

ESTUDO DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO UTILIZANDO APLICATIVO PARA SMARTPHONE “SMARTIRI” – ESTUDO DE CASO DA SC-150

Andressa Elissa Proner¹
Gislaine Luvizão²

Resumo

Um dos parâmetros mais utilizados para a avaliação funcional de pavimentos é a irregularidade longitudinal. O Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI), internacionalmente conceituado como *International Roughness Index*, tem influência direta sobre a sensação de conforto dos usuários da rodovia, na qualidade de rolamento e no custo operacional dos veículos. Atualmente, a irregularidade é aferida por meio de perfilômetro, Merlin ou sensores com infravermelho embarcados, os quais desprendem tempo, custo em equipamentos e pessoas. Com o advento das novas tecnologias, desenvolveu-se o método de mensuração com o uso de *smartphones*, o qual prevê os resultados por meio de levantamento de dados de forma prática, barata e que representa acurácia em relação as avaliações subjetivas. Neste sentido, o presente artigo, de natureza quali-quantitativa, objetivou-se em analisar e classificar o conforto ao rolamento da rodovia SC-150, em um trecho de 24,8 km de extensão, entre os municípios de Joaçaba e Ouro, e comparar os dados coletados com perfilômetro a laser obtidos no ano de 2018 do trecho de 1,5 km de extensão (segmento experimental), a partir dos dados de irregularidade longitudinal obtidos com o aplicativo *SmartIRI*. A análise dos dados permitiu classificar o trecho de 24,8 km da rodovia, onde não havia levantamentos anteriores, com uma condição de trafegabilidade “Boa”, segundo critérios de Brasil (2011). Entretanto, identificou-se que o segmento experimental de 1,5 km apresentou aumento do IRI quando comparado com dados de 2018. Ainda, constatou-se que a variação da velocidade, quando realizado levantamentos com o *SmartIRI*, para um mesmo ponto de medição, altera os valores de irregularidade, onde quanto menor a velocidade de percurso, maior é o valor do IRI. Por fim, confirmou-se que os resultados obtidos com o aplicativo refletiram a condição real de conforto ao rolamento da rodovia, sendo que os índices de irregularidade sofreram majoração quando o trecho apresentava algum tipo de patologia.

Palavras-chave: Irregularidade longitudinal; *SmartIRI*; Índice de Irregularidade Longitudinal; Avaliação funcional.

¹ Engenheira civil, e-mail: andressa.proner@hotmail.com.

² Professora Doutora, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: gislaine.luvizao@unoesc.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

As condições de infraestrutura juntamente com a modernização dos modais de transporte de cargas e de passageiros, influenciam diretamente no cenário de desenvolvimento socioeconômico de um país ou região. No Brasil, têm-se como modais de transporte o rodoviário, aquaviário, ferroviário, aéreo e dutoviário.

Por conseguinte, no cenário nacional, segundo a CNT (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2019), o modal rodoviário é o que possui a maior participação na matriz de transporte, sendo responsável por aproximadamente 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros. Ademais, na região meio oeste de Santa Catarina, este modal é o único utilizado para o deslocamento de cargas. Esta prevalência do modal rodoviário em relação aos demais modais de transporte, está fortemente ligada a acessibilidade, flexibilidade e comodidade deste tipo de transporte.

Tendo em vista a exclusividade do modal rodoviário para o deslocamento de cargas e a predominância deste meio para o deslocamento de pessoas em Santa Catarina, garantir boas condições de rolamento torna-se excepcional para reduzir os Custos Operacionais dos Veículos (COV), proporcionar o adequado escoamento da produção e a sensação de conforto e segurança dos usuários das rodovias, bem como para promover o desenvolvimento econômico regional e nacional, e para a garantia de direitos fundamentais dos cidadãos.

Neste cenário, para manter as rodovias em condições de trafegabilidade recomendadas, que ofereçam conforto e segurança aos usuários, necessita-se mensurar e analisar as suas características funcionais e realizar manutenções periódicas nos elementos que a compõe. Neste âmbito, um dos parâmetros que indicam a qualidade de rolamento de uma via é a irregularidade longitudinal (representada internacionalmente pela sigla IRI – *International Roughness Index*), atualmente aferida por meio de perfilômetro, Merlin ou sensores com infravermelho embarcados, os quais desprendem tempo, custo em equipamentos e pessoas.

Com o advento das novas tecnologias, novos métodos de mensuração de irregularidade estão sendo desenvolvidos, sendo que o levantamento com o uso de *smartphones* tem se mostrado como uma alternativa para regiões que possuem restrições orçamentárias no setor público, tendo em vista que prevê o levantamento de dados de forma prática, barata e que representa acurácia em relação as avaliações subjetivas. Neste âmbito, Almeida (2018) desenvolveu um aplicativo para *smartphone*, denominado *SmartIRI*, na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Diante do exposto, este artigo objetiva realizar uma análise do comportamento da irregularidade longitudinal ao longo de trecho da SC-150, que interliga os municípios de Joaçaba e Ouro em Santa Catarina, por meio de análise comparativa de dados obtidos com o aplicativo *SmartIRI* no ano de 2021 com os resultados obtidos no ano de 2018 com perfilômetro a laser, bem como analisar e comparar o comportamento do índice de irregularidade longitudinal do aplicativo quando exposto a diferentes velocidades médias

de percurso, possibilitando a classificação da rodovia, e ao final, realizar o apontamento das possíveis causas que refletem a majoração da irregularidade ao longo do trecho em estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, de forma técnica e econômica, e a propiciar aos usuários melhores condições de rolamento aliadas a segurança e ao conforto (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com Brasil (2006b, p. 99), os pavimentos são classificados em flexíveis, semirrígidos ou rígidos, sendo que o flexível se caracteriza pelo fato de que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa quando o carregamento for aplicado, onde a carga se distribui de maneira aproximadamente equivalente entre as camadas.

Bernucci *et al.* (2006) define que os pavimentos asfálticos ou flexíveis, são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

Neste âmbito, Silva (2008, p. 12) conceitua o pavimento flexível como aquele em que a camada de revestimento é de asfalto, a base é de material granular e a sub-base é de material granular ou solo.

Segundo Medina e Motta (2015), quando se tem uma base ou sub-base estabilizada com adição de cimento ou algum outro tipo de aglomerante hidráulico, desde que este apresente boa resistência a tração, o pavimento é considerado como semirrígido.

2.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

De acordo com Brasil (2011), a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

Por sua vez, Barella (2008), define que a irregularidade longitudinal de um pavimento representa o conjunto dos desvios indesejáveis de sua superfície que atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, gera insegurança e onera seus usuários, além de acelerar a degradação do pavimento.

Dado o exposto, existe um índice internacional para a medida desta irregularidade, designado de IRI - *International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional) que de acordo com Bernucci *et al.* (2006) é um índice estático, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

2.2.1 Estudo da irregularidade longitudinal na gerência de pavimentos

A gerência de pavimento abrange todas as atividades envolvidas no intuito de fornecer e manter pavimentos em um nível adequado de serviço. Deste modo, o objetivo principal de um sistema de gerência de pavimentos é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico (BRASIL, 2011).

Segundo Albuquerque (2007), o conhecimento da malha rodoviária, através de levantamento de dados em campo, com posterior análise, constitui o primeiro passo a ser dado por órgãos rodoviários com o objetivo de melhor gerenciar o sistema rodoviário.

Neste contexto, tem-se que a avaliação do IRI em conjunto com os levantamentos de defeitos da superfície são os mais apropriados para definição da condição funcional do pavimento, fato fundamental para o gerenciamento do sistema rodoviário de qualidade (BRASIL, 2011).

