um curto espaço (ALMEIDA, 2018).

3 MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo serão abordados aspectos relativos a localização do estudo de caso situado na Rodovia CE-401. Além de detalhar como foi executado o processo de levantamento por meio do aplicativo SmartIRI e a organização dos dados em planilha eletrônica para a respectiva análise. Esta pesquisa é de natureza quali-quantitativa.

A Figura 11 apresenta o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 11 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: acervo do Autor, 2022.

3.1 Localização do trecho analisado em estudo

A seguir será especificado o trecho que será objeto de estudo para o levantamento a partir do aplicativo SmartIRI.

A CE-401, denominada de Av. Senador Carlos Jereissati é uma

Rodovia Estadual sob gestão da Superintendência de Obras Públicas. Popularmente conhecida como Av. do Aeroporto, com localização no município de Fortaleza, no Estado do Ceará. Possui, aproximadamente, 4,3 km de extensão, ligando os bairros do Montese e Aerolândia, nas proximidades da Rodovia BR-116, contornando o Aeroporto Internacional Pinto Martins, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Rodovia CE-401.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Segundo Ceará (2017), a Rodovia CE-401 foi construída entre os anos de 1997 e 1998. Possuindo duas pistas de rolamento, com 3 faixas de tráfego em cada sentido. Seu revestimento é em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ).

Para o estudo, o levantamento será feito em todas as 6 faixas de tráfego, por toda a extensão da via.

3.2 Levantamento de dados

O levantamento foi realizado em todas as faixas de tráfego, para identificar qual faixa apresenta mais irregularidade longitudinal, além de possibilitar a comparação de resultados de trabalhos prévios (Duarte, 2018; Lira, 2020).

O veículo utilizado para a coleta de campo foi da marca *Hyundai*, modelo HB20, motor 1.0, ano 2016, pneus calibrados com 32 *psi*. O *smartphone* utilizado foi o *Galaxy A-31* da marca *Samsung*. O levantamento foi realizado em boas condições climáticas, no dia 17 de abril de 2022, entre as 13:00 e 15:00, com uma velocidade constante média de 58 km/h.

A Figura 13 apresenta o trecho total na qual foi realizado o levantamento. Dividido em dois sentidos, na qual o sentido 1 representa o sentido Montese-BR 116 e o sentido 2 BR116- Montese.

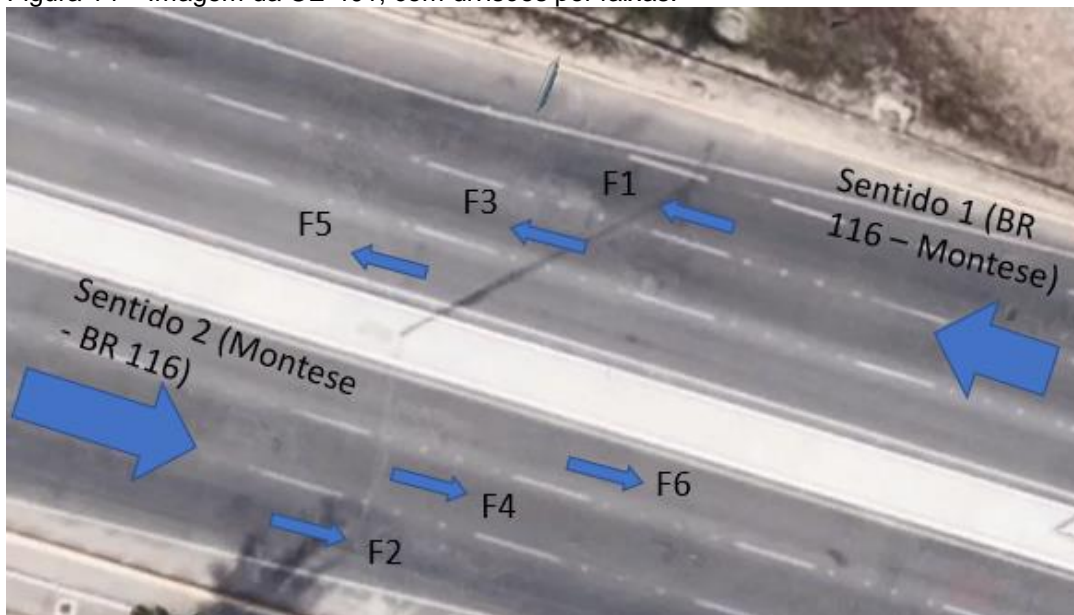
Figura 13 – Imagem da CE-401 levantado.



Fonte: adaptado de Google Earth, 2022.

Para um melhor entendimento da análise comparativa dos dados levantados, as faixas de tráfego foram numeradas conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Imagem da CE-401, com divisões por faixas.



Fonte: adaptado de Google Earth, 2022.

A numeração obedece a sequência em que foi realizado o levantamento no trecho. O levantamento do trecho começou na F1 que fica na pista de Sentido 1, quando foi finalizado o levantamento do trecho por esta faixa de tráfego, o veículo retornou ao trecho avaliado pela pista de Sentido 2 e começava o levantamento na F2. Assim, foi realizado o levantamento nas 6 faixas de tráfego do trecho de 4,1 km da Rodovia CE-401.

