

# Análise da irregularidade longitudinal do pavimento por meio de comparação de dois métodos: perfilômetro a laser e aplicativo de *smartphone* SmartIRI – Estudo de caso SC-355

Ana Julia Santhier<sup>1</sup>  
Gislaine Luvizão<sup>2</sup>

## Resumo

Existem vários índices para classificar as condições da superfície do pavimento, no entanto, mais frequentemente, utiliza-se o Índice de Irregularidade Internacional (IRI). Este é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação ao projeto e esta determinação pode ser feita por vários equipamentos. O levantamento foi realizado em três segmentos monitorados, localizados na rodovia SC-355, com dados de IRI coletados pelo aplicativo para *smartphone* SmartIRI, tendo como objetivo comparar com os valores do perfilômetro a laser coletados em 2017, tornando-se possível comprovar a confiabilidade do aplicativo. Para efetuar a análise entre os dois levantamentos foi necessário fazer uma correção dos valores de IRI dos levantamentos do SmartIRI por meio de uma correlação de IRI e velocidades de operação. Após esta correção notou-se que houve um aumento na irregularidade dos segmentos analisados, justificado pelas patologias (afundamento de trilha de roda e trincas) e pelo tempo percorrido desde sua última manutenção. Além de avaliar os segmentos, o levantamento foi feito no trecho de 22,8 km da rodovia já mencionada. Tanto para os segmentos como para o trecho a classificação, segundo o programa HDM-4, foi "regular". Ao final do estudo percebe-se que o aplicativo SmartIRI cumpriu com seu propósito de tornar a inspeção de rodovias mais rápida, prática e menos onerosa, facilitando o controle dos órgãos responsáveis sobre o pavimento, como também se mostrando confiável e fazendo jus ao seu objetivo.

Palavras-chave: irregularidade longitudinal; SmartIRI; segmentos monitorados.

## 1 INTRODUÇÃO

As condições das rodovias do nosso país estão vigorosamente ligadas ao desenvolvimento socioeconômico. Pesquisas recentes, como da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2019), apontam que o Brasil possui mais de 61% de utilização do modo rodoviário para o transporte de cargas e 95% para transporte de passageiros e que a maioria

<sup>1</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Joaçaba; anajuliasanthier@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestra e professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

dessas vias ainda não oferecem as condições adequadas aos usuários, apresentando complicações nas rodovias.

O Índice Internacional de Irregularidade (IRI - *International Roughness Index*) é um dos parâmetros que melhor representa e avalia a irregularidade longitudinal de pavimentos rígidos e flexíveis. O valor de IRI, quando elevado, prejudica a dinâmica dos veículos, o conforto de trafegabilidade, a segurança, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento, a drenagem superficial da via e a vida útil do pavimento.

Em virtude do avanço tecnológico dos *smartphones* na última década, muitos aplicativos têm sido desenvolvidos para os mais diversos fins e ramos de atividades. No âmbito da Engenharia Civil e, mais especificamente, no da Engenharia Rodoviária, o uso dessas novas tecnologias tem proporcionado progressos significativos para as obras, bem como para os projetos e suas respectivas análises.

Devido à importância do estudo do IRI, os órgãos gestores tem o desafio de utilizar métodos que obtenham estes dados de maneira rápida, precisa e, ao mesmo tempo, com equipamentos de custo mais baixo e de fácil operação. Nesse sentido, o uso do aplicativo de *smartphone* SmartIRI surgiu como opção aos métodos tradicionais.

Para comprovar a confiabilidade do aplicativo, a leitura foi feita na SC-355, trecho entre a BR-153, Concórdia-SC e Jaborá-SC, onde, em três segmentos, a irregularidade longitudinal já foi aferida com o equipamento perfilômetro a laser no ano de 2017, para assim, ter uma comparação e conclusão de resultados. Juntamente com a coleta de dados nos segmentos, foi estudado as causas de elevadas irregularidades por meio de levantamento de patologias. Além disso, foi-se analisado e discutido a qualidade do trecho em sua extensão total de 22,8 km.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ÍNDICE DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

Conforme Bernucci *et al.* (2008), o objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas. Além disso, deve proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança. Tratando-se do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois defeitos ou irregularidades superficiais são percebidos mais facilmente, pois afetam seu conforto. O veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos quando o conforto é prejudicado. O efeito da passagem dos veículos nos pavimentos no decorrer do tempo também provoca alterações que deterioram seu estado de superfície e causam desconfortos crescentes aos usuários.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2006), conceitua a irregularidade longitudinal como o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência. Esses desvios tendem a piorar a qualidade do rolamento, aumentando a ação das cargas dinâmicas dos veículos sobre a superfície do pavimento,

acelerando a danificação da estrutura, e também, tendo muita influência sobre o custo operacional 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.

De acordo com DNIT (2006), há vários índices para classificar as condições de superfície do pavimento, porém, mais frequentemente, utiliza-se o Índice de Irregularidade Internacional. Conforme Bernucci *et al.* (2008), o IRI é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

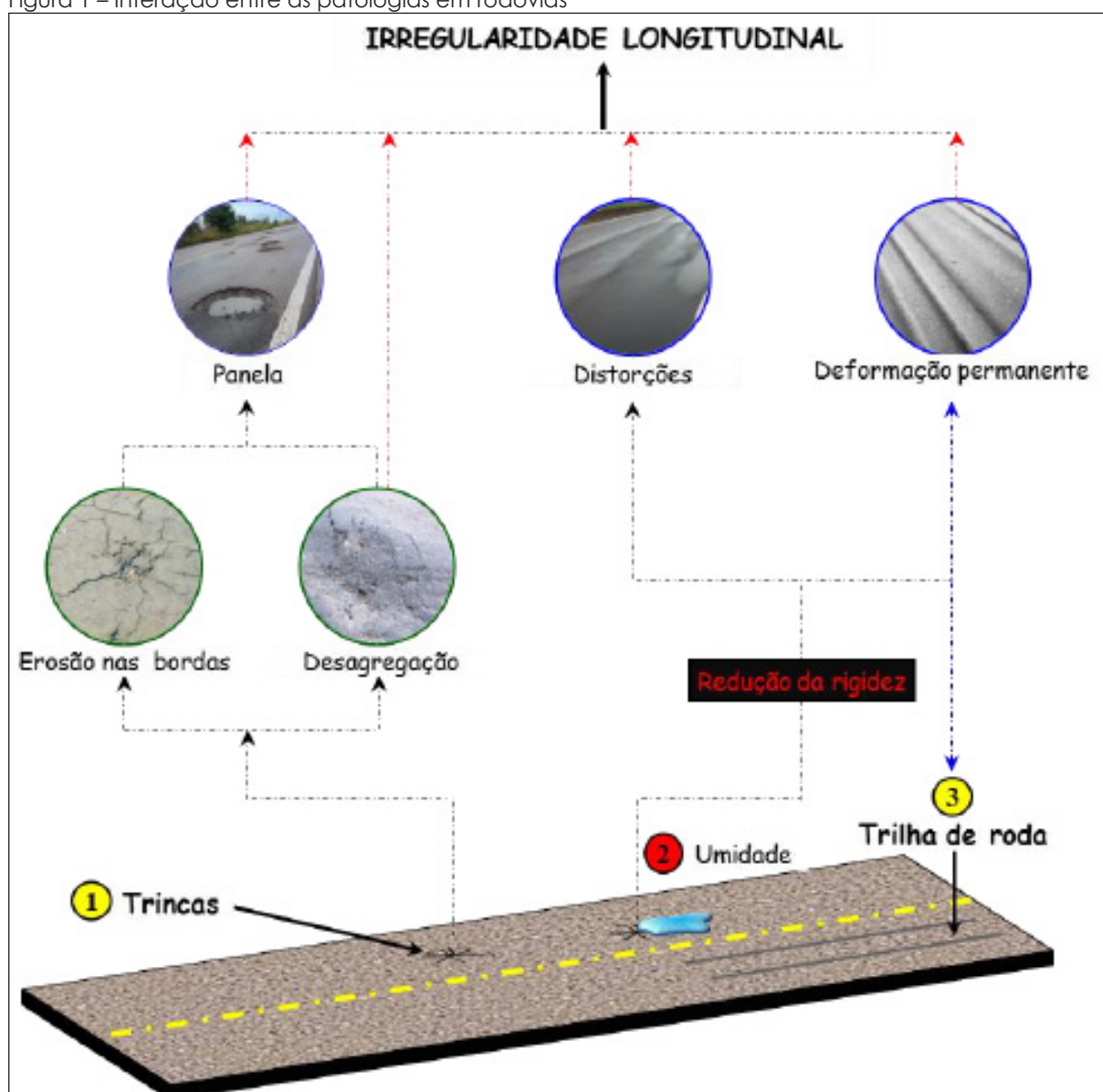
Segundo Karamihas e Sayers (1998 apud ALMEIDA *et al.*, 2019), o IRI é o valor que classifica a condição geral da rodovia, resume as particularidades da superfície fornecida por um sistema do tipo resposta ao impacto ou ao deslocamento vertical. Ele é o valor mais adequado quando pretende-se comparar o custo operacional do automóvel, com a qualidade do rolamento, cargas dinâmicas e estado geral da superfície.

Dessa forma, a irregularidade longitudinal é um índice geral que quantifica o IRI do pavimento e, conforme Karamihas e Sayers (1998 apud ALMEIDA *et al.*, 2019), esse índice é vigorosamente relacionado com a maioria das respostas dos automóveis. Notadamente, o IRI possui correlação para três tipos de variáveis de respostas dos veículos: a medida da resposta dos veículos às condições do pavimento, a aceleração vertical do passageiro e a carga imposta aos pneus.