2.2.2 Influência da irregularidade longitudinal nos custos dos usuários e de manutenção

Segundo Brasil (2006a), a irregularidade longitudinal é a grandeza física mensurável que melhor se correlaciona com o custo operacional dos veículos.

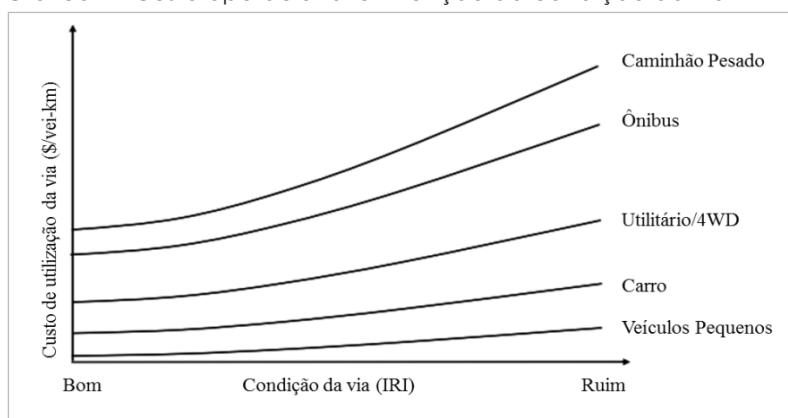
Mesquita (2001) também afirma que o COV (Custo Operacional dos Veículos) é uma variável de característica muito regional, bastante influenciada pelos parâmetros das rodovias da região como rugosidade ou irregularidade da superfície, geometria horizontal e vertical, velocidade de operação, clima e demais aspectos.

Outrossim, Brasil (2006a, p. 99) ainda cita que a irregularidade tem influência sobre os seguintes aspectos:

- a) Interação da superfície da via com os veículos, gerando efeitos sobre os próprios veículos, sobre os passageiros e o motorista e sobre a carga transportada.
- b) Custo operacional dos veículos e, sobre as viagens, afetando sua segurança, seu conforto e sua velocidade.
- c) Dinâmica dos veículos em movimento, aumentando o seu desgaste; e causando também, prejuízos à condução dos veículos.
- d) Aumento da ação das cargas dinâmicas dos veículos sobre a superfície do pavimento e, em decorrência, acelera a restauração da sua estrutura.
- e) Efeitos adversos sobre a drenagem da superfície do pavimento, na medida em que propicia a formação de poças d'água que vão afetar negativamente a segurança e o desempenho da rodovia.

Ainda, conforme Kerali, Odoki e Stannard (2000 apud ALMEIDA, 2018), é possível perceber na Figura 1 o efeito da condição da via em relação ao custo operacional para cada tipo de veículo, onde quanto pior a condição da via, ou seja, resultados ruins de IRI, maior é o custo operacional dos veículos, sendo que este custo é menor para veículos leves e de passeio, e aumenta consideravelmente para veículos pesados.

Gráfico 1 - Custo operacional em função da condição da via



Fonte: Adaptado de Kerali, Odoki e Stannard (2000 apud ALMEIDA, 2018).

2.2.3 Escalas e características do Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

A irregularidade longitudinal pode ser medida em diferentes escalas, que dependem essencialmente do equipamento utilizado para a avaliação da superfície do pavimento (YSHIBA, 2003).

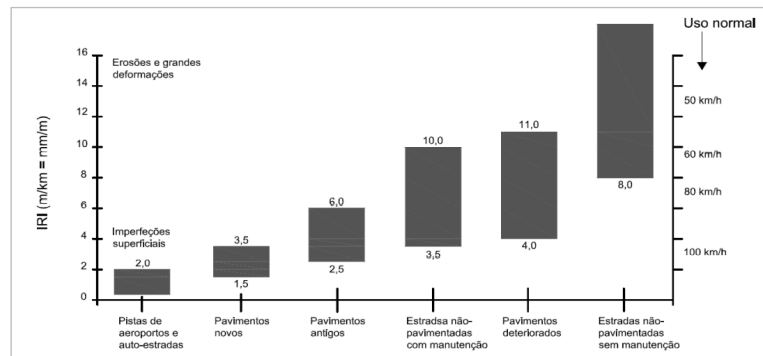
Segundo Almeida (2018), com base nas pesquisas desenvolvidas no Brasil no ano de 1992, o DNIT passou a utilizar a escala do IRI. Assim, obteve-se uma relação entre o QI e o IRI ($QI = 13 \times IRI$), haja vista que os equipamentos utilizados para as medições nas normas do DNER (atual DNIT) tinham como dado de saída o QI.

Deste modo, DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2013) em seus padrões de desempenho para a aceitação de obras define que, para pavimentos novos, o IRI deve ser menor ou igual a 2,3 m/km, enquanto para pavimentos restaurados, este índice deve ser menor ou igual a 2,7 ou 3,0 m/km, variando em função do tipo de revestimento.

Medina e Motta (2015) relatam que a escala do IRI pode variar de 0 a 10 (m/km) para pavimentos em concreto asfáltico ou de tratamento superficial. Estas faixas de variação são divididas levando em consideração o conforto e certa suavidade de rolamento quando trafegado na rodovia com a velocidade máxima de operação. Os autores ainda afirmam que rodovias, tipicamente de alta qualidade, apresentam IRI entre 1,4 e 2,3 m/km, quando estas forem de concreto asfáltico.

Sendo assim, Brasil (2011) mostra na Figura 2, as faixas de variação do IRI em diferentes classes de rodovias associadas a determinadas velocidades de operações.

Gráfico 2 - Diversas faixas de variação do IRI



Fonte: Brasil (2011).

Entretanto, apesar da exigência dos órgãos gestores ser apenas o valor da irregularidade longitudinal, não se verifica um consenso a respeito do valor de IRI e também qual equipamento e a velocidade que deve ser utilizada na medição (ALMEIDA, 2018).

2.2.4 Equipamentos utilizados para a medição da irregularidade longitudinal

Segundo Bernucci *et al.* (2006), a irregularidade pode ser levantada de maneira direta ou indireta, sendo que a direta é realizada por meio de levantamentos topográficos ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato com a superfície, e, a indireta é avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão.

Bernucci *et al.* (2006) ainda ressalta que dependendo do princípio e do tipo de equipamento utilizado para o levantamento, têm-se classificações variadas.

De acordo com Karamihis e Sayers (1998), algumas classificações têm sido amplamente utilizadas, sejam elas:

- avaliação direta: aferidas com 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: por meio de equipamentos de classe III do tipo resposta (TRL *Bump integrator*, *maysmeter*, Merlin etc.);
- avaliação subjetiva: esta avaliação é denominada PSR – *Present Serviceability Ratio*, correspondendo ao VSA – Valor de Serventia Atual, sendo classificada como classe IV. É uma metodologia baseada em notas dadas por técnicos avaliadores.

2.2.5 Smartphones para avaliação funcional do pavimento

O avanço tecnológico está conquistando espaço em várias modalidades da Engenharia Civil, com destaque ao setor de Engenharia de Transportes. O uso de aplicativos

para *smartphones* facilita nas atividades rotineiras destes setores, um exemplo de utilização é o emprego na avaliação funcional dos pavimentos (LIRA, 2020).

Consoante a isso, Bisconsini (2016) afirma que devido as vantagens de baixo custo, produtividade e fácil operação, os pesquisadores têm estudado o uso de *smartphones* para avaliação funcional dos pavimentos, sobretudo para determinação da irregularidade longitudinal.