Observa-se que as faixas de tráfego de numeração ímpar estão na pista de Sentido 1 e as de numeração par estão na pista de Sentido 2, as faixas de tráfego de menor numeração (F1 e F2) estão próximas ao acostamento (faixas da direita), as de maior numeração (F5 e F6) estão próximas ao canteiro central (faixas da esquerda) e as de numeração intermediária (F3 e F4) são as faixas centrais. Finalizado o levantamento do trecho em cada faixa de trânsito, era gerado pelo SmartIRI uma planilha de dados. Como no exemplo da Figura 15, a qual ilustra uma tela extraída do aplicativo SmartIRI, que apresenta uma planilha contendo os dados obtidos no levantamento na faixa F3 é apresentada.

Figura 15 – Dados fornecidos pelo SmartIRI na faixa 3 (F3).

HORA	VEL. MÉDIA	CLAS.	LAT. INICIAL	LNG. INICIAL	LAT. FINAL	LNG. FINAL	DIST.	IRI
14-22-45	52,5	BOM	-3,7810057	-38,5109685	-3,7807524	-38,5108873	29	2,48
14-22-47	53,5	BOM	-3,7807524	-38,5108873	-3,7804942	-38,5108041	30	2,70
14-22-49	53,5	BOM	-3,7804942	-38,5108041	-3,7802321	-38,5107203	30	2,65
14-22-51	52,5	BOM	-3,7802321	-38,5107203	-3,7899779	-38,5106362	29	2,67
14-22-53	52	BOM	-3,7899779	-38,5106362	-3,7897292	-38,5105549	28	2,59
14-22-55	53	BOM	-3,7797292	-38,5105549	-3,789475	-38,5104733	29	2,65
14-22-57	53,5	BOM	-3,779475	-38,5104733	-3,7792198	-38,5103913	29	2,70
14-22-59	54,5	BOM	-3,7792198	-38,5103913	-3,7789583	-38,5103078	30	2,72
14-23-01	58	BOM	-3,7789583	-38,5103078	-3,7786814	-38,5102205	32	2,50
14-23-03	60	BOM	-3,7786814	-38,5102205	-3,7783923	-38,5101293	33	2,46
14-23-05	59,5	BOM	-3,7783923	-38,501293	-3,7781019	-38,5100345	33	2,48
14-23-07	56,5	BOM	-3,7781019	-38,5100345	-3,7778236	-38,5099427	32	2,41
14-23-09	57,5	BOM	-3,7778236	-38,5099427	-3,7775498	-38,5098541	31	2,62
14-23-11	57,5	BOM	-3,7775498	-38,5098541	-3,7772716	-38,5097656	32	2,64
14-23-13	56,5	BOM	-3,7772716	-38,5097656	-3,7769941	-38,509675	32	2,44
14-23-15	52,5	BOM	-3,7769941	-38,509675	-3,7767383	-38,5095852	30	2,48

Fonte: Adaptado de SmartIRI, 2022.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

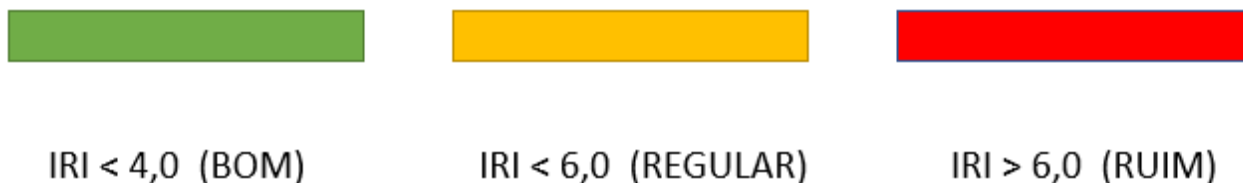
Neste capítulo serão abordados os dados obtidos no levantamento realizado pelo autor, em comparação com as curvas obtidas em trabalhos anteriores no mesmo trecho em estudo.

4.1 Análise comparativa dos valores de IRI coletados

Com o intuito de comparar as variações da irregularidade longitudinal do pavimento, foram analisados os levantamentos realizados nos anos de 2018, 2020 e 2022 coletados com o aplicativo SmartIRI. Inicialmente, são analisados os dados obtidos no Sentido (BR 116- Montese).

Para melhor entendimento de todas as curvas, foram postas linhas que classificam os trechos como bom, regular e ruim, conforme a Figura 17.