O valor máximo de IRI atribuído para rodovias em operação é de 4,0 m/km (DNIT, 2006), isto é, passando esse valor máximo de irregularidade longitudinal deve ser executada alguma ação na via a fim de recuperar a funcionalidade da mesma quanto ao rolamento. Além disso, Medina e Motta (2015) afirmam que rodovias de concreto asfáltico que apresentam IRI entre 1,4 e 2,3 m/km e as de tratamento superficial com valores entre 2,0 e 3,0 m/km, indicam tipicamente um pavimento de alta qualidade, com adequado conforto ao rolamento.

Tem-se o conhecimento de que as inúmeras patologias as quais a rodovia está sujeita tendem a impulsionar o acréscimo da irregularidade longitudinal, pois o somatório das deformações que ocorrem em toda a estrutura do pavimento manifesta-se pelas distorções do perfil longitudinal (DNIT, 2006). A Figura 1 ilustra o agravamento de cada patologia no aumento do IRI.

Figura 1 – Interação entre as patologias em rodovias



Fonte: adaptada de Almeida (2018).

De acordo com DNIT (2006), a irregularidade é o índice mais seguidamente utilizado pelo DNIT, em substituição a outros índices também utilizados na Avaliação da Serventia, tais como: Valor de Serventia Atual (VSA), Levantamento Visual Contínuo (LVC), Índice de Gravidade Global Expedido (IGGE), Índice de Estado da Superfície (IES) e Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF).

Há inúmeros métodos utilizados para se avaliar o IRI. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a irregularidade pode ser medida através de levantamentos topográficos ou pelo uso de mecanismos para medir o perfil longitudinal, com ou sem contato com a superfície, ou, ainda, indiretamente avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação a suspensão.

Conforme Bernucci *et al.* (2008), os mecanismos ou métodos utilizados para medir o IRI são separados em quatro classes, possuindo como princípio a função de levantar direta ou

indiretamente as irregularidades. Um equipamento pode ser enquadrado em mais de uma classe, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos equipamentos medidores de irregularidade longitudinal

| Classe   | Exemplos de equipamentos ou medição   |
|--|---|
| Classe 1<br>(Equipamentos de precisão que medem diretamente o perfil dos pavimentos) | -Nível e mira;<br>-Dipstick;<br>-Z-250<br>-Perfilômetro do TRL;<br>-Perfilômetro <i>Walking Profiler</i> da ARRB.       |
| Classe 2<br>(Outros métodos perfilométricos)   | -Perfilógrafos;<br>-Equipamentos com sensores a laser;<br>-Infravermelho ou ultrassom;<br>-APL francês.                 |
| Classe 3<br>(Sistemas medidores do tipo resposta)                                    | -Integrador de irregularidade longitudinal IPR/USP;<br>-Maysmeter;<br>-MERLIN;<br>-Riley<br>-TRL <i>Bump integrator</i> |
| Classe 4<br>(Avaliação subjetivas)   | -Painel de avaliadores  |

Fonte: adaptada de Chaves *et al.* (2020).

Segundo DNIT (2006), a irregularidade tem inúmeras escalas padronizadas e de acordo com o mecanismo de medição que está sendo utilizado. Os métodos estão normatizados pelo DNIT, tendo como índice outro fator que possui analogia com o IRI, como, o Quociente de Irregularidade (QI).

Com fundamento nas pesquisas desenvolvidas no Brasil no ano de 1992, o DNIT passou a utilizar a escala do IRI. Alcançou-se uma relação entre o QI e o IRI ( $QI = 13 \times IRI$ ), levando em consideração que alguns mecanismos tinham como resultado o QI.

## 2.2 LEVANTAMENTOS DE IRI COM APLICATIVOS PARA SMARTPHONE

Ademais dos métodos de avaliação já consolidados, tem-se desenvolvido métodos que utilizam a tecnologia de *smartphones* para medir o IRI. Segundo Bisconsini (2016), a grande maioria dos celulares tem a capacidade de processamento avançada, sensores de movimento (acelerômetro, magnetômetro e barômetro) e um receptor de sinal de sistema de posicionamento global (*Global Positioning System - GPS*), que tornam os *smartphones* aptos para medir a irregularidade.

Como uma das várias utilidades do uso de aplicativos para a avaliação de superfícies, segundo Almeida (2018), tem-se a realização de levantamentos mais rápidos, com produtividade e sem maiores interferências humanas, amplificando a segurança do método. Com o uso de celulares, os dados coletados ficam mais acessíveis através de programas online,

torando-se de fácil visualização e compreensão pelos usuários que utilizam o aplicativo para processos de gestão de pavimentos, auxiliando na tomada de decisão.

Com o objetivo de avaliar a irregularidade longitudinal, de acordo as pesquisas feitas por Bisconsini (2016) e Almeida (2018), necessita-se do acelerômetro para medir a aceleração vertical, o GPS para fornecer a velocidade do automóvel e suas coordenadas geográficas e uma unidade de processamento com boa frequência de transmissão de dados. Estes sistemas proporcionam que um grande número informações (aceleração vertical, coordenadas geográficas, velocidade) sejam levantadas.

De acordo com Muliterno, Junior e Pravia (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), o *RoadLab* desenvolvido por Wang e Guo (2016), o *BumpRecorder* desenvolvido por Yagi (2016) e *SmartIRI* desenvolvido por Almeida (2018).

### 2.2.1 SmartIRI x Perfilômetro a laser

Almeida (2018), propõe o desenvolvimento de um aplicativo para *smartphone*, designado *SmartIRI*, para a estimação do IRI, parâmetro que melhor representa a irregularidade longitudinal de pavimentos flexíveis. Os testes obtidos após percorrer 165 km mostraram que os valores calculados de IRI apresentaram correlação satisfatória com dados fornecidos por outro aplicativo cuja proposta é a medição de irregularidade longitudinal por medições do perfilômetro a laser, por análise subjetiva por meio do VSA, e ainda pelo método de Nível e Mira. Em relação a acurácia dos resultados, os levantamentos mostraram que os valores de IRI fornecidos pelo *SmartIRI* foram condizentes com outros métodos ou classes de equipamentos na maioria dos testes e calibração efetuados. O autor observou que os melhores resultados obtidos foram com velocidades entre 60 a 80 km/h, e o veículo utilizado foi da marca Hyundai, modelo HB 20, motor 1.6, ano 2016.

Como este artigo tem o objetivo de comparar os dados, já levantados, pelo perfilômetro a laser com o *SmartIRI*, os únicos dados apresentados de Almeida (2018) serão em relação ao perfilômetro a laser vs *SmartIRI* de um dos trechos estudados pelo autor. O trecho correspondente para análise tem extensão de 4,1 km e possui revestimento do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ).

Segundo Almeida (2018), foi possível gerar um gráfico a partir da comparação dos dados, obtendo-se um valor de 0,8881 para o  $R^2$ , e tendo como equação  $y = 0,951x + 0,3752$ , onde "y" é o valor encontrado para IRI pelo *SmartIRI* e "x" o valor de IRI levantado pelo perfilômetro a laser.

Almeida (2018) constatou que a utilização do aplicativo desenvolvido pode ser uma alternativa viável, especialmente em locais onde existem poucos recursos financeiros, materiais ou profissionais para este fim e, principalmente, quando aplicados em nível de rede.

### 2.2.2 SmartIRI x RoadLab

Almeida *et al.* (2019) efetuaram medições com o aplicativo SmartIRI e RoadLab, fazendo uma comparação entre os dois. O trecho da rodovia de estudo possuía 4,1 km, revestimento em CAUQ. O levantamento foi realizado a uma velocidade média de 60 km/h pois foi a velocidade máxima permitida na via. Vale ressaltar informações em relação à calibração dos aplicativos. No que diz respeito ao SmartIRI, este aplicativo foi calibrado apenas para veículo de passeio, não sendo aconselhável a sua utilização para veículos de maior porte e não sendo possível alterar a calibração padrão do aplicativo. Quanto ao RoadLab é possível utilizar o setup do aplicativo para calibrar outros tipos de veículos que não sejam somente veículos de passeio.

Após o levantamento, segundo Almeida *et al.* (2019), pode-se perceber que o SmartIRI possui menor variação dos valores de IRI no decorrer do trecho comparados com o RoadLab, tendo 21% e 30% respectivamente. De acordo com autor, vale ressaltar que o aplicativo RoadLab, perdeu ou deixou de coletar algumas medições, possivelmente devido à perda do sinal de GPS ou por vibração excessiva, algo não ocorrido com o SmartIRI.

Após uma análise dos resultados e interferências que influenciam cada aplicativo, Almeida *et al.* (2019) sugerem para levantamentos de irregularidade longitudinal em rodovias nacionais de pavimentação asfáltica a utilização preferencial do SmartIRI.

### 2.2.3 SmartIRI x Avaliação subjetiva

Segundo Duarte, Sousa e Oliveira (2019) foi realizada uma comparação do IRI coletado pelo aplicativo para *smartphone* SmartIRI e pelo método de avaliação subjetiva, em uma rodovia, com pavimento do tipo flexível, de 4,1 km. Para a coleta de dados foi-se utilizado o automóvel da marca Hyundai, modelo HB 20, motor 1.6, ano 2016, a velocidade de operação média para o levantamento foi de 57 km/h, tendo em vista que a velocidade máxima permitida na rodovia era de 60 km/h.

Foi identificado por Duarte, Sousa e Oliveira (2019), em alguns pontos, que a avaliação subjetiva foi parecida com os valores do aplicativo, e nos demais, mostrou-se mais conservadora, classificando como "regular" o que o aplicativo classificou como "bom". Também, os autores puderam identificar que o SmartIRI proporciona avaliação de segmentos de 100 metros, tornando-se possível a avaliação de pontos críticos das rodovias.

Duarte, Sousa e Oliveira (2019) afirmam que o uso de aplicativos para *smartphones* na avaliação funcional de rodovias pode ser considerado satisfatório e com possibilidades de

utilizações futuras por parte dos órgãos gestores rodoviários, tendo em vista que apresentam resultados confiáveis quando comparados a avaliação subjetiva.