Neste contexto, a utilização de *smartphones* para avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser classificado como um sistema de medição do tipo resposta, semelhante à Classe III, embora não funcione como um medidor padrão da classe, que acumula, por meio de obtenção do deslocamento do eixo do veículo, ou de um reboque, em relação à carroceira, mas mensura as acelerações verticais por intermédio de um *smartphone* fixado no interior do automóvel (BISCONSINI, 2016).

Em geral, as pesquisas utilizando *smartphones* têm atingido resultados satisfatórios, com correlação positiva com os índices de irregularidade obtidos por outros equipamentos (BISCONSINI, 2016).





2.2.6 SmartIRI

Com o intuito de relacionar a tecnologia e a praticidade aliadas à Engenharia de Tráfego, Almeida (2018) desenvolveu o aplicativo para *smartphone* *SmartIRI*. Para isso, utilizou sinais de aceleração vertical de um *smartphone* fixado ao painel de um veículo de passeio, que trafegou diferentes trechos rodoviários, em diferentes velocidades. Com os dados obtidos, calcularam-se os valores de RMSVA (*Root Mean Square Vertical Acceleration* – Média Quadrática da Aceleração Vertical) e os resultados foram correlacionados com o IRI, obtendo-se correlações satisfatórias.

O aplicativo fornece dados quantitativos e qualitativos, sendo que para este último, são fornecidas classificações que variam de Excelente, Bom, Regular e Ruim, a depender das condições de conforto ao rolamento de veículos (ALMEIDA, 2018).

Na Tabela 1 é possível analisar a classificação proposta por Almeida (2018) em relação a HDM-4 e a classificação do DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2011).

Tabela 1 - Classificação proposta pelo SmartIRI, HDM-4 e DNIT

Condições de Trafegabilidade	HDM-4 (m/km)	DNIT, 2011 (m/km)	SmartIRI (m/km)	Legenda de cores
Excelente	-	-	0 < IRI < 2	 Verde escuro
Boa	IRI < 2	IRI < 2,7	2 < IRI < 4	 Verde claro
Regular	2 < IRI < 4	2,7 < IRI < 3,5	4 < IRI < 6	 Laranja
Ruim	4 < IRI < 6	3,5 < IRI < 5,5	6 < IRI	 Vermelho
Péssima	6 < IRI	5,5 < IRI	-	-

Fonte: Adaptado de Almeida (2018).

Conforme orienta Almeida (2018), para a utilização do aplicativo, o *smartphone* deve ser calibrado previamente na posição vertical. Após a calibração, o aparelho deve ser fixado no para-brisa do veículo por meio de um suporte e a avaliação deve ser iniciada quando o veículo estiver em movimento, com velocidade de 60 a 80 km/h. Os resultados são apresentados em tabelas em formato .csv e também em formato .kml, que informará por meio de mapa, o trecho segmentado com escala de cores.

Segundo Almeida (2018), o *SmartIRI* pode ser classificado como um equipamento do tipo resposta tendo em vista que depende das condições de irregularidade do pavimento para a excitação do sistema.

Outrossim, o objetivo do aplicativo é torná-lo simples e fácil de operar, de forma eficiente em termos de recursos para que não afete a vida útil da bateria do *smartphone*, bem como o desempenho geral do dispositivo enquanto o aplicativo estiver em funcionamento (ALMEIDA, 2018).

A respeito da acurácia dos resultados obtidos, os levantamentos efetuados por Almeida (2018) expuseram que os valores obtidos pelo *SmartIRI* foram condizentes com outros métodos ou classes de equipamentos na maioria dos testes, como o VSA, o perfilômetro a laser e o nível e mira de precisão.

2.2.7 Estado da arte

Com relação a acurácia dos levantamentos realizados com o aplicativo *SmartIRI*, pesquisadores compararam o aplicativo com outros métodos de levantamento. Dentre estes pesquisadores, Fernandes (2018) realizou a análise comparativa dos métodos de avaliação procurando certificar se, estatisticamente, havia uma correlação entre os valores IRI e VSA.

Para tanto, Fernandes (2018) desenvolveu uma linha de tendência para os valores de IRI e VSA em relação aos seus trechos levantados, sendo obtido um coeficiente de determinação de 0,9262, comprovando que os dados se correlacionam de maneira adequada segundo a equação $y = -1,5298x + 9,7481$.

Além disso, Fernandes (2018) salienta que o IRI permitiu uma análise mais detalhada da qualidade do rolamento da via e concluiu que a avaliação funcional de pavimentos com auxílio de *smartphones* é uma alternativa satisfatória de análise preliminar, menos sujeita a fatores subjetivos, tais como opinião e sensibilidade de avaliadores.

Neste sentido, Castro *et al.* (2019) também realizou a análise comparativo do aplicativo com o VSA. Nesta análise, concluiu que os resultados obtidos pelo aplicativo refletem a sensação de conforto do usuário, e, as opiniões dos avaliadores, representadas pelo VSA, correlacionam-se fortemente com os valores de IRI.

Ainda, Chaves *et al.* (2020) relata que quando realizadas análises comparativas entre os aplicativos da área, o *SmartIRI* e *RoadLab*, o aplicativo *SmartIRI*, por ser um aplicativo

nacional, obteve vantagem na simplicidade e objetividade da sua operação, além de não ter acontecido falhas durante seu uso, mensurando todo o trecho especificado. Já o aplicativo *RoadLab* apresentou algumas falhas durante o seu uso, deixando de mensurar algumas partes do trecho.

Segundo Almeida *et al.* (2019), os aplicativos *RoadLab* e *SmartIRI* apresentaram resultados quantitativos distintos, devido à formulação dos modelos e à calibração em condições distintas de pavimentação. Todavia, do ponto de vista qualitativo, mostraram coerência de classificação para a maioria dos segmentos avaliados. Apesar disso, sugere-se para levantamentos de irregularidade longitudinal em rodovias nacionais de pavimentação asfáltica a utilização preferencial do *SmartIRI*.

Durante o desenvolvimento do aplicativo, Almeida (2018) realizou o comparativo entre o aplicativo e o método Nível e Mira e obteve resultados de IRI próximos, sendo que a maior diferença calculada foi de 11% nos 100m iniciais entre o método de Nível e Mira e o *SmartIRI*.

Ainda, para fins de comparativos, Almeida (2018) analisou os dados levantados com o perfilômetro a laser e o *SmartIRI* e obteve um valor de 0,8881 para o R^2 , o que indica um alto coeficiente de determinação, e obteve a equação $y=0,951x+0,3752$, onde percebeu maiores variações entre as medidas dos aparelhos quanto menor fosse o valor da irregularidade. Porém, segundo Almeida (2018), devido ao fato do aplicativo, na época, estar em fase de elaboração e calibração, não era possível concluir a informação quanto aos resultados obtidos na análise.

Portanto, quando for comparar resultados de avaliações de irregularidade medidos com equipamentos de classes diferentes, deve-se ter cautela e garantir que estes estejam bem calibrados, para que se obtenha resultados confiáveis (BARRELA, 2008).

2.2.8 Histórico da rodovia SC-150

No ano de 2006, foi executada a reciclagem da rodovia SC-303 (atual SC-150) no trecho entre a BR – 282 (Joaçaba) até Lacerdópolis, numa extensão de 15,2km. A obra ficou paralisada de outubro de 2006 até março de 2007, sendo reiniciada em abril de 2007. Assim, os outros 14,8 km, de Lacerdópolis até Capinzal, foram executados de abril de 2007 até outubro do mesmo ano, sendo a obra inaugurada em novembro de 2007 (TRICHÊS, 2013).