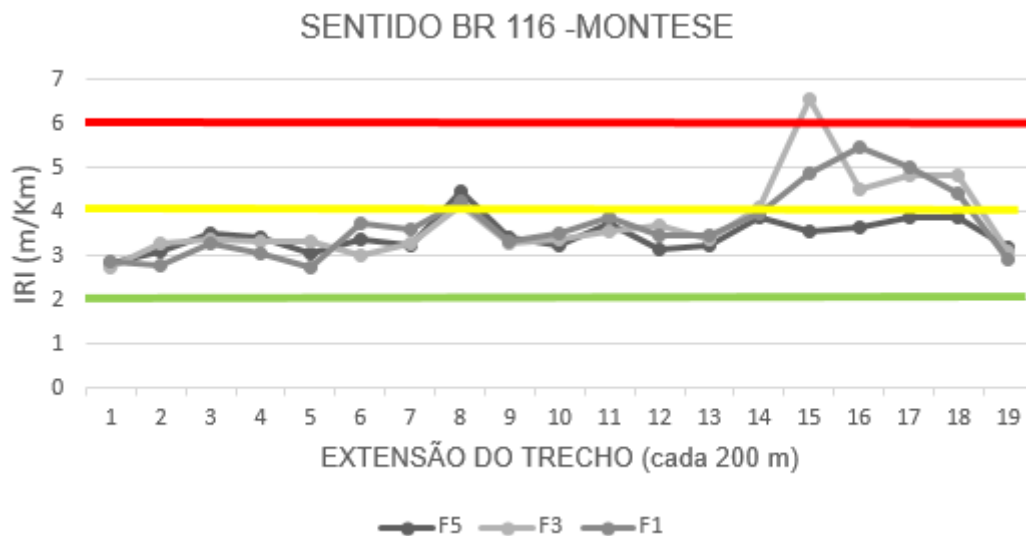
Figura 16 – Barra de classificação do IRI



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Os valores de IRI são apresentados em ordem cronológica, iniciando com os dados obtidos por Duarte (2018), conforme indicado na Figura 17.

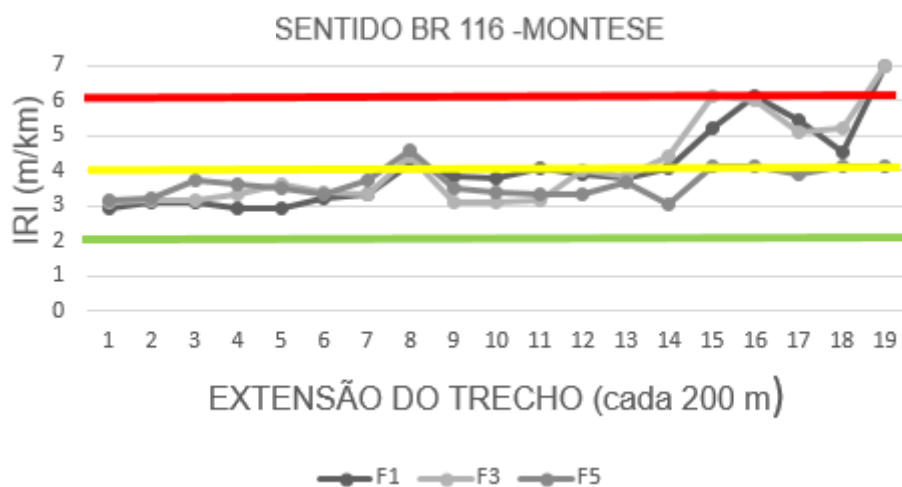
Figura 17 – Dados de 2018 no Sentido 1 (BR - Montese).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Para os valores de IRI observados na Figura 17, é possível observar boa parte, cerca de 2.800 metros da rodovia sendo classificada com o IRI bom (maior que 4 e menor que 6 m/km), mas que nos últimos mil metros, tem-se uma passagem na classificação, se enquadrando como regular. Para fim de comparação, a Figura 18 apresenta os dados obtidos por Lira (2020). Em termos percentuais, temos 67% da via classificada como Bom, 32% classificada como regular e 1% classificada como ruim. Em geral, esses valores apresentam uma via com qualidade reduzida.

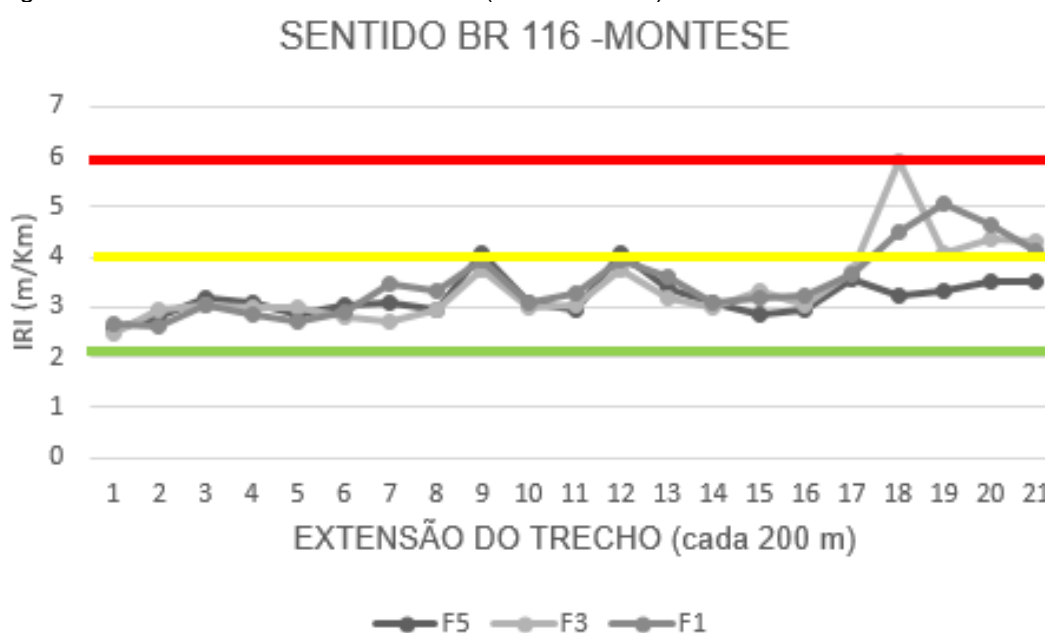
Figura 18 – Dados de 2020 no Sentido 1 (BR - Montese).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Em comparação com a Figura 17, percebe-se na maioria da extensão da rodovia, uma semelhança no resultado do IRI, e no final da rodovia, cerca de 1000 metros finais, uma mudança na classificação, passando a ser considerada regular. Com o intuito de comparar dados obtidos com o intervalo de 2 anos, a Figura 19 apresenta dados obtidos em 2022. Em dados percentuais, temos uma melhora de 10% no trecho, na qual em sua totalidade, 77% é classificada como boa. Em contrapartida, temos 21% do trecho classificado como regular e 2% classificado como ruim.