#### 2.2.4 SmartIRI x MERLIN

O estudo de Oliveira *et al.* (2019) analisa as condições de superfície de uma rodovia com pavimento rígido, em duas faixas de tráfego, numa extensão de 1,86 km, utilizando o aplicativo SmartIRI, e o equipamento denominado MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*). Objetivando avaliar e comparar as leituras da irregularidade longitudinal dos dois equipamentos nos segmentos em estudo, foram realizadas análises estatísticas para cada faixa de tráfego dos segmentos levantados. Por questões de operação da via e por ainda estar em obras, a velocidade média desenvolvida pelo veículo do aplicativo nos segmentos foi de 72,76 km/h, menor do que a velocidade em que ele foi calibrado (80 km/h).

Os resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2019) demonstraram que os valores de IRI obtidos pelo SmartIRI foram aproximadamente 2 vezes maior aos obtidos pelo MERLIN, possivelmente devido ao processo de calibração dos modelos utilizados.

O aplicativo foi desenvolvido no Brasil, inicialmente para pavimentos flexíveis, de modo que no algoritmo do sistema não foram contabilizadas as juntas de dilatação dos pavimentos rígidos, o que contribuiu para resultados distintos entre os dois equipamentos. Ainda assim, segundo Oliveira *et al.* (2019), é possível afirmar que os aplicativos para smartphones podem ser uma alternativa viável aos métodos tradicionais de monitoramento e avaliação da qualidade funcional das rodovias brasileiras por ser um método viável do ponto de vista técnico para subsidiar à tomada de decisão dos profissionais e gestores de órgãos rodoviários.

### 2.3 FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO PARA SMARTPHONE SMARTIRI

O SmartIRI é um aplicativo para smartphones disponível para Android e desenvolvido por Almeida (2018) na Universidade Federal do Ceará. O aplicativo precisa de uma prévia calibração por correlação para cada veículo, aparelho e velocidade operacional. Feita a calibração, o celular deve ser fixado no para-brisa do veículo por meio de um suporte e a avaliação deve ser iniciada com o veículo em movimento com a velocidade entre 60 e 80 km/h (DUARTE, 2018).

Essa sugestão de velocidade operacional é devido ao fato de que em velocidades muito baixas os pneus acumulam pequenas saliências, ou seja, efeito da “envoltória dos pneus” sobre as irregularidades de alta frequência, apresentando pequenos comprimentos de onda e resultando em baixos níveis de irregularidades. Por outro lado, os ruídos produzidos pelos aparelhos celulares têm um resultado maior em velocidades baixas quando a amplitude alcança o sinal de aceleração vertical medida, com isso, diminuindo a sua correlação com a irregularidade verdadeira do pavimento (BISCONSINI, 2016).



Após o *smartphone* ser fixado no para-brisa, segundo Almeida (2018), o próprio *smartphone* faz o processamento dos dados por meio de valores *Root Mean Square* (RMS) e coordenadas oriundas do GPS a cada 100 metros percorridos e a partir desses dados, com implementação de um modelo elaborado por Almeida (2018), determina-se o valor de IRI e sua respectiva localização no trecho em que foi realizado o levantamento. Possibilitando a análise diretamente no aplicativo ou através de *upload* dos arquivos gerados para mais detalhes como hora da medição, velocidade média, condição funcional de acordo com a escala adotada, latitude e longitude, distância percorrida, valores de IRI e RMS.

A classificação proposta pelo SmartIRI é parecida com a do programa aceito pelo DNIT (2011), *Highway Development and Maintenance* (HDM-4). Porém, uma classe diferente foi desenvolvida por Almeida (2018), chamada “excelente”, transpondo, assim, as classes para o limite seguinte, tornando a classe “regular” do HDM-4 classificada como “bom” no SmartIRI. A Tabela 2 mostra o comparativo entre as classificações.

Tabela 2 - Comparação das classificações pelo SmartIRI e HDM-4

| Condições de trafegabilidade | HDM-4 (m/km)     | Condições de Trafegabilidade | SmartIRI (m/km)  |
|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| Boa                          | $IRI \leq 2$     | Excelente                    | $0 < IRI < 2$    |
| Regular                      | $2 < IRI \leq 4$ | Boa                          | $2 \leq IRI < 4$ |
| Ruim                         | $4 < IRI \leq 6$ | Regular                      | $4 \leq IRI < 6$ |
| Péssimo                      | $6 < IRI$        | Ruim                         | $6 \leq IRI$     |

Fonte: adaptada de Almeida (2018).

Como pode ser visto na tabela acima, pela classificação do HDM-4, tem-se “boa” quando IRI for menor ou igual a 2, “regular” quando  $2 < IRI \leq 4$ , “ruim” quando  $4 < IRI \leq 6$  e “péssimo” para um IRI maior que 6. Porém pela classificação do SmartIRI quando  $0 < IRI < 2$  a nomenclatura é “excelente”, quando  $2 \leq IRI < 4$  tem-se “boa”, quando  $4 \leq IRI < 6$  a classificação é “regular” e para IRI maior ou igual a 6 tem-se “ruim”.

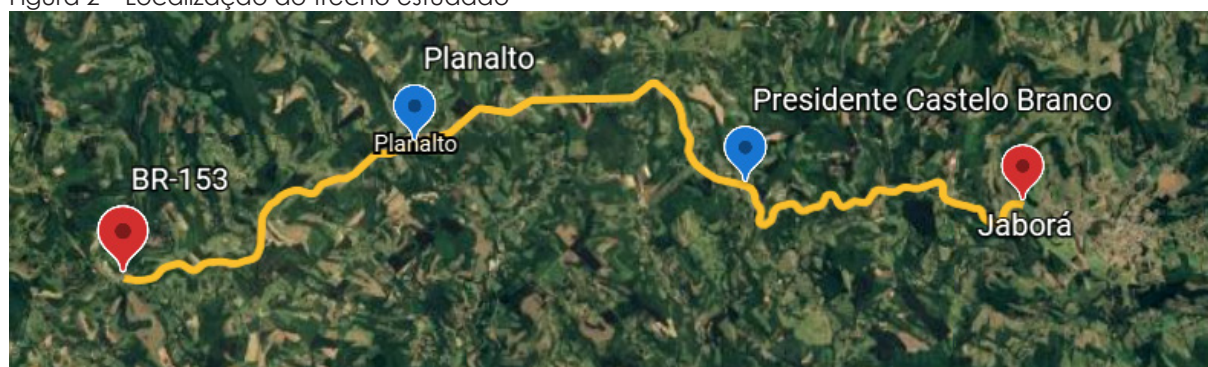
Dessa forma, essa mudança, segundo Duarte, Sousa e Oliveira (2019), tem como propósito associar a classificação do SmartIRI com a de outros mecanismos, levando em consideração que, por ser um equipamento do tipo resposta, pode manifestar uma sensibilidade maior no reconhecimento das irregularidades. Assim, os resultados dos levantamentos com o aplicativo serão melhores interpretados para a tomada de decisão nas manutenções e reabilitações de uma rodovia.

Ainda conforme Almeida (2018), a ideia principal do SmartIRI é torná-lo acessível na operação, de forma eficaz em termos de recursos para que não afete a duração da bateria do celular, tal como o desempenho geral do *smartphone* durante o funcionamento do aplicativo.

## 2.4 ESTUDO DE CASO SC 355

Este artigo tem como objetivo levantar dados de irregularidade longitudinal com o SmartIRI no trecho localizado na rodovia SC-355, entre os municípios de Concórdia-SC e Jaborá-SC, no Oeste Catarinense, a Figura 2 apresenta a localização do trecho.

Figura 2 – Localização do trecho estudado



Fonte: adaptada de Google Earth (2021).

Conforme Luvizão (2014) a implantação do trecho teve conclusão em 30 de janeiro de 1985 com uma extensão de 30,166 km. Em 2011 foi desenvolvido um projeto para a restauração do trecho, com extensão de 22,8 km, entre Jaborá e a BR-153, a qual foi concluída e liberada totalmente ao tráfego no ano de 2015. Os 10 primeiros quilômetros da obra, iniciados a partir da BR-153, foram executados pela empresa Pavia Brasil Ltda, vale ressaltar que os segmentos analisados neste artigo estão dentro destes 10 km, finalizados em 2013. O restante dos 22,8 km (12,8 km) foi realizado por outra empresa chamada Setep Construções S.A, já que houve quebra de contrato pela empresa Pavia. Contudo, a construção da rodovia foi sempre supervisionada pela Sotepa - Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda.

Segundo Luvizão (2014) a rodovia foi restaurada empregando-se a técnica de reciclagem profunda com adição de cimento e correção granulométrica (18 cm contemplando revestimento e base + pó de pedra + cimento) e em decorrência da rigidez alcançada pela camada reciclada, a estrutura do pavimento assim restaurada pode ser enquadrada como de comportamento semirrígido.

De acordo com DNIT (2006) um pavimento semirrígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedade cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Desse modo, conforme Beutler (2020), as camadas do pavimento nos segmentos resultaram na seguinte composição:

- a) Subleito – material existente;
- b) Sub-base – macadame seco, material existente;

- c) Base remanescente – brita graduada simples, espessura variável dependendo do segmento;
- d) Base nova – reciclagem de brita graduada e revestimento antigo, agregado virgem (pó de pedra 15%) e cimento (CP II F 32, 2,7% à 3%);
- e) Revestimento – tratamento superficial simples e camada de mistura asfáltica (3 cm de massa fina + 5 cm de CAUQ-B).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 TRECHO DE 22,8 KM

Foram realizados levantamentos de dados na rodovia SC-355, com uma extensão total de 22,8 km de pavimento semirígido conforme escrito no item 2.4. Os levantamentos foram realizados em cada faixa de tráfego utilizando o aplicativo SmartIRI.