Antes de ser realizada a reciclagem do pavimento (TRICHÊS, 2013), suas camadas eram compostas por:

- a) Revestimento executado com CAUQ, com espessura variado de 6 a 9 cm;
- b) base composta por uma camada de brita graduada de basalto com espessura de 20 cm;
- c) sub-base constituída por uma camada de brita graduada com espessura 20 cm;
- d) subleito formado por material argiloso com CBR de 8%.

Após ser realizada a reciclagem do pavimento, as camadas ficaram com espessuras e características conforme citadas por Trichês (2013):

- a) Revestimento com espessura de 6,5 cm, módulo resiliente de 4200 MPa e coeficiente de Poisson de 0,27;
- b) base reciclada com espessura de 21 cm, módulo resiliente de 1000 MPa e coeficiente de Poisson de 0,20;
- c) base remanescente com espessura de 8cm, módulo resiliente de 32 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35;
- d) sub-base com espessura de 20cm, módulo resiliente de 74 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35;
- e) subleito com módulo resiliente médio de 180 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45.

Segundo Trichês (2013), para a reciclagem foi necessária a incorporação de 15% de agregado virgem para composição granulométrica e de 3% de cimento, efetuando a trituração do revestimento junto com parte da base, posterior execução de uma camada de tratamento superficial para liberação do tráfego e execução da camada de revestimento com adição de asfalto borracha.

Por fim, no ano de 2012, Trichês (2013) relata que analisou a irregularidade longitudinal do trecho com auxílio de perfilômetro a laser, onde concluiu que a irregularidade média do pavimento no Segmento de Referência, trecho com extensão de aproximadamente 1,6 km localizado entre Lacerdópolis e Ouro, foi de 2,29 m/km para o lado direito e 2,13 m/km para o lado esquerdo, resultando em uma irregularidade baixa que atenderia o critério de aceitação de obras de restauração de pavimentos restaurados com concreto asfáltico estabelecido por DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2013), de $IRI \leq 2,7$ m/km.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO TRECHO ANALISADO NO ESTUDO

O segmento em estudo está localizado na Rodovia Engenheiro Lineu Bonato SC-150, entre os municípios de Joaçaba (BR-282) e Ouro (rotatória) em Santa Catarina, contemplando aproximadamente 24,8 km de extensão. Este segmento faz parte das obras de estudo do desempenho de pavimentos, com a utilização da reciclagem de pavimentos com adição de cimento para ampliação da capacidade e modernização da rodovia. O Mapa 1 demonstra o trecho em estudo.

Mapa 1 - a) Trecho de estudo da SC-150 (24,8 km), b) Segmento monitorado (1,5 km) – comparação com Salla (2018)



Fonte: Google Maps (2021).

A rodovia é composta por duas faixas com largura de 3,50 m e acostamentos com largura de 2,0 m.

Os pontos extremos considerados para início e fim do estudo do trecho da SC-150 foram dois acostamentos estratégicos, que possibilitavam a correta calibragem do *smartphone* e ofereciam segurança ao motorista do veículo. Estes pontos de início e fim do percurso podem ser visualizados no Mapa 2 e Mapa 3.

Mapa 2 - Acostamento próximo a Joaçaba



Fonte: Google Earth (2021).

Mapa 3 - Acostamento próximo a Ouro



Fonte: Google Earth (2021).

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS PARA O LEVANTAMENTO

Para o levantamento da irregularidade longitudinal, utilizando o aplicativo *SmartIRI*, foi necessário um veículo, preferencialmente da categoria de passeio, um *smartphone* com GPS e acelerômetro, e um suporte veicular para *smartphone*.

Para os levantamentos alvo deste estudo utilizou-se o veículo Sandero Stepway da Renault, motor 1.6, ano 2011, sendo que durante o percurso este estava com dois ocupantes, o motorista e o carona para auxiliar no monitoramento do aplicativo.

Para a coleta de dados, empregou-se o *smartphone* modelo Samsung Galaxy A-51 e um suporte suficientemente rígido da X-Cell.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

Por se tratar de um levantamento realizado com auxílio de um aplicativo recentemente desenvolvido, não existem normas técnicas a serem seguidas, apenas as orientações e tutoriais do próprio *SmartIRI*.

Para obter o acesso e liberação para utilização do aplicativo, entrou-se em contato com os desenvolvedores do *SmartIRI* via e-mail, os quais retornaram explicando o funcionamento e maneira de utilização do aplicativo, bem como liberando o acesso para o período de desenvolvimento do estudo, de forma gratuita.

Em seguida, para este estudo, realizou-se três levantamentos do trecho completo, entre Joaçaba e Ouro, com a velocidade média de 80 km/h, e um levantamento completo com a velocidade média de 60 km/h. Ainda, buscando a correlação de velocidades medidas com o perfilômetro a laser, realizou-se dois levantamentos adicionais com velocidades de 35km/h e 50 km/h, sendo que estes foram realizados em um trecho de menor extensão da rodovia, aproximadamente 300 metros, localizado entre Joaçaba e Lacerdópolis.

Todos os levantamentos foram realizados em condições climáticas de pista seca, em dias ensolarados, para que não houvesse a modificação das condições de atrito entre o pneu e o pavimento. Os levantamentos foram realizados nos meses de abril e maio, preferencialmente em finais de semana, para que o fluxo de veículos fosse menor e não influenciasse nas velocidades a serem mantidas.

Ressalta-se que se utilizou a mesma metodologia de levantamento de dados para todos os levantamentos, sendo que a única variável era a velocidade média de percurso. Deste modo, inicialmente fixou-se o suporte no para-brisas do veículo e ajustou-se para que este se mantivesse rígido. Posteriormente, com o veículo parado no acostamento e desligado, acoplou-se o *smartphone* ao suporte, na posição horizontal, e realizou-se a calibração com o próprio aplicativo obtendo um valor satisfatório que pode ser observado na Fotografia 1.

Fotografia 1 – Calibração do aplicativo



Fonte: os autores.

Em seguida, configurou-se o levantamento em intervalos de 20 metros e iniciou-se a medição no *SmartIRI*, ainda com o veículo parado. Salienta-se que esta atitude foi adotada para evitar o risco de prejudicar a calibragem do aplicativo durante o acionamento do início da medição com o veículo em movimento, bem como ao fato de os trechos antecedentes ao levantamento serem rótulas e não permitirem maiores velocidades de circulação.

Após acionar a medição do aplicativo, deu-se a partida no veículo e percorreu-se o trecho do estudo seguindo as orientações de velocidades a serem mantidas, entre 60km/h e 100km/h, mantendo a média de preferencialmente 80 km/h para o levantamento principal de caracterização do trecho, velocidade máxima permitida na rodovia.

Ressalta-se que um trecho em específico estava compreendido em perímetro urbano da cidade de Lacerdópolis, cidade entre Joaçaba e Ouro, onde a velocidade média foi reduzida. Ademais, o trecho percorrido possuía curvas consideráveis, onde era necessário conduzir o veículo com menores velocidades, preconizando a segurança dos usuários da rodovia.

Devido as velocidades a serem mantidas, em trechos que eram providos de terceira faixa, priorizou-se trafegar pela faixa da direita, destinada a pista lenta. Sabe-se que esta, por se caracterizar pelo tráfego de caminhões pode apresentar resultados de irregularidade ascendentes. Finalmente, chegando ao ponto final da medição, o acostamento, parou-se o veículo e finalizou-se a medição no aplicativo.

Outrossim, também realizou-se o levantamento fotográfico de pontos da rodovia que poderiam vir a contribuir com a majoração do índice de irregularidade. Finalizados os levantamentos, realizou-se o *upload* dos dados coletados para posterior tratamento e análise estatística descritiva.