Figura 19 – Dados de 2022 no Sentido 1 (BR - Montese).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

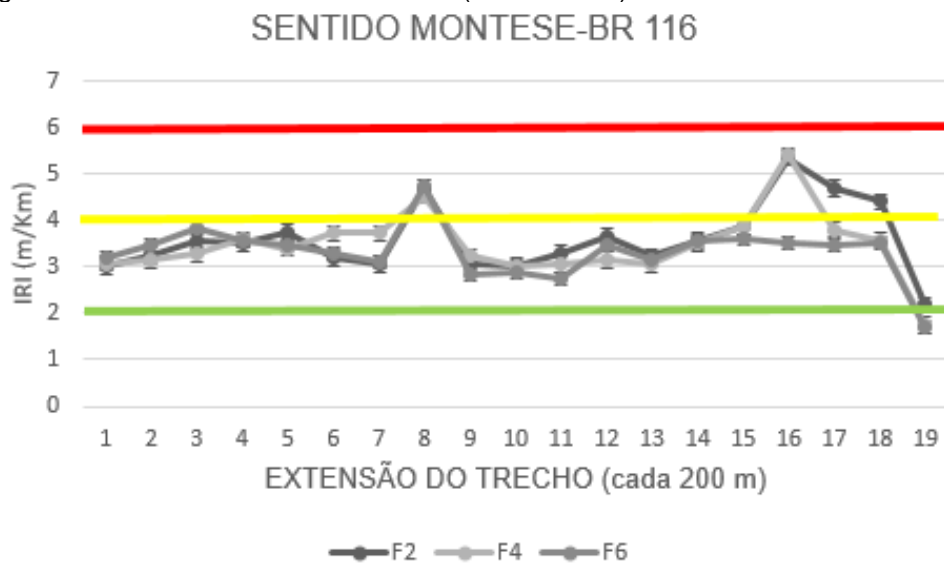
Nas três curvas apresentados, é possível perceber uma certa semelhança na classificação dos dados. Nas três curvas, observa-se que as pistas F1, F3 e F5 apresentam uma diferença notável de IRI ao longo do último quilômetro da via. Um dos pontos que fazem com que isso aconteça, é o fato da faixa F- 5 ser uma faixa denominada como rápida, e nela circulam os veículos com velocidades maiores. e caminhões. Fazendo com que as faixas F-1 e F-3 apresentem maiores valores de IRI em relação da faixa F-5 (via de tráfego rápido).

As três curvas apresentam um aumento do IRI nos últimos mil metros, com um pouco de melhora em 2022, devido uma recente reforma em toda a via, mas que mesmo assim, se encontra no limite de classificação para ruim, ou seja,

é um trecho que precisa passar periodicamente por reparos.

Em termos percentuais, tivemos uma melhora na curva do ano de 2022, na qual 86% do trecho passa a ser classificado como bom e os outros 14 % classificado como regular. Em sentido oposto, tem-se o sentido 2, que representa o sentido Montese-BR, compostos pelas faixas de tráfego F-2, F-4 e F-6. A Figura 20 apresenta dados de 2018, obtidos por Duarte.