As coletas de dados foram realizadas com duas velocidades distintas e em dias diferentes. O levantamento feito com 80 km/h foi no 21 de abril de 2021, durante o período matutino de um dia claro e sem chuva, com temperatura de 20° C. Contudo, o levantamento feito com 60 km/h foi no dia 01 de maio de 2021, também durante a manhã de um dia claro e sem chuva, com temperatura de 15° C. Ambos os levantamentos foram realizados com quatro pessoas a bordo no veículo da marca Renault, modelo Sandero, motor 1.6, ano 2014, com os pneus calibrados em 32 psi e o tanque de combustível abastecido com cerca de 30 litros de gasolina. O *smartphone* utilizado nos dois dias foi o Galaxy A51 da marca Samsung, pois o aparelho apresenta giroscópio, o que permite a permanência da mesma direção do eixo de rotação na ausência de forças que o perturbem. O giroscópio em consonância com o acelerômetro, torna irrelevante os erros na aquisição de dados da aceleração vertical tornando-os mais confiáveis. Na Fotografia 1 tem-se o aplicativo em operação.

Fotografia 1 - Aplicativo SmartIRI em operação



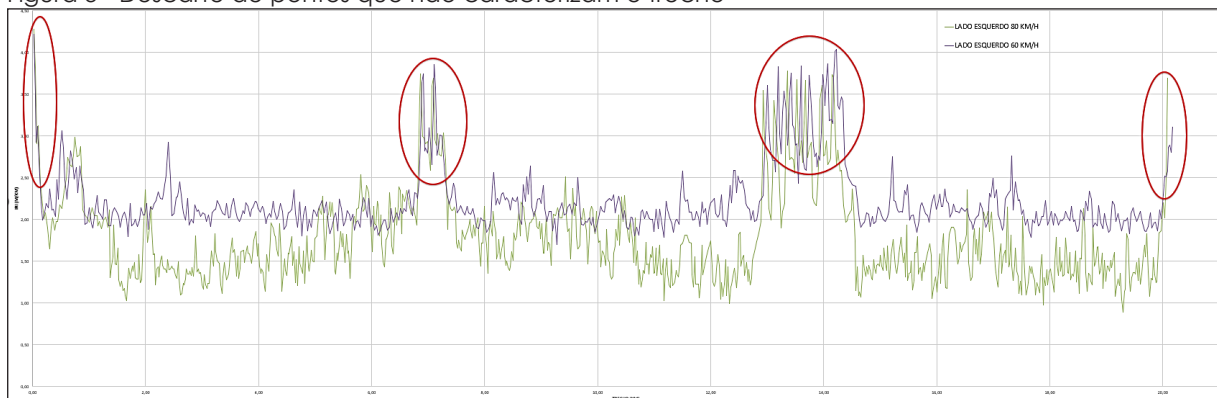
Fonte: os autores (2021).

O procedimento quanto ao funcionamento do *software* SmartIRI foi de acordo com o item 2.3. Com relação ao suporte veicular para *smartphones* utilizado, foi possível perceber que o equipamento fornecia apoio adequado para o *smartphone*, o que permitiu a mitigação de erros oriundos de vibração excessiva do aparelho com o veículo em movimento.

Para a realização do levantamento, o aplicativo foi alimentado para que a cada 20 m fossem obtidos dados de IRI, em seguida o SmartIRI gerou uma planilha de dados para cada faixa de tráfego. Os valores de IRI foram organizados, já ilustrados com as cores de acordo a classificação do SmartIRI, porém para a classificação da condição de irregularidade longitudinal final foram usados os índices do programa HDM-4.

Com os dados coletados, foi possível avaliar e classificar valores de IRI no trecho de 22,8 km. A avaliação foi feita por meio de análise gráfica, estatística (média aritmética simples, desvio padrão e variância) e construção de tabelas no *software* Excel. Após análise prévia foi necessário fazer o descarte de pontos que não caracterizam o trecho, como: pontos iniciais, finais e em perímetro urbano (Planalto e Castelo Branco) levando em consideração que as velocidades nesses pontos foram inferiores a 35 km/h e/ou havia presença de ondulações acentuadas (lombadas), demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Descarte de pontos que não caracterizam o trecho



Fonte: os autores (2021).

### 3.2 SEGMENTOS

Foram analisados, separadamente da rodovia na sua extensão total (22,8 km), 1500 metros em três segmentos denominados Segmento Monitorado 1 (SM-1), Segmento Monitorado 2 (SM-2) e Segmento Monitorado 3 (SM-3), localizados ao longo da rodovia duplicada. A Figura 4 apresenta a localização dos três segmentos monitorados.

Figura 4 – Localização dos três segmentos monitorados no trecho estudado



Fonte: Luvizão (2014).

As marcações dos segmentos em campo estão registradas em forma de estacas, delimitadas conforme o Tabela 3. Neste trabalho, o sentido Concórdia-Jaborá (BR-153 – BR-282) é denominado de Lado Direito (LD) por apresentar o sentido crescente das estacas quilométricas, enquanto o sentido Jaborá-Concórdia (BR-282 – BR-153) corresponde ao Lado Esquerdo (LE).

Tabela 3 - Localização de cada segmento e extensão avaliada

| Segmentos |    | Estacas     |             | Trecho / Sentido | Extensão (m) |
|-----------|----|-------------|-------------|------------------|--------------|
|           |    | Inicial     | Final       |                  |              |
| 1         | LD | Km 002+500m | Km 003+000m | BR-153 – BR-282  | 500          |
|           | LE | Km 003+000m | Km 002+500m | BR-282 – BR-153  | 500          |
| 2         | LD | Km 004+700m | Km 005+200m | BR-153 – BR-282  | 500          |
|           | LE | Km 005+200m | Km 004+700m | BR-282 – BR-153  | 500          |
| 3         | LD | Km 008+300m | Km 008+800m | BR-153 – BR-282  | 500          |
|           | LE | Km 008+800m | Km 008+300m | BR-282 – BR-153  | 500          |

Fonte: adaptada de Beutler (2020).

Após a coleta dos dados e separação dos segmentos nos levantamentos do trecho de 22,8 km, pode-se realizar a análise comparativa de irregularidade longitudinal com os valores de IRI levantados no ano de 2017 e considerações feitas por Beutler (2020) com o equipamento denominado perfilômetro a laser.

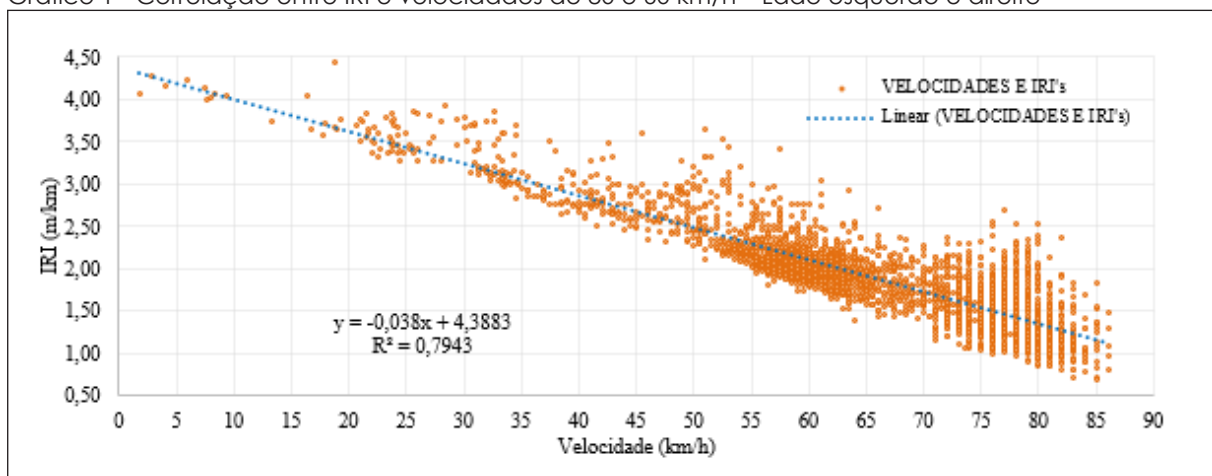
A discussão dessas comparações foi feita do mesmo modo que na rodovia de 22,8 km, por meio de análise gráfica, estatística (média aritmética simples, desvio padrão e variância) e construção de tabelas no *software* Excel. Também foi possível analisar e discutir o motivo para alguns pontos apresentarem valores de irregularidade elevados, tendo como suporte os

levantamentos de patologias, afundamento de trilha de roda e trincas, de Oliveira e Luvizão (2021) nos segmentos estudados.

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Objetivando avaliar e comparar as leituras da irregularidade longitudinal dos dois métodos nos segmentos em estudo, foram realizadas análises estatísticas nos gráficos para cada faixa de tráfego dos segmentos levantados. Porém antes desta análise foi necessário fazer uma correção de valores de irregularidade longitudinal levantados a 80 e 60 km/h, pois o levantamento pelo perfilômetro a laser foi realizado com uma velocidade média de 35 km/h. Para encontrar a equação de correção, foi montado um gráfico de dispersão selecionando todas as velocidades e todos os valores de IRI, do trecho inteiro (22,8 km), medidos pelo SmartIRI. No Gráfico 1 são apresentados os dados levantados.

Gráfico 1 - Correlação entre IRI e velocidades de 80 e 60 km/h – Lado esquerdo e direito



Fonte: os autores (2021).

Após analisar o Gráfico 1 pode-se concluir que quanto maior a velocidade do levantamento menor o valor de IRI e outro fato importante é que os dados de irregularidade com velocidade de 80 km/h na via tiveram uma diferença entre si de 0,80 a 2,50 m/km, sendo que com velocidade de 60 km/h a variação foi de 1,70 a 2,75 m/km. Indicando, dessa forma, que quanto maior a velocidade de operação maior a discrepância entre os valores de irregularidade. Isso pode ser explicado pela interação pneu-pavimento, pois tem-se uma área de contato menor quanto mais elevada a velocidade, justificando a diminuição do IRI. A área de contato menor também influencia na discrepância dos dados, pois os valores se tornam muito sensíveis no momento da coleta.