3.4 METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE DADOS

Os dados coletados pelo *SmartIRI* que foram analisados nesta pesquisa de natureza qualitativa, são em formato .kml e .xlsx. Os dados .kml foram processados no *Google Earth*®, onde verificou-se por meio da escala de cores, a variação do IRI ao longo da extensão do trecho de estudo da rodovia SC-150. Ademais, os dados em formato .xlsx foram processados pelo programa *Excel*®, onde realizou-se a confecção de gráficos, que permitiram melhor visualização

do comportamento da irregularidade na rodovia, a média dos valores de IRI, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Durante a análise estatística descritiva foram desconsiderados pontos que descaracterizavam o levantamento realizado. Nos gráficos, removeu-se os pontos de início e fim do levantamento, onde o veículo encontrava-se em aceleração e desaceleração. Conquanto, para as médias, exclui-se o início, fim e o trecho onde encontrava-se o perímetro urbano do município de Lacerdópolis, sendo que este possuía lombadas e faixas de travessia elevadas que também poderiam vir a prejudicar e alterar os resultados obtidos ao longo da rodovia.

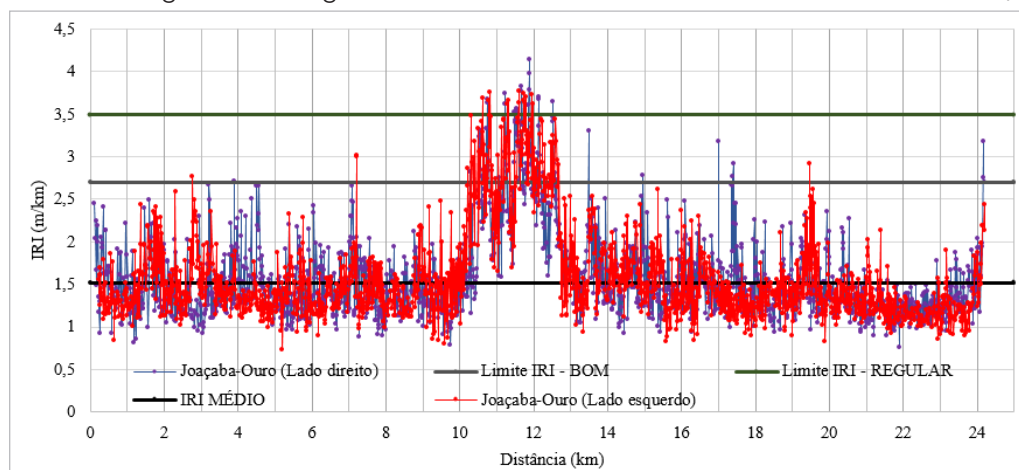
Ainda, teve-se a necessidade de obter uma relação de dados única para os três levantamentos completos da via, realizados com velocidade de 80km/h, percorrida no sentido Joaçaba-Ouro pela faixa da direita e pela da esquerda, com o auxílio dos valores médios obtidos de IRI em levantamentos com distâncias médias acumuladas coincidentes, devido aos diferentes intervalos oferecidos pelo aplicativo.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Tendo os valores de irregularidade, obtidos com a velocidade de 80 km/h, simplificados em forma de um único levantamento, foram gerados gráficos de dispersão com linhas para analisar o comportamento do Índice de Irregularidade Longitudinal no eixo y, em m/km, e a extensão do trecho no eixo x, em quilômetros (km). A fim de facilitar a visualização dos resultados, foram inseridos no gráfico os limites estabelecidos pelo DNIT (2011), para a classificação da condição da trafegabilidade da rodovia com base na irregularidade longitudinal ($IRI \leq 2,7$ – Boa; $2,7 > IRI \leq 3,5$ – Regular). O Gráfico 3 mostra a variação da irregularidade nas faixas de tráfego para os dois sentidos, a faixa da direita e a da esquerda da SC-150, entre os municípios de Joaçaba e Ouro, sendo que o acostamento das imediações da Mecânica Trevo de Joaçaba foi considerado como km-0.

Gráfico 3 - Irregularidade longitudinal na SC-150 - levantamento com velocidade de 80 km/h



Fonte: os autores.

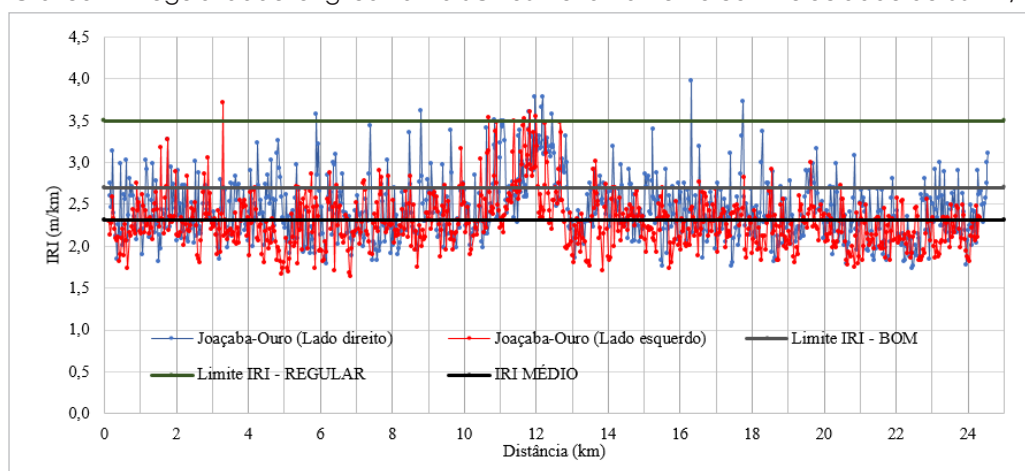
Percebe-se, por meio do Gráfico 3, que a irregularidade em ambas as faixas de rolamento é semelhante, porém a faixa da direita, considerando sentido Joaçaba-Ouro, apresentou maiores resultados de irregularidade médios, de 1,52 m/km, que refletem a piora da condição de conforto ao trafegar pela faixa quando comparada com a da esquerda, que apresentou 1,50 m/km.

Ainda, percebe-se um trecho com resultados de irregularidade elevados próximo ao centro do gráfico, entre a distância de 10 km e 13 km, aproximadamente. Este trecho apresentou valores superiores em relação à média do restante da rodovia em 1,35 m/km. Salienta-se que este local corresponde ao perímetro urbano do município de Lacerdópolis, no qual foi necessário trafegar em velocidades menores e onde existem 5 lombadas e 3 faixas de travessia elevadas, responsáveis pela elevação do Índice de Irregularidade.

Quando analisado a média da irregularidade da rodovia, englobando os dois sentidos, obteve-se um valor de 1,51 m/km, o que segundo DNIT (2011) classifica a rodovia como "Boa", enquanto as classificações do *SmartIRI* a enquadram como "Excelente". Ainda em relação a classificação qualitativa do aplicativo *SmartIRI*, 84,04% dos trechos da faixa da direita foram classificados como "Excelente", 15,83% como "Bom" e 0,12% como "Regular", enquanto na faixa da esquerda obteve-se 84,66% de trechos classificados como "Excelente", 15,28% como "Bom" e 0,06% como "Regular".

Após realizado o levantamento da rodovia SC-150 com velocidade de 60 km/h, foram gerados gráficos de dispersão com linhas, relacionando os Índices de Irregularidade Longitudinal com a extensão do trecho, para melhor visualização dos resultados obtidos. O Gráfico 4 mostra a variação da irregularidade longitudinal nos dois sentidos, ao longo da pista da direita e da esquerda da SC-150 entre as cidades de Joaçaba e Ouro.

Gráfico 4 - Irregularidade longitudinal na SC-150 - levantamento com velocidade de 60 km/h



Fonte: os autores.