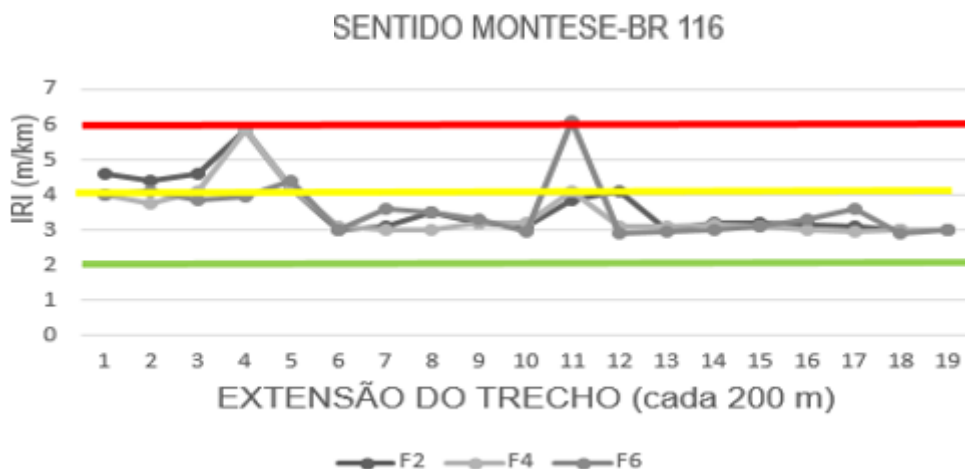
Figura 20 – Dados de 2018 no Sentido 2 (Montese-BR).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Para os dados obtidos na figura 20, é possível observar boa parte da rodovia sendo classificada com o IRI bom (maior que 4 e menor que 6 m/km), mas que nos últimos 800 metros, temos uma passagem na classificação, se encaixando como regular. Para fim de comparação, a figura 20 apresenta os dados obtidos por Lira (2020). Em termos percentuais, temos 73% da via classificada como Bom, 27% classificada como regular.

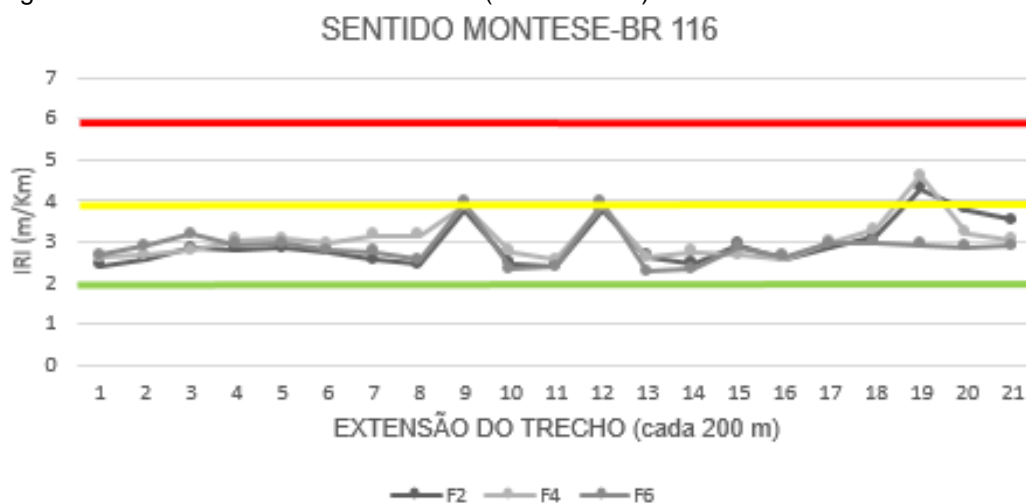
Figura 21 – Dados de 2020 no Sentido 2 (Montese-BR).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Em comparação com a figura 20, percebe-se o contrário dos dados de 2018, em que o início apresentava boas condições e no final um aumento do IRI, já no dado de 2020, verifica-se uma classificação regular da rodovia, e a partir dos primeiros 1.200 metros, temos uma redução desse IRI. Com o intuito de comparar dados obtidos com o intervalo de 2 anos, a Figura 22 apresenta dados obtidos em 2022. Em dados percentuais, temos uma melhora de 3% no trecho, na qual em sua totalidade, 76% é classificada como boa. Em contrapartida, temos 23% do trecho classificado como regular e 1% classificado como ruim.

Figura 22 – Dados de 2022 no Sentido 2 (Montese-BR).



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Ao analisar as 3 curvas do Sentido 2, percebe-se uma certa melhoria,

como na figura 22, do levantamento de 2022, observa-se que a via se classifica em maior parte de sua totalidade com boa, com exceção de dois trechos de 200 metros. Em comparação ao gráfico de 2020, em que se observava a via como classificação ruim, teve uma melhoria. Em termos percentuais, tivemos uma melhora significativa, na qual na curva do ano de 2022, temos 96% do trecho classificado como bom, e apenas 4% classificado como regular.

4.2 Análise estatística descritiva

Neste tópico foi realizada a análise estatística descritiva dos valores de IRI para os dois sentidos da pista de rolamento para as seis faixas pros anos 2018, 2020 e 2022. A Tabela 2 apresenta as médias, os valores de desvio padrão e coeficiente de variação do IRI dos três anos analisados em ambos sentidos.

Tabela 2 – Média do IRI por faixa e ano.