Sobre a equação encontrada, adicionou-se uma linha de tendência tipo linear, tendo em vista que a maioria dos valores se comportam de forma linear, e obteve-se a Equação 1. O valor do coeficiente de determinação foi  $R^2 = 0,7943$ , acarretando uma confiança na

equação para ser aplicado na correção dos valores, visto que o modelo explica 79,43% da variabilidade dos dados.

$$IRI = -0,038xVelocidade + 4,3883 \quad (1)$$

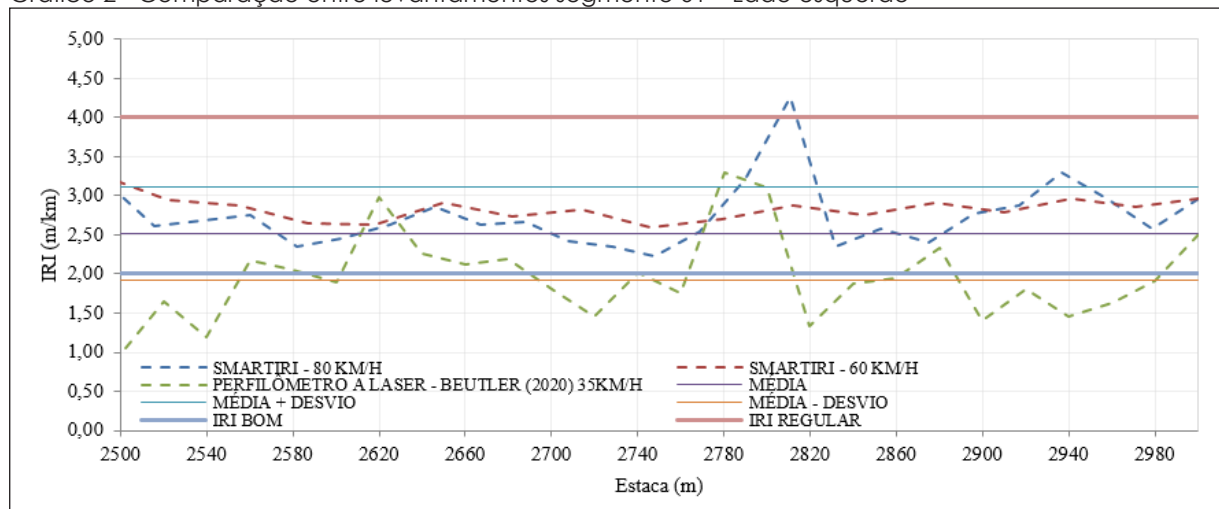
Onde:

IRI - m/km;

Velocidade - km/h.

De posse da Equação 1, substitui-se “velocidade” pelas velocidades dos levantamentos, dividindo cada valor pelo valor de IRI de 35 km/h, encontrando, assim, um fator de multiplicação para cada IRI e sua respectiva velocidade. O Gráfico 2 apresenta os dados de irregularidade longitudinal corrigidos com velocidades de 80 e 60 km/h, juntamente com o levantamento de Beutler (2020) do segmento 01 – lado esquerdo.

Gráfico 2 - Comparação entre levantamentos segmento 01 – Lado esquerdo



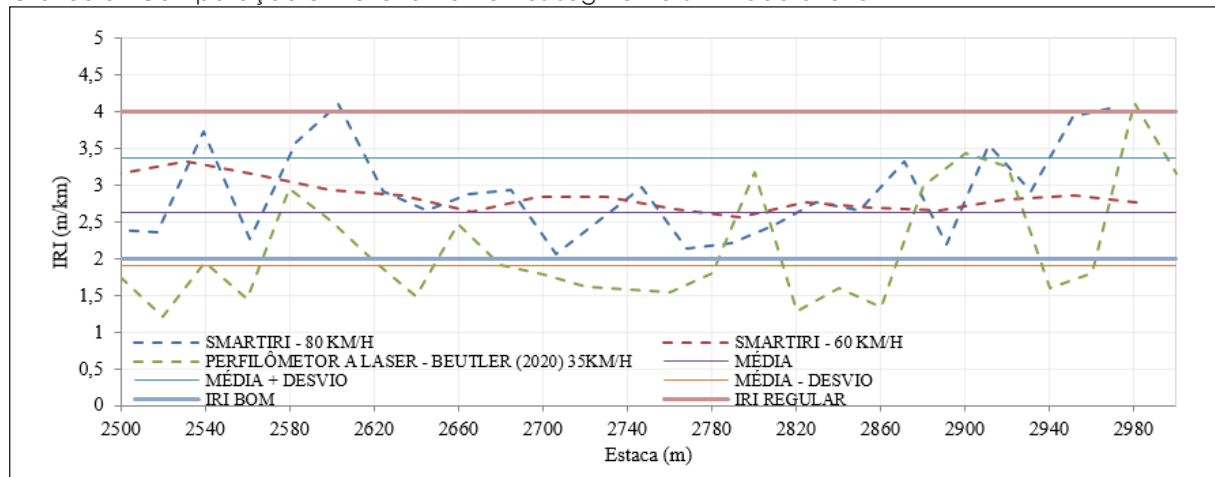
Fonte: os autores (2021).

As duas leituras atuais, do Gráfico 2, em sua grande parte se apresentaram como “regular” segundo a classificação HDM-4. Como o esperado, os resultados de IRI dos levantamentos com o aplicativo SmartIRI deram maiores que o do perfilômetro a laser devido a vida útil do pavimento. Pode-se observar que os valores de IRI nas estacas 2+500, 2+520, 2+800, 2+920 e 2+940 apresentaram valores bem maiores que Beutler (2020), isto é justificado a partir do levantamento de patologias de Oliveira e Luvizão (2021) que indica um afundamento de trilha de roda, externo e interno, de 1,0 e 4,0 mm, 1,0 e 4,0 mm, 0,5 e 3,0 mm, 1,0 e 3,0 mm e 2,0 e 5,0 mm, respectivamente para cada estaca. Juntamente ao afundamento de trilha de roda, na estaca 2+920 tem-se uma área trincada de 0,70 m<sup>2</sup> de acordo com Oliveira e Luvizão (2021). Na estaca 2+620, os valores de IRI no levantamento de 2017 é maior que

nos levantamentos de 2021, isso pode ser explicado por algum erro de leitura do aplicativo SmartIRI ou pela sensibilidade que o perfilômetro a laser tem a qualquer proeminência que possa estar no pavimento no momento da medição.

O Gráfico 3 mostra os dados de irregularidade longitudinal corrigidos com velocidades de 80 e 60 km/h, juntamente com o levantamento de Beutler (2020) do segmento 01 – lado direito.

Gráfico 3 - Comparação entre levantamentos segmento 01 – Lado direito



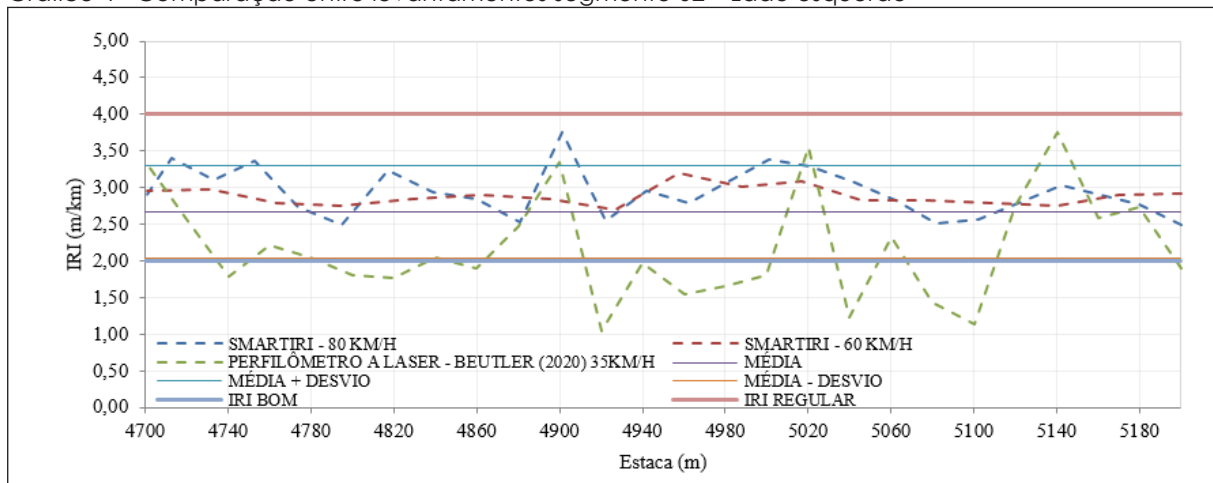
Fonte: os autores (2021).

Da mesma forma que o Gráfico 2, o Gráfico 3 apresentou em suas duas leituras recentes uma classificação "regular" para a maioria dos valores de IRI. Os resultados quando comparados com de Beutler (2020) confirmam que sim, o IRI aumentou ao passar do tempo. Porém tem-se alguns valores que se destacam nas estacas 2+540, 2+590 e 2+600, os valores maiores de IRI na estaca 2+540 podem ser explicados a partir do levantamento de Oliveira e Luvizão (2021), onde são indicadas patologias de afundamento de trilha de roda, externo e interno, com valores de 4,0 e 1,0 mm. Também nas estacas 2+590 e 2+600 é possível dizer que se tem uma área trincada de 0,74 e 0,30 m<sup>2</sup>, respectivamente. Para as estacas 2+865, 2+920 e 2+980 pode se dizer que estes pontos já apresentavam patologias, afundamento de trilha de roda e trincas, no levantamento de Beutler (2020) e assim continuaram no levantamento atual.

Os dois próximos Gráficos 4 e 5, foram referentes aos levantamentos no segmento monitorado 2 para o lado esquerdo e direito, respectivamente.