Ao analisar-se o Gráfico 4, percebe-se que a faixa da direita se mantém com uma irregularidade mais elevada em relação a da esquerda. Este fato é confirmado pelas médias obtidas, onde na faixa da direita obteve-se um IRI médio de 2,40 m/km,

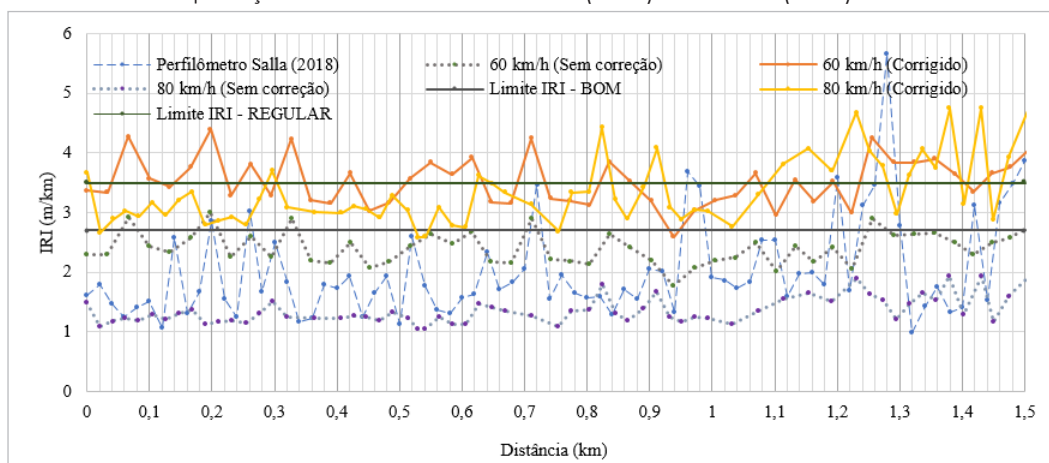
enquanto a faixa da esquerda resultou em 2,24 m/km. Ademais, verificou-se a média da irregularidade da rodovia como um todo, onde para os levantamentos realizados em velocidade de 60km/h, obteve-se um valor de 2,32 m/km, o que mantém a classificação do DNIT (2011), sendo o trecho analisado considerado "Bom".

Outrossim, quando analisado a classificação qualitativa do aplicativo *SmartIRI* a 60 km/h, percebeu-se que 8,61% dos trechos da faixa da direita foram classificados como "Excelente" e 91,39% como "Bom", enquanto na faixa da esquerda obteve-se 16,04% de trechos classificados como "Excelente" e 83,96 % como "Bom".

Quando comparado o Gráfico 3 com o Gráfico 4, bem como os índices de irregularidade médios obtidos nos dois levantamentos, a 80 km/h e 60 km/h, percebe-se que para um mesmo trecho, diminuindo a velocidade média de percurso, a irregularidade média aferida pelo aplicativo aumenta em aproximadamente 54%. Deste modo, elencou-se duas possíveis explicações para este fato, primeiramente, existe o fato da envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, devido à absorção de pequenas saliências pelo contato com o pneu, e, a segunda possibilidade estaria ligada ao fato de que o ruído inerente ao sistema produzido pelos *smartphones* tem efeito maior em baixas velocidades, já que sua amplitude se aproxima do sinal medido e, com isso, diminui sua relação com a irregularidade real do pavimento.

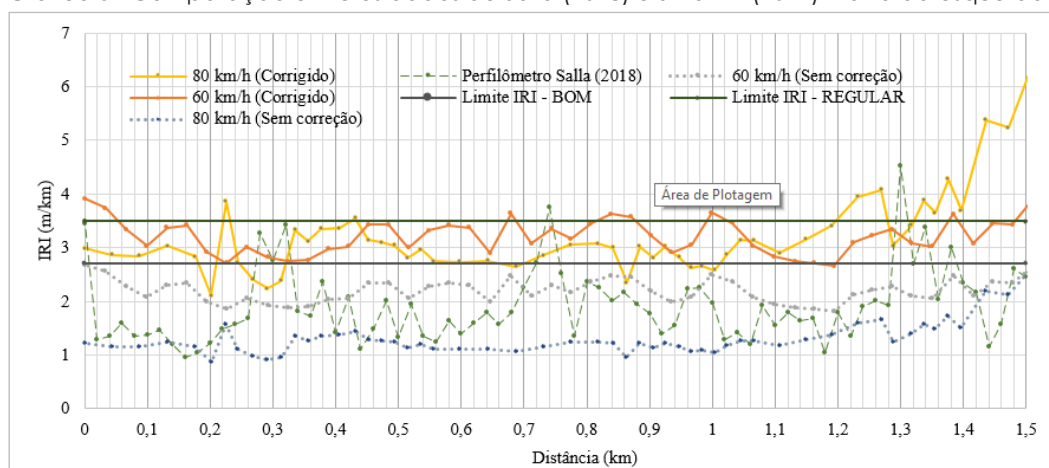
Conquanto, para a análise comparativa dos resultados obtidos por Salla (2018), com perfilômetro a laser, com os dados obtidos em 2021, com o aplicativo *SmartIRI*, necessitou-se obter uma relação, que auxiliasse na correlação dos dados, transformando os índices obtidos com 60 km/h e 80 km/h, em índices equivalentes à velocidade de 35 km/h, tendo em vista a variação de IRI observada quando altera-se a velocidade de percurso. Logo, para encontrar esta correlação entre os dados, fez-se necessário comparar os valores obtidos em um trecho de levantamento menor, de aproximadamente 300 metros, realizado em velocidades de 35 km/h, com os valores de velocidade de 60 km/h e 80 km/h. Então, para encontrar o valor de correlação, dividiu-se os IRIs obtidos a 35 km/h, pelos encontrados a 60 km/h e 80 km/h. Ao final, tendo estes valores de divisão para cada intervalo de levantamento, realizou-se a média das relações obtidas em cada velocidade. Por fim, utilizou-se este valor médio como fator de correção para adequar os valores obtidos com o *SmartIRI*, a 60 km/h e 80 km/h, para posteriormente, realizar a análise comparativa com o segmento monitorado de Salla (2018). Para melhor visualização, gerou-se o Gráfico 5 da faixa da direita, e o Gráfico 6 da faixa da esquerda, com as séries correspondentes aos dados de levantamento de Salla (2018) com perfilômetro a laser em velocidade de 35 km/h e os dados de levantamento realizados com o *SmartIRI* em velocidades de 60 km/h e 80 km/h, com e sem correção. Sendo assim, repetiu-se a estrutura de um gráfico de dispersão com linhas, correlacionando o IRI, no eixo y, ao longo da extensão do trecho, eixo x.

Gráfico 5 - Comparação entre os dados de Salla (2018) e SmartIRI (2021) - faixa da direita



Fonte: os autores.

Gráfico 6 - Comparação entre os dados de Salla (2018) e SmartIRI (2021) - faixa da esquerda



Fonte: os autores.

Percebeu-se que os valores levantados que não foram corrigidos com a correlação da velocidade de 35 km/h, apresentaram IRIs menores que os pontos corrigidos. Tendo em vista o fato de que a rodovia não passou por processo de recuperação em grande escala entre os anos de 2018 e 2021, apenas manutenções corretivas e manutenções estruturais, em trechos que apresentaram deslizamentos devido às volumosas precipitações no ano de 2018, conforme informações da SIE (SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE), considera-se que os valores que não foram corrigidos, não caracterizam a condição real da rodovia para fins comparativos.