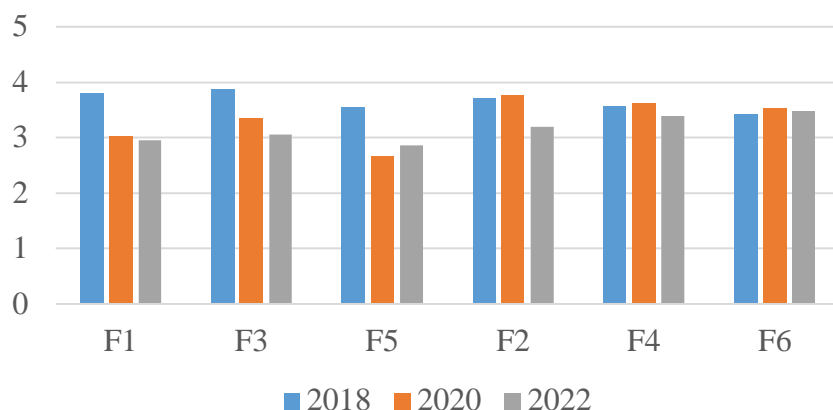
Faixas	F1	F3	F5	F2	F4	F6
2018	3,8	3,87	3,55	3,71	3,57	3,42
2020	3,03	3,35	2,68	3,76	3,62	3,53
2022	2,95	3,06	2,86	3,19	3,39	3,47

Fonte: acervo do Autor, 2022.

No Sentido 1, observa-se uma queda progressiva no valor da média do IRI comparada aos levantamentos de 2018 e 2020. Em 2020 houve uma queda, comparado com o ano de 2018, e em 2022 houve uma redução comparado ao trabalho realizado em 2020. A faixa F5, foi a única que apresentou um pequeno aumento na média do IRI comparado ao trabalho anterior, que passou de 2,68 para 2,86 m/km. Com isso, pode-se observar que com as manutenções realizadas no ano de 2022, percebe-se uma melhora nos valores do IRI.

Essa redução mencionada acima, pode ser observada na Figura 23, que relaciona em forma de barras, as medias do IRI dos 3 anos em estudo.

Figura 23 - Gráfico de barra com as médias do IRI.



Fonte: acervo do Autor, 2022.

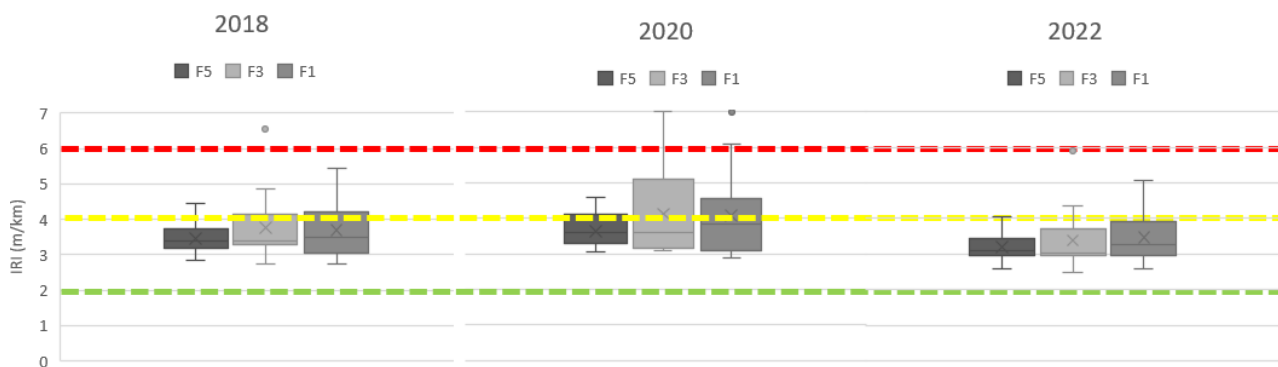
Com base na Figura 23, percebe-se que todas as médias do IRI, estão abaixo de 4, o que classifica a rodovia como boa. E levando em consideração o ano de 2022, percebe-se claramente uma melhoria.

Na Tabela 9 estão dispostos os valores da média do IRI, desvio padrão e

coeficiente de variação dos dois sentidos analisados. Observa-se um alto valor do coeficiente de variação, possivelmente devido ao trecho final do Sentido 1 e inicial do Sentido 2 que possuem altos valores de irregularidade longitudinal.

As Figuras 24 e 25 apresentam imagens de gráficos elaborados no estilo de BoxPlot. Para a análise dos gráficos, é necessário entender os significados de cada informação neles obtida. Os valores do IRI são representados através das caixas e quanto maior for comprimento da caixa, maior será a variação do IRI. As médias são representadas pelo símbolo de adição inseridas nas caixas. Os asteriscos, outliers, são pontos fora da curva, ou seja, a presença deles tratando de irregularidade longitudinal indica a presença de altos valores de IRI, o que pode indicar a presença de defeitos de alta severidade no pavimento.