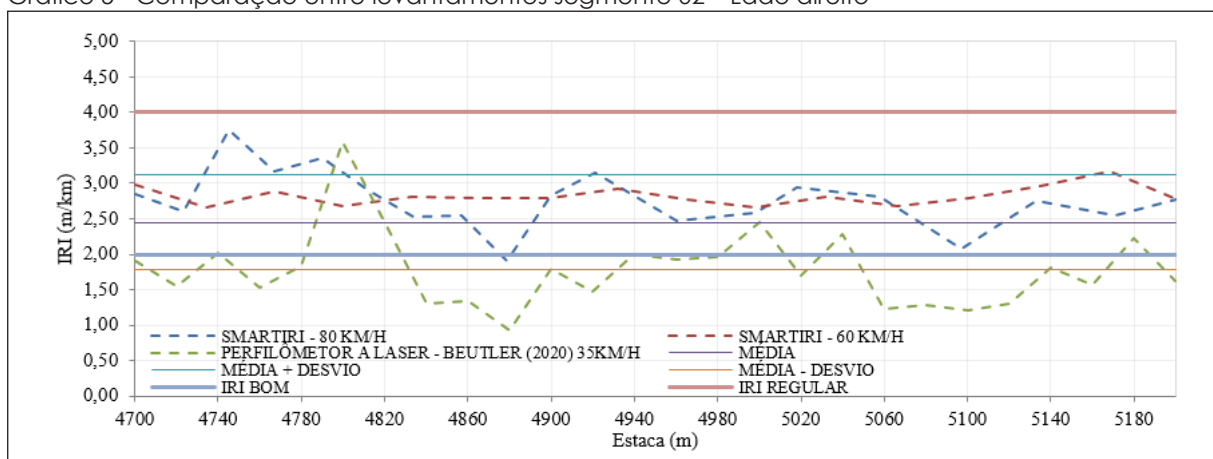
Gráfico 4 - Comparação entre levantamentos segmento 02 – Lado esquerdo



Fonte: os autores (2021).

No Gráfico 4, as estacas 4+740, 4+820, 4+920, 4+960, 4+980 e 5+080 se sobressaem indicando somente patologias de afundamento de trilha de roda, visto que nesse segmento não foram encontradas trincas, conforme levantamento de Oliveira e Luvizão (2021) com valores, externo e interno, de 2,0 e 1,0 mm, 1,0 e 3,0 mm, 1,0 e 1,0 mm, 1,0 e 2,0 mm, 3,0 e 2,0 mm e 1,0 e 1,0 mm. Por outro lado, nas estacas 4+700, 4+900, 5+020 e 5+180 percebe-se que as patologias nesses pontos não aumentaram significativamente, apresentando um ponto positivo para a rodovia. Outra estaca que se ressalta é a 5+140 que no levantamento de Beutler (2020) é maior que nos levantamentos atuais, isso pode ser explicado pela sensibilidade que o perfilômetro a laser tem a qualquer proeminência que possa estar no pavimento no momento da medição ou algum erro de leitura do aplicativo SmartIRI naquele ponto. Sobre a classificação de acordo com HDM-4, a grande maioria dos valores de IRI ficaram em "regular".

Gráfico 5 - Comparação entre levantamentos segmento 02 – Lado direito



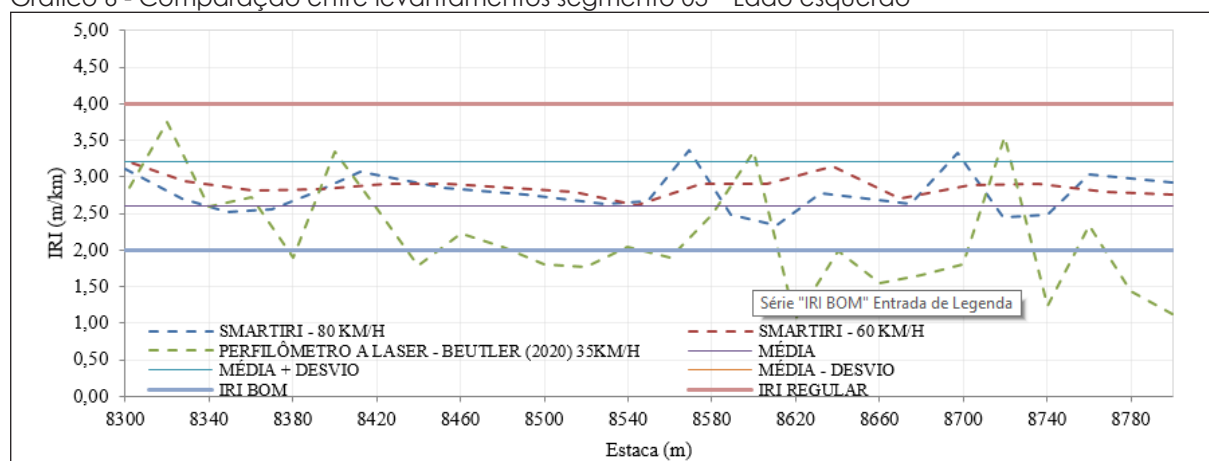
Fonte: os autores (2021).

Do mesmo modo que o Gráfico 4, o Gráfico 5 teve uma classificação de "regular" para os valores coletados atualmente. A estaca 4+800 indica um IRI elevado no levantamento de

Beutler (2020) comparado com os atuais, isso é explicado da mesma maneira que no gráfico anterior, onde possivelmente encontrou-se uma saliência que não caracteriza o segmento ou um erro na leitura pelo SmartIRI. Já nas estacas 4+740, 4+860, 4+900, 4+920, 5+020, 5+060, 5+120, 5+140, 5+160 e 5+200 temos valores de IRI atuais bem maiores que os da autora, explicado pelo surgimento ou expansão da patologia, o levantamento de Oliveira e Luvizão (2021) indica afundamento de trilha de roda, externo e interno, de 0,5 e 0,5 mm, 3,0 e 2,0 mm, 0,0 e 7,0 mm, 0,0 e 4,0 mm, 3,0 e 6,0 mm, 2,0 e 3,0 mm, 4,0 e 7,0 mm, 3,0 e 6,0 mm, 0,0 e 7,0 mm e 4,0 e 6,0 mm respectivamente para cada estaca.

São apresentados os gráficos do segmento 3, lado esquerdo e direito, nomeados como Gráfico 6 e 7 respectivamente.

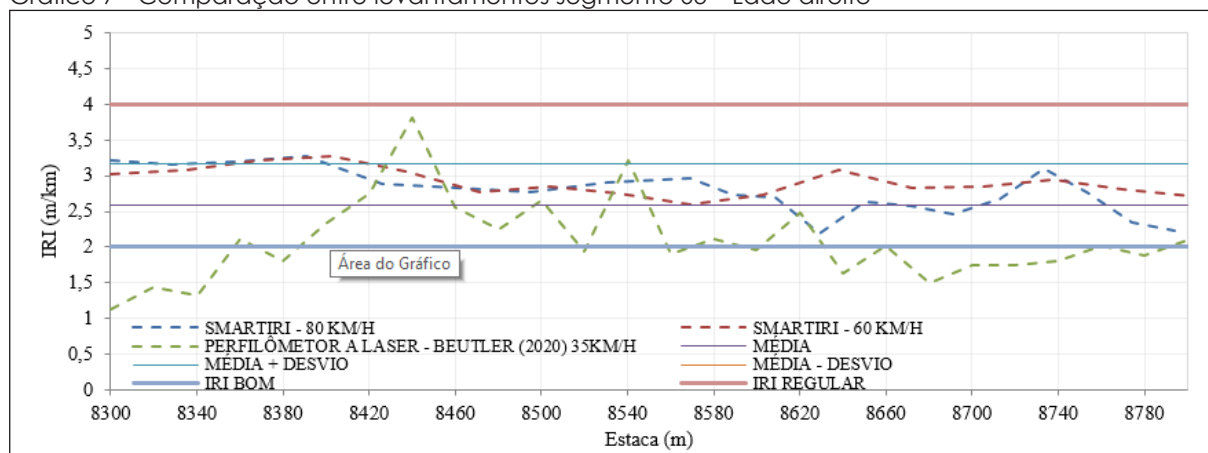
Gráfico 6 - Comparação entre levantamentos segmento 03 – Lado esquerdo



Fonte: os autores (2021).

No gráfico acima as estacas que se ressaltam são as 8+380, 8+440, 8+460, 8+480, 8+500, 8+540, 8+560, 8+620, 8+640, 8+700, 8+740, 8+760 e 8+800 por apresentarem valores elevados quando comparados com os de Beutler (2020). O IRI elevado dessas estacas é justificado pelo levantamento de Oliveira e Luvizão (2021) que apresenta valores de afundamento de trilha de roda, externo e interno, de 1,0 e 7,0 mm, 3,0 e 3,0 mm, 3,0 e 2,0 mm, 0,0 e 1,5 mm, 2 e 0,5 mm, 1,0 e 1,0 mm, 3,0 e 1,0 mm, 0,5 e 0,0 mm, 3,0 e 2,0 mm, 2,0 e 0,0 mm, 4,0 e 1,0 mm, 3,0 e 0,0 mm e 0,5 e 1,0 mm respectivamente. Outras estacas que se sobressaem são as 8+300, 8+340, 8+360 e 8+580, que nos levantamentos tem dados de IRI iguais ou parecidos, indicando, dessa forma, que não houve uma piora nas patologias, afundamento de trilha de roda e trincas, já existentes no local. Como foi dito anteriormente, há momentos em que pode ocorrer um erro na leitura do SmartIRI ou o perfilômetro a laser pode ter encontrado elevações que não caracterizem o trecho, justificando assim as estacas 8+320, 8+400, 8+600 e 8+720 que apresentam valores maiores no levantamento de 2017. Referente a classificação do segmento, segundo o programa HDM-4, obteve-se parâmetro "regular" para os dados coletados no ano de 2021.

Gráfico 7 - Comparação entre levantamentos segmento 03 – Lado direito



Fonte: os autores (2021).

