

## ANÁLISE DE APLICATIVOS MEDIDORES DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

**Lucas Cavalcante de Almeida**

Centro Universitário Christus – Unichristus

**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

**Jorge Luiz Oliveira Lucas Júnior**

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

**José Wémenson Rabelo Chaves**

Cisne Faculdade de Quixadá

### RESUMO

Este artigo analisa as condições de superfície de uma rodovia pavimentada com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado à Quente, em seis faixas de tráfego, numa extensão de 4,1 km, utilizando dois aplicativos para *smartphones*, denominados SmartIRI e RoadLab, que mensuram a irregularidade longitudinal e a expressam por meio do Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index* – IRI). O estudo demonstrou que a utilização dos aplicativos pode ser uma alternativa viável aos métodos tradicionais de avaliação da qualidade funcional das rodovias brasileiras, devido ter um baixo custo, fácil operação e acurácia melhor que as avaliações subjetivas. Os resultados identificaram que os aplicativos forneceram valores distintos para a irregularidade longitudinal, possivelmente, devido ao processo de calibração dos modelos utilizados. No entanto, tratando-se da classificação qualitativa, os aplicativos forneceram parâmetros semelhantes e, por meio da irregularidade longitudinal, conseguiram identificar as zonas