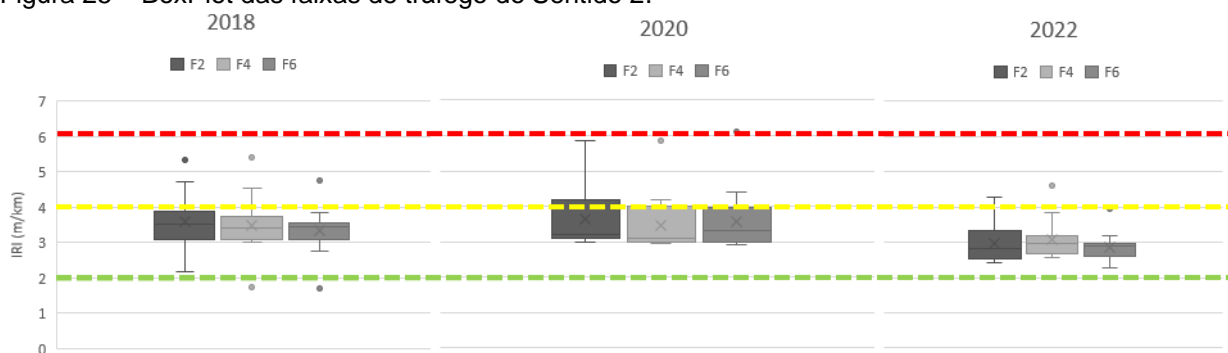
Figura 24 – BoxPlot das faixas de tráfego do Sentido 1.



Fonte: acervo do Autor, 2022

Nota-se na Figura 24, que os valores das médias possuem alteração nos anos de 2018, 2020 e 2022. Entretanto, no ano de 2020, houve uma alteração maior. Deve-se observar, que, a faixa F5 dos três anos, tanto variação na média como o próprio valor de IRI é mais baixo, possivelmente por ser faixa de tráfego para veículos leves. Ao comparar os três anos, nota-se que no ano de 2022 tanto a variação do IRI como a média reduziram, o que indica que houve manutenção do trecho, verificada em campo pela presença de remendos.

Figura 25 – BoxPlot das faixas de tráfego do Sentido 2.



Fonte: acervo do Autor, 2022.

Nota-se na Figura 25, que os valores das médias de 2018 e 2022 não sofreram alterações significativas. No entanto, deve-se observar, que, a faixa F2 no ano de 2020 possui uma variação maior nos valores de IRI. Possivelmente por ser uma faixa de tráfego para veículos pesados tendendo a ser a mais solicitada e, conseqüentemente, o valor de IRI tende a aumentar.

Na Tabela 3 estão dispostos os valores da média do IRI, desvio padrão e coeficiente de variação dos dois sentidos analisados. Observa-se um

alto valor do coeficiente de variação, possivelmente devido ao trecho final do Sentido 1 e inicial do Sentido 2 que possuem altos valores de irregularidade longitudinal.

Tabela 3 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos anos de 2018,2020 e 2022.

2018						
	Sentido 1			Sentido 2		
Faixas	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	3,8	3,87	3,55	3,71	3,57	3,42
Desvio padrão (m/km)	0,88	1,03	0,7	0,81	0,68	0,72
CV (%)	23,18	26,56	19,58	21,9	18,98	21,18
2020						
	Sentido 1			Sentido 2		
Faixas	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	3,03	3,35	2,68	3,76	3,62	3,53
Desvio padrão (m/km)	0,61	0,73	0,47	0,83	0,74	0,81
CV (%)	27,72	21,84	17,37	22,09	20,28	23,01
2022						
	Sentido 1			Sentido 2		
Faixas	F1	F3	F5	F2	F4	F6
Média (m/km)	2,95	3,06	2,86	3,19	3,39	3,47
Desvio padrão (m/km)	0,55	0,51	0,44	0,38	0,38	0,68
CV (%)	18,68	16,72	15,25	11,84	11,84	19,65

Fonte: acervo do Autor, 2022.

A Figura 26 apresenta o mesmo trecho nos 3 anos de levantamento realizado, apresentando de forma visível a melhora do trecho no ano de 2022.

Figura 26 – Imagem do trecho da CE 401 nos anos de 2018, 2020 e 2022.

SENTIDO 1



Duarte, 2018



Lira, 2020



Acervo do Autor, 2022

SENTIDO 2



Duarte, 2018



Lira, 2020



Acervo do Autor, 2022

Fonte: acervo do Autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

A agilidade oferecida no uso de aplicativos para *smartphones* facilita as atividades de avaliação funcional dos pavimentos para verificação do conforto ao rolamento dos veículos e está adjunta aos benefícios em potencial que o sistema pode oferecer, uma vez que órgãos rodoviários, principalmente em países em desenvolvimento, geralmente precisam conviver com limitações orçamentárias. Nesse cenário, reduz-se a frequência de monitoramento da infraestrutura viária, prejudicando o processo de tomada de decisão em sistemas de gerência de pavimentos.

Para o Sentido 1, no ano de 2020, os resultados apresentaram comportamento semelhante a análise de 2018, isto é, classificação boa, exceto no trecho final, que o IRI ultrapassa, nas três faixas, o valor maior que 6,00 m/km, evidenciando más condições de trafegabilidade, e sendo classificado como ruim. Somando-se a esses dados, têm-se os resultados obtidos em 2022, que apresentaram um comportamento melhor quando comparado aos outros anos. Os resultados mantiveram-se no intervalo de IRI de 2 m/km e menor que 4 m/km, sendo este classificado como bom pelo aplicativo e significando que o pavimento está em boas condições de rolamento.