No Gráfico 7, os valores de IRI nas estacas 8+300, 8+320, 8+340, 8+360, 8+380, 8+400, 8+480, 8+520, 8+560, 8+580, 8+600, 8+700, 8+720, 8+740, 8+760 e 8+780 são elevados indicando presença de patologias, segundo Oliveira e Luvizão (2021), nestas estacas citadas foram levantados afundamento de trilha de roda, externo e interno, de 1,0 e 1,0 mm, 1,0 e 0,0 mm, 0,5 e 1,0 mm, 0,5 e 1,0 mm, 1,0 e 2,0 mm, 1,0 e 2,0 mm, 0,5 e 0,5 mm, 0,0 e 0,5 mm, 0,5 e 0,0 mm, 0,5 e 1,0 mm, 1,0 e 1,0 mm, 1,0 e 1,0 mm, 0,5 e 0,5 mm, 2,0 e 1,5 mm e 1,0 e 1,0 mm respectivamente para cada estaca. Por outro lado, nas estacas 8+420, 8+460, 8+500, 8+540, 8+620 e 8+780 percebe-se que as patologias nesses pontos não aumentaram significativamente, apresentando um ponto positivo para a rodovia. Também foi possível analisar e justificar os resultados elevados de IRI coletados com o aplicativo entre as estacas 8+640 e 8+680, mas especificadamente nas estacas 8+649, 8+662, 8+677 que no levantamento de Oliveira e Luvizão (2021) apresentam uma área trincada, respectivamente, de 1,0, 1,0 e 1,20 m<sup>2</sup> e afundamento de trilha de roda, externo e interno, de 0,0 e 1,0 mm, 3,0 e 1,0 mm e 6,0 e 3,0 mm respectivamente. Outra estaca que se destaca é a 8+440, nela o IRI de Beutler (2020) é maior do que nos levantamentos atuais, podendo ser explicada da mesma forma que no Gráfico 6. A classificação do segmento ficou em "regular" segundo os parâmetros do HDM-4 para as coletas recentes.

A seguir tem-se a Tabela 4 que apresenta valores de média, desvio padrão e variância dos valores de irregularidade longitudinal dos segmentos 1, 2 e 3 do lado esquerdo e direito referente aos dois levantamentos de 2021.

Tabela 4 - Resumo de média, desvio padrão e variância dos segmentos

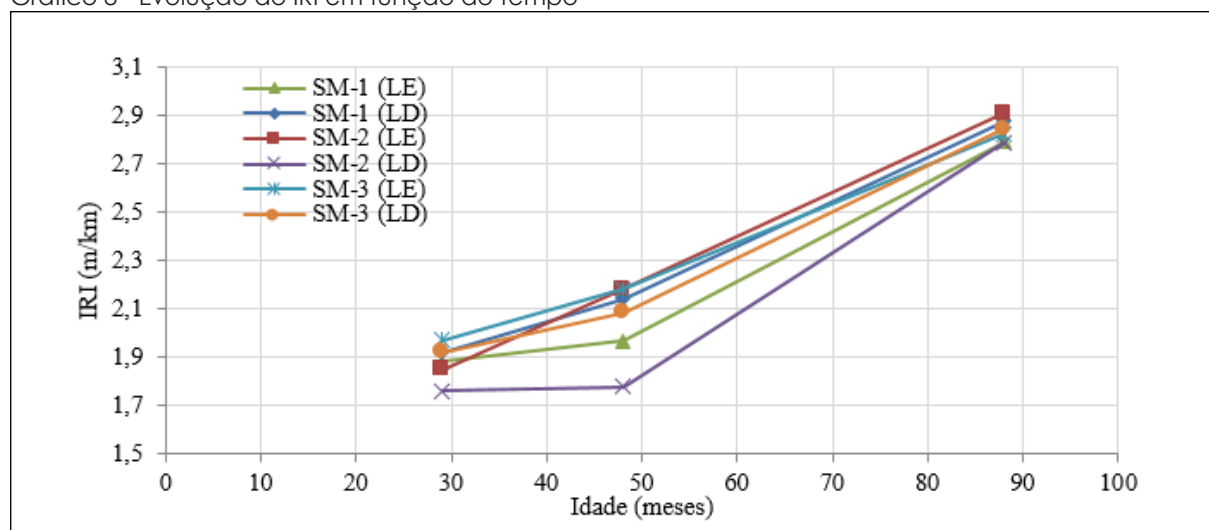
| Identificação              | Média (m/km) | Desvio padrão | Variância |
|----------------------------|--------------|---------------|-----------|
| Segmento 1 – Lado esquerdo | 2,79         | 0,34          | 0,12      |
| Segmento 1 – Lado direito  | 2,88         | 0,51          | 0,26      |
| Segmento 2 – Lado esquerdo | 2,91         | 0,28          | 0,08      |
| Segmento 2 – Lado direito  | 2,79         | 0,32          | 0,10      |
| Segmento 3 – Lado esquerdo | 2,83         | 0,24          | 0,06      |
| Segmento 3 – Lado direito  | 2,85         | 0,27          | 0,07      |

Fonte: os autores (2021).

Na tabela acima, é possível analisar que as médias dos 3 trechos estão parecidas, variando de 2,79 a 2,91 m/km. É importante ressaltar que o segmento 2 - lado direito, assim como no levantamento de 2017, possuiu a média mais baixa entre todos os segmentos, de 2,79 m/km. Ainda conforme a autora, os piores resultados também foram para o lado esquerdo do segmento 2, que obteve valor médio de 2,91 m/km. Com o levantamento atual pode-se perceber, que diferente de 2017, o valor da média de IRI do segmento 1 lado direito deu elevado, indicando um aumento significativo de patologias no trecho. Além disso, nota-se que os valores de desvio padrão não deram elevados, são bastante uniformes na maioria dos segmentos (variando entre 0,24 e 0,51). A variância comporta-se do mesmo modo que o desvio padrão, apresentando valores baixos na maioria dos segmentos (entre 0,06 e 0,26). Nota-se que os únicos valores de desvio padrão e variância que deram elevados foram para o segmento 1, lado direito, tendo como valores 0,51 e 0,26 respectivamente. Indicando que possivelmente este trecho esteja trabalhando diferente no seu percorrer ou neste ponto houve erro de leitura pelo SmartIRI.

O Gráfico 8 apresenta o aumento do IRI médio dos segmentos monitorados em função do tempo (em meses) a partir dos levantamentos realizados nos anos de 2016 (29 meses), 2017 (48 meses) e 2021 (88 meses).

Gráfico 8 - Evolução do IRI em função do tempo



Fonte: os autores (2021).

A partir dos resultados encontrados no Gráfico 8, é possível verificar que para os três segmentos os valores médios de IRI, no ano de 2021 foram superiores a 2,0 m/km, indicando uma classificação, de acordo com o HDM-4, "regular". O SM-1 (LD), SM-2 (LE) e o SM-3 (LE e LD) apresentaram maiores valores de IRI no levantamento realizado em 2021 (88 meses) quando comparados com os demais segmentos, porém foram também os que apresentaram menores taxas de crescimento, com 34%, 33%, 29% e 37% respectivamente. Indicando que a

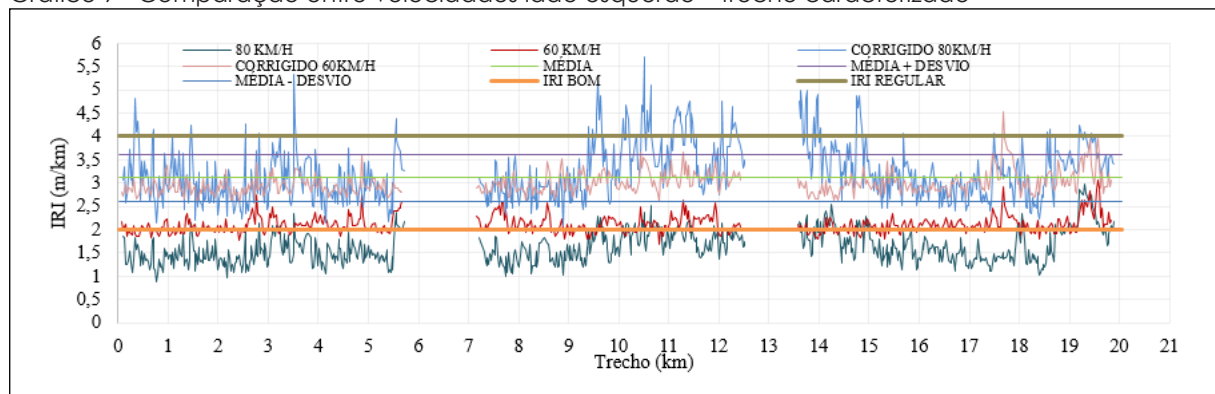
via está trabalhando e se deformando com o passar do tempo igualmente, tendo em vista que suas irregularidades são parecidas, na maioria dos seus pontos.

O segmento 2, lado direito, que apresentava em 2016 (29 meses) menor valor de IRI e que em 2017 (48 meses) alcançou a maior taxa de crescimento da irregularidade, no levantamento atual, 2021 (88 meses), manteve menor valor e a maior taxa. Tendo como aumento 57% nos seus valores. Isto indica que o SM-2 (LD) está trabalhando igualmente ao passar do tempo e aumentando consideravelmente seus valores. O SM-1 (LE), assim como o SM-2 (LD), obteve um valor de IRI menor entre os demais segmentos, porém apresentou a segunda maior taxa de crescimento, tendo um valor de 42%.

Tendo em vista que a irregularidade longitudinal foi influenciada pelas patologias (afundamento de trilha de roda e trincas) encontradas, sugere-se que seja feita uma recuperação das áreas afetadas e feita a aplicação de microrrevestimento asfáltico.