Segundo os resultados expressos por Salla (2018), o segmento da rodovia caracterizava-se como “Bom”, conforme os parâmetros de DNIT (2011), tendo um IRI médio de 2,01 m/km na faixa da direita e 1,91 na faixa da esquerda. Conquanto, percebe-se que nos levantamentos realizados em 2021, houve uma piora das condições de irregularidade longitudinal deste segmento da rodovia, obtendo-se um IRI médio de 3,42 m/km na faixa da direita e 3,19 m/km para a faixa da esquerda, o que o classifica como “Regular”. Ademais, para auxiliar na análise comparativa entre os resultados obtidos no segmento monitorado,

aferiu-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos levantamentos, que podem ser visualizados na Tabela 2, onde os valores apresentados para as velocidades de 60 km/h e 80 km/h são os corrigidos.

Tabela 2 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos levantamentos no segmento monitorado

Dados IRI	Pista direita			Pista esquerda		
	Salla (2018)	60 km/k (SmartIRI)	80 km/k (SmartIRI)	Salla (2018)	60 km/k (SmartIRI)	80 km/k (SmartIRI)
Média (m/km)	2,01	3,52	3,33	1,91	3,19	3,19
Desvio Padrão (m/km)	0,83	0,41	0,56	0,96	0,31	0,75
Coef. Variação (%)	41,25	11,57	16,96	36,14	9,65	23,58

Fonte: os autores.

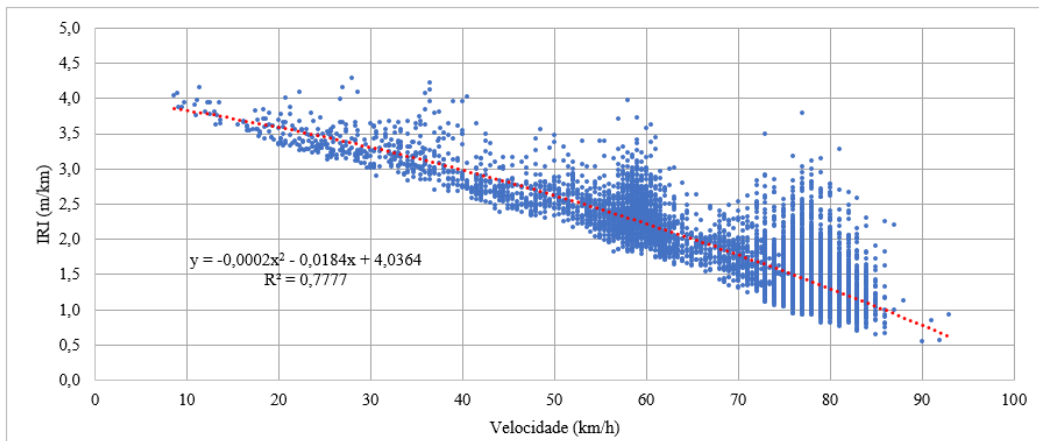
A Tabela 2 comprova a piora das condições de conforto da rodovia, em função do aumento do IRI médio no levantamento de 2021. Ainda, percebe-se que a faixa da direita, considerando o referencial Lacerdópolis-Ouro, apresenta IRIs mais elevados, quando comparada com a faixa da esquerda.

Observa-se, na Tabela 2, coeficientes de variação elevados, acima de 30%, que caracterizam a alta dispersão dos dados da amostra, nos levantamentos analisados por Salla (2018) com perfilômetro a laser, fato que possivelmente ocorreu devido a sensibilidade do equipamento utilizado. Conquanto, nos levantamentos realizados com o *SmartIRI*, obteve-se coeficientes de variação menores, os quais indicam média dispersão de dados, que podem ter ocorrido devido a menor precisão do aplicativo quando comparado com o perfilômetro, e também puderam ter sido influenciados pelo local específico da trajetória da roda do veículo, onde algumas patologias podem não ter sido capturadas.

Para fechamento do estudo, gerou-se o Gráfico 7, o qual relaciona as velocidades, no eixo x, com Índices de Irregularidade Longitudinal, no eixo y. Este gráfico engloba todos os dados de levantamento realizados ao longo da rodovia SC-150 com o aplicativo *SmartIRI*, nas velocidades de 35km/h, 50 km/h, 60 km/h e 80 km/h. A principal ideia do gráfico é poder estimar o Índice de Irregularidade Longitudinal da rodovia SC-150 quando houver apenas os dados de velocidade de percurso, ou seja, quando não for possível realizar o levantamento da irregularidade no trecho. Para isso, é necessário apenas substituir o valor da velocidade de percurso na Equação 1, na incógnita “x”, para que se obtenha um valor de IRI na incógnita “y”.

$$y = -0,0002x^2 - 0,0184x + 4,0364 \quad (1)$$

Gráfico 7 - Índice de Irregularidade Longitudinal da rodovia SC -150 em função da velocidade de percurso



Fonte: os autores.

4.2 VERIFICAÇÃO *IN LOCO* DOS LOCAIS COM IRREGULARIDADE ELEVADA

Uma análise foi feita *in loco* por meio de registro fotográfico onde verificou-se alguns defeitos que contribuem para a majoração da irregularidade longitudinal, quais sejam: os remendos, os buracos e as trincas já com alta severidade. Observou-se, durante o processo de levantamento fotográfico, um maior número de patologias na faixa da direita, o que explica os valores elevados do IRI no registro de dados.

Esta prevalência de patologias da faixa da direita pode estar aliada à predominância dos cortes desta região, os quais elevam a umidade e contribuem para formação de defeitos no pavimento.

Durante os levantamentos realizados, pôde-se constatar que as patologias que mais predominam no pavimento são as trincas longitudinais e transversais, seguidos pelos remendos. Devido às recentes manutenções corretivas de tapa-buraco, o número de buracos na rodovia é reduzido. Ainda foram observadas patologias do tipo couro de jacaré e afundamentos do pavimento em alguns locais da rodovia, porém em menor repetição. Algumas das patologias registradas podem ser observadas na Fotografia 2.

Fotografia 2 - a) Buraco, b) Buraco e deterioração de remendo, c) Couro de jacaré, d) Buraco e deterioração de remendo



Fonte: os autores.

Quanto as trincas longitudinais, a maioria delas prevaleceram mesmo após as manutenções corretivas realizadas. Um exemplo desta permanência é a trinca longitudinal da Fotografia 3, situada no trecho de estudo comparativo com o perfilômetro, onde Salla (2018) relatou a mesma trinca em sua análise. Uma possível causa para o surgimento e agravamento desta trinca é a instabilidade do talude, pois é visível a inclinação das árvores e também da cerca deste perímetro da pista de rolamento.

Conquanto, entre as cidades de Joaçaba e Ouro, existem três pontes, as quais apresentam desníveis facilmente perceptíveis ao trafegar com o veículo em suas cabeceiras, possivelmente causados pelo adensamento do aterro dos encontros, sendo que na ponte que faz a divisa entre Joaçaba e Lacerdópolis o pico de IRI, correspondente a 3m/km, majorado pela deformação da pista, o que é perceptível no km-7 do Gráfico 1. Ademais, na ponte localizada entre o km-5 e km-6 dos Gráficos 1 e 2, existem buracos e remendos na mesma região da cabeceira, que podem ser visualizados na Fotografia 3, que contribuem para a elevação dos valores de IRI.

Fotografia 3 - a) Trinca longitudinal, b) Trinca longitudinal - ampliação, c) Patologias presentes na cabeceira da ponte



Fonte: os autores.