Para o Sentido 2, no ano de 2020, o comportamento também foi semelhante ao evidenciado em 2018, porém, com uma pequena redução nos valores de IRI no final do trecho. As faixas F2 e F6 obtiveram um decréscimo do valor de IRI no intervalo de 1.200 a 2.200 m, redução de 4,5 m/km para 3,5 m/km, saindo da iminência de uma classificação regular para boa. Na extensão de 2.500 m, na faixa F2 o IRI diminuiu de 5,95 m/km para 4,59 m/km, resultando ainda, na classificação regular. A faixa F6 aumentou o IRI de 6,70 m/km para 7,10 m/km, ou seja, a condição do pavimento nessa faixa continua com a classificação ruim. Já no ano de 2022, obteve-se a maioria do trecho entre 2,0 e 4,0, sendo classificado como bom.

Diante disso, conclui-se que os altos valores de IRI, em determinados trechos da avenida estudada, foram devido à presença de defeitos do tipo couro de jacaré, remendos e panelas. Tais implicações decorreram do intenso fluxo de veículos pesados nas faixas externas (F1 e F2) e devido ao início e final do encontro do pavimento com obra de arte especial. Verificou-se, também, por

meio de inspeção visual que atividades de manutenção foram realizadas principalmente no final do trecho para o Sentido 1, e, dessa forma, contribuiu para o decréscimo do valor do IRI.

Por fim, vale ressaltar que a utilização de novas tecnologias não impede o uso de outros métodos considerados tradicionais. A intenção dessa utilização é auxiliar os órgãos rodoviários na identificação, mensuração e detecção de trechos críticos que necessitam de intervenção, facilitando o processo de tomada de decisão e alocando de modo mais viável os recursos e tempo disponível.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias**. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

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

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. 2008. 362f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte). Universidade de São Paulo, 2008.

BENEVIDES, S. A. S. **Modelos de desempenho de pavimentos asfálticos para um sistema de gestão de rodovias estaduais do Ceará**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras. Abeda, Rio de Janeiro, RJ, 2022.

BISCONSINI, D. R. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.

BRAÚNA. Yan Mateus. **Estudo sobre o uso de smartphones na estimativa do índice de irregularidade longitudinal dos pavimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de

Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

CEARÁ. Departamento Estadual de Rodovias. **Informativo gerencial** 2017. Fortaleza, 2017.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, 2019.

DE SOUZA, Priscilla Miguel. **PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA A CIDADE DO**. 2015.

Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manuais Técnicos**. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006.

DUARTE, R. I. M. **Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego na rodovia ce-401 obtida por aplicativo para smartphones**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.

DOUANGPHACHANH, V. **The Development of a Simple Method for Network-wide Road Surface Roughness Condition Estimation and Monitoring Using Smartphone Sensors**. 2014. Tese de Doutorado, Tokyo Metropolitan University.

Tokyo, Japão, 2014.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta. Norma rodoviária. DNER-ES 173/86. Espírito Santo, 1986.

ECHEVERRIA, J. A. S. **Avaliação do efeito de restaurações com fresagem e recapeamento nas condições funcional e estrutural de pavimentos com volume de tráfego médio.** 2011. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 157p.

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

GOOGLE EARTH. **[CE-401, Fortaleza – CE].** [2021]. Disponível em:<<https://goo.gl/WPFc7c>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

55

GOOGLE MAPS. **[CE-401, Fortaleza – CE].** [2021]. Disponível em: <<https://goo.gl/WPFc7c>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

LIRA. Ellen Bastos. **ANÁLISE DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL POR FAIXAS DE TRÁFEGO ATRAVÉS DE APLICATIVO PARA SMARTPHONE.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Unichristus. Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.

NIKOLAIDES, A. Highway engineering: pavements, materials and control of quality. Boca Raton: Taylor & Francis Group; CRC Press. 2015.

MAGALHÃES, F. H. M. **Procedimentos para estimar a irregularidade longitudinal do pavimento por meio de veículos calibrados, utilizando-se de dados de aceleração vertical obtidos de Smartphones.** Trabalho de

Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.

MULITERNO, B. K., JUNIOR, F. M., PRAVIA, Z. M. C. **Avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento sobre pontes usando acelerações medidas por smartphones.** Revista Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e ensino em transportes. Publicado: 31 de agosto, 2019.

SAYERS, M.W.; KARAMIHAS, S.M. **The little book of profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles.** The Regent of the University of Michigan. 1998.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** 2 ed. São Paulo:Pini, 2008.

SILVA, L. L.; RODRIGUES J. R.; CAZO, R. M.; CARVALHO, M. M.; PASSARO, A.; ALMEIDA V. R. (2015) **Caracterização de Erros Sistemáticos em um Acelerômetro Micro-Eleto-Mecânico Capacitivo.** VIII Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial - SBEIN, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, Brasil.

TOMIYAMA, K., KAWAMURA, A., NAKAJIMA, S., ISHIDA, T., JOMOTO, M. **A Mobile Profilometer for Road Surface Monitoring by Use of Accelerometers.** 2012.