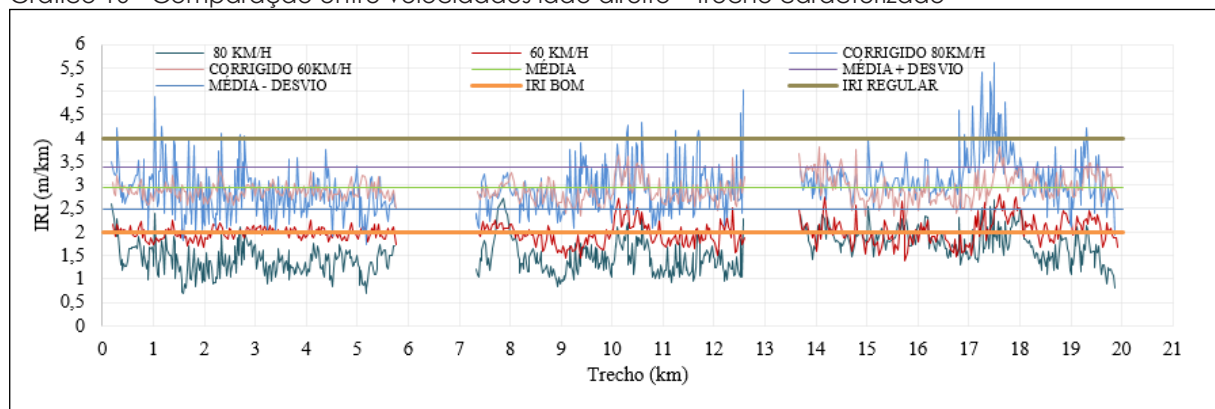
Além dos levantamentos realizados nos segmentos monitorados, o trecho de 22,8 km também teve seus valores de irregularidades longitudinais avaliadas pelo aplicativo de *smartphone* SmartIRI. Os Gráficos 9 e 10 apresentam o levantamento de todo o trecho do lado esquerdo e direito, respectivamente. Os valores de média e desvio padrão são referentes somente aos dados corrigidos presentes no gráfico.

Gráfico 9 - Comparação entre velocidades lado esquerdo – trecho caracterizado



Fonte: os autores (2021).

Gráfico 10 - Comparação entre velocidades lado direito – trecho caracterizado



Fonte: os autores (2021).

Para análise geral da rodovia foi feita a correção dos levantamentos com velocidade de 80 e 60 km/h da mesma forma que nos segmentos, com a Equação 1. Se a análise for feita sobre os dados não corrigidos teríamos uma classificação da via entre “boa” e “regular”, porém ao fazer a correlação com a velocidade do perfilômetro a laser (35 km/h) a via se enquadra diferente, tendo a maior classificação como “regular”. Na Tabela 5 é apresentado a classificação, de acordo com os parâmetros do HDM-4, com suas respectivas médias.

Tabela 5 - Classificação da rodovia para dados corrigidos

| Identificação           | BOA          | REGULAR       | RUIM         | PÉSSIMO      |
|-------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Lado esquerdo – 80 km/h | 0,00%        | 88,61%        | 11,39%       | 0,00%        |
| Lado esquerdo – 60 km/h | 0,00%        | 99,81%        | 0,19%        | 0,00%        |
|                         | Média: 0,00% | Média: 94,21% | Média: 5,79% | Média: 0,00% |
| Lado direito – 80 km/h  | 1,32%        | 93,85%        | 4,83%        | 0,00%        |
| Lado direito – 60 km/h  | 0,00%        | 100,00%       | 0,00%        | 0,00%        |
|                         | Média: 0,66% | Média: 96,93% | Média: 2,41% | Média: 0,00% |

Fonte: os autores (2021).

Como pode ser visto na Tabela 5, efetuando a média entre as duas correções, para o lado esquerdo tem-se 94,21% para “regular” e 5,79 % para “ruim” e para o lado direito as porcentagens se distribuem em 0,66% para “boa”, 96,93 % para “regular” e 2,41 para “péssimo”. Em um âmbito geral pode-se dizer que os dois lados estão com sua classificação parecida. Também foi possível analisar a variância e desvio padrão dos dados coletados para cada lado. Tendo para o lado esquerdo uma variância de 0,24 e um desvio padrão de 0,50 e para o lado direito uma variância de 0,20 e um desvio padrão de 0,45, indicando que os valores obtidos não estão distantes da média, mostrando um ponto positivo na coleta.

No Gráfico 9 percebe-se nos trechos entre 19 e 20 km e 13,5 e 14,5 km que os valores de IRI são muito semelhantes, para as duas velocidades, isso é justificado pelas velocidades de operação serem parecidas ou até mesmo iguais no momento da coleta daqueles pontos. O mesmo aconteceu no Gráfico 10 entre os trechos 14 e 17 km. Outro fator importante a ser discutido é porque após a correção das irregularidades levantadas, com 80 e 60 km/h, os dados não ficaram iguais entre si, visto que os dois levantamentos foram corrigidos para uma mesma velocidade, 35 km/h. A explicação encontra-se no valor do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7943$ , que se possuísse um valor maior possivelmente a discrepância entre os valores de cada correção seria menor.

Além disso, pode-se perceber que a execução da rodovia por diferentes empresas mostra uma interferência entre os quilômetros 9,5 e 15 no Gráfico 9 e nos trechos entre 9,5 e 13 km e 17 e 18 km no Gráfico 10, pontos estes que se localizam após a continuação da construção da via por outra empresa.

Por fim, o valor máximo de IRI para as rodovias em operação é de 4,0 m/km, já citado anteriormente por DNIT (2006), demonstrando que a via em estudo está apresentando, em seus

8 anos de vida útil, funcionalidade ao rolamento e conforto para quem trafega na rodovia. Tendo vista que a via está quase atingindo valores de irregularidade longitudinal maiores que 4,0 m/km, sugere-se que a rodovia continue sendo avaliada e que estes acompanhamentos sejam mais consecutivos, levando em consideração que esta coleta de dados foi realizada em 2021, 4 anos depois do último levantamento.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo geral proposto, esta pesquisa avaliou o uso do aplicativo para *smartphone* SmartIRI no levantamento de irregularidade longitudinal nos três segmentos monitorados comparando os resultados obtidos com os dados coletados com o equipamento perfilômetro a laser no ano de 2017. Inicialmente, para se tornar possível uma comparação entre os dois métodos (perfilômetro a laser e SmartIRI) uma correção nos dados do SmartIRI foi necessária, visto que a velocidade dos levantamentos de cada equipamento foi diferente.

Os valores de IRI dos segmentos quando comparados mostraram que existiu um aumento da irregularidade em média de 39% do ano de 2017 para 2021, porém ela permaneceu dentro do limite de aceitabilidade, sendo classificada como "regular" quanto à condição da superfície do pavimento. Os dados de IRI aumentaram devido a patologias (trincas e afundamento de trilha de roda) que se expandiram ou surgiram nos segmentos na medição atual. Desse modo, a utilização do aplicativo SmartIRI nesta pesquisa tornou-se confiável e eficaz.

Em relação a velocidade de operação do aplicativo para *smartphone* SmartIRI, recomenda-se, entre as velocidades de 80 e 60 km/h, uma velocidade média de operação de 60 km/h, pois os valores de IRI apresentaram menor discrepância entre si.

Quanto as condições da rodovia na sua extensão de 22,8 km, obteve-se um valor médio de IRI menor que 4,0 m/km, tendo classificação "regular" do mesmo modo que nos segmentos, indicando que a qualidade ao rolamento, o conforto de trafegabilidade entre outros fatores permaneceu adequado para a via.

Dessa forma, o órgão rodoviário poderá fazer uso do aplicativo como ferramenta confiável no diagnóstico das condições funcionais, sobretudo do conforto ao rolamento de pavimentos asfálticos, bem como na orientação para a tomada de decisão para a escolha das mais viáveis estratégias de manutenção e reabilitação.

## REFERÊNCIAS

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

ALMEIDA, L. C.; OLIVEIRA, F. H. L.; LUCAS JÚNIOR, J. L. O.; CHAVES, J. W. R. Análise de aplicativos medidores da irregularidade longitudinal em pavimentos asfálticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú, 2019.

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

BEUTLER, C. S. **Avaliação do desempenho da reciclagem de pavimento com adição de cimento**: estudo de caso da rodovia SC-355. 2020. 312 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, SC, 2020.

BISCONSINI, D. R. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, 2016.

CHAVES, J. W. R.; PEREIRA, R. C.; ALMEIDA, L. C.; OLIVEIRA, F. H. L. Análise comparativa da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário em serviço por meio de aplicativos para smartphone. **Revista Tecnologia**, 05 jun. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**: Relatório gerencial. Brasília, DF, 2019. 38 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR-720**: Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR-745**: Manual de Gerência de Pavimentos. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2011.

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

DUARTE, R. I. M.; SOUSA, E. da S.; OLIVEIRA, F. H. L. de. Análise comparativa da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego obtida por aplicativo para smartphones. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 170-185, dez. 2019. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/3297>. Acesso em: 02 mar. 2021.

GOOGLE EARTH. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-27.16443109,-51.82514641,772.76996108a,41400.12955825d,35y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExV2w0UnB5eERyZ3N6N1ITalo4a05ZSG9VV1hsM3c5Ung>. Acesso em: 22 maio 2021.

LUVIZÃO, G. **Avaliação do desempenho da reciclagem na Rodovia SC-355**: caracterização da mistura reciclada e avaliação estrutural de segmentos monitorados executados. 2014. 413 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, SC, 2014.

MEDINA, J.; MOTTA, L, M, G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciências, 2015.



MULITERNO, B. K.; MULITERNO JUNIOR, F.; 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, 31 ago. 2019.

OLIVEIRA, E. F.; LUVIZÃO, G. **Avaliação de desempenho da SC 355 restaurada em reciclagem profunda com adição de cimento**. Estágio Supervisionado II. 2021. (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2021.

OLIVEIRA FILHO, J. A.; ALMEIDA, L. C. de; OLIVEIRA, F. H. L. de; BONFIM, V. B. Obtenção da irregularidade longitudinal em pavimento rígido por meio de equipamentos de avaliação indireta. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO – CBC, 61., 2019, Fortaleza, CE. **Anais** [...]. Fortaleza, CE, 15-18 out. 2019.