Baseado nos fatos levantados, o trecho da SC-150 entre Joaçaba e Ouro está com boas condições de trafegabilidade, considerando terem se passado aproximadamente 4 anos além do período de vida útil determinado, de 10 anos, a partir da reciclagem profunda com cimento Portland finalizada em 2007. Porém, para melhorar as condições de trafegabilidade da rodovia, sugere-se que sejam realizadas manutenções preventivas e corretivas no trecho de estudo. Para locais com trincas longitudinais e transversais, indica-se a estabilização dos aterros e taludes, seguida pela execução de remendos superficiais e profundos, dependendo da gravidade da patologia. Para os remendos deteriorados, indica-se a remoção destes, seguido da execução de novos remendos. Ainda, para locais que apresentam buracos, indica-se a execução de remendos para evitar o agravamento da patologia. Por fim, poderia finalizar o processo de melhoramento, com a execução de um microrresvestimento asfáltico na extensão do trecho de estudo.

5 CONCLUSÃO

Com o advento da tecnologia, o emprego de aplicativos para *smartphones* na avaliação das características funcionais do pavimento facilita o processo de levantamento de dados, apresenta maior acurácia em relação aos métodos subjetivos e o torna menos dispendioso, benefícios em potencial para o setor rodoviário, principalmente dos países em desenvolvimento que possuem restritos investimentos do setor público.

Neste cenário, com o desenvolvimento deste estudo foi possível perceber a importância dos levantamentos da irregularidade longitudinal e a sua correspondência com o conforto ao rolamento e custos de operação dos veículos em pavimentos rodoviários com revestimento em concreto asfáltico.

Verificou-se, que para a faixa da direita do trecho de estudo, tomando como referencial o sentido Joaçaba-Ouro, a média de irregularidade obtida foi maior, tanto a 60 km/h, em 0,16 m/km, quanto a 80 km/h, em 0,02 m/km, refletindo a piora da condição de rolamento da faixa, quando comparada com a faixa da esquerda, fato que pode estar aliado ao maior número de patologias neste sentido de tráfego, possivelmente devido a predominância dos cortes que elevam os índices de umidade do local.

Outrossim, percebeu-se a sensibilidade do aplicativo durante o percurso de levantamento com velocidades médias variadas, de 35 km/h, 50 km/h, 60 km/h e 80 km/h, onde obteve-se uma relação de quanto menores as velocidades de trajeto, maiores são os valores de IRI obtidos pelo aplicativo. Este fato pode ser explicado pela envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, devido à absorção de pequenas saliências pelo contato com o pneu, e também pode estar ligado ao fato de que o ruído inerente ao sistema produzido pelos *smartphones* tem efeito maior em baixas velocidades, já que sua amplitude se aproxima do sinal medido e assim, diminui sua relação com a irregularidade real do pavimento.

De posse da relação entre variação de velocidade e IRI, realizou-se a comparação do trecho de 1,5 km, alvo de estudo de Salla (2018), na qual percebeu-se que o aplicativo possui certa correlação com o perfilômetro a laser, onde ambos identificaram os picos de IRI do trecho em estudo, bem como a sua variação. Verificou-se também, uma piora da classificação deste segmento da rodovia, onde em 2018 poderia ser classificado com condição de trafegabilidade "Boa" e em 2021 como "Regular", devido à elevação do IRI médio obtido. Ademais, neste trecho também comprovou-se que a faixa da direita apresenta piores condições de rolamento que a da esquerda, quando considerado o referencial Joaçaba-Ouro.

Ainda, baseado nos fatos levantados, concluiu-se que o trecho de estudo da rodovia SC-150, entre Joaçaba e Ouro, está em boas condições de trafegabilidade, mesmo tendo decorrido quase 14 anos após a reciclagem profunda com cimento Portland. Este fato retrata o bom comportamento da rodovia quando submetida a este tipo de reciclagem, tendo em vista que a rodovia ultrapassou o tempo de vida útil estimada, sem recuperações de

grande escala, apenas com manutenções corretivas e estruturais. Salienta-se, que caso a rodovia tivesse sido submetida a manutenções periódicas e preventivas, esta poderia estar em condições de trafegabilidade e conforto ainda melhores do que as atualmente aferidas.

Quanto a utilização do aplicativo, apesar deste obter os valores de irregularidade de maneira indireta, os resultados refletiram a condição real de conforto da rodovia, sendo que os índices de irregularidade sofreram majoração quando o trecho apresentava algum tipo de patologia. Sendo assim, indica-se o aplicativo para levantamentos em rede, que fornecem uma noção geral da rodovia, conquanto, para projetos executivos, prefere-se a utilização de equipamentos de maior sensibilidade, como o perfilômetro a laser.

Neste sentido, quanto a velocidade média de levantamento a ser mantida com o *SmartIRI*, indica-se manter o intervalo de velocidade entre 60 km/h e 80 km/h, conforme indicam os desenvolvedores do aplicativo, porém, a velocidade que melhor irá traduzir a sensação de conforto dos usuários da rodovia será a velocidade de operação permitida nela, tendo em vista que está será a velocidade que os motoristas irão trafegar.

Por fim, recomenda-se para trabalhos futuros outros levantamentos por faixa de tráfego, que permitam comparar outros métodos de levantamento tradicionais com o aplicativo, por exemplo, a realização do levantamento em um mesmo período com o perfilômetro a laser e o *SmartIRI* na rodovia SC-150, a fim de encontrar a correlação entre os métodos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Fernando Silva. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

ALMEIDA, Lucas Cavalcante de. **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.

ALMEIDA, Lucas Cavalcante *et al.* Análise de aplicativos medidores da irregularidade longitudinal em pavimentos asfálticos. *In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET*, 33., 2019, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú, p.1281-1292, nov. 2019.

BARELLA, Rodrigo Maluf. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Joge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras. 2006. 501 p.

BISCONSINI, Danilo Rinaldi. **Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BRASIL. 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, 2006a. 310p. (IPR. Publ. 720).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006b. 274p. (IPR. Publ. 719).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011. 189p. (IPR. Publ. 745).

CASTRO, Cecília Catarina Oliveira de *et al.* Análise das condições de superfície do pavimento por meio do VSA e do IRI obtido com o aplicativo *SmartIRI*: estudo de caso aplicado à rodovia CE-401. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., 2019, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Balneário Camboriú, p.1420-1430, nov. 2019.

CHAVES, José Wémenson Rabelo *et al.* Análise comparativa da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário em serviço por meio de aplicativos para *smartphone*. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 1-15, dez. 2020.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: Relatório Gerencial**. Brasília, 238 p. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Instrução de Serviço/DG Nº13**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2013.

FERNANDES, Pedro Guilherme Pinheiro Santos. Avaliação das condições de superfície de pavimentos rodoviários por meio do VSA e do IRI obtido por aplicativo para *smartphones*. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 32., 2018, Gramado. **Anais** [...]. Gramado, p.1212-1221, nov. 2018.

GOOGLE EARTH. 2021. Disponível em: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: maio 2021.

KARAMIHAS, S.M. SAYERS, M.W. **The Little Book of Profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles**. The Regent of the University of Michigan. 1998.

LIRA, Elen Sara Aguiar Bastos. **Análise da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego através de aplicativo para *smartphone***. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Fortaleza, 2020.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 638p.

MESQUITA, José Carlos Lobato. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária**. Florianópolis, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2001. XV, 135 p. Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil). 2001.

SALLA, Rodrigo Limana. **Projeto de restauração de um trecho da SC-150 entre as cidades de Lacerdópolis e Ouro no KM 11**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008. 128p.

TRICHÊS, Glicério. **Desempenho da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC 303**. Projeto de Pesquisa. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

YSHIBA, José Kiynga. **Modelos de desempenho de pavimentos: estudo de rodovias do estado do Paraná**. 2003. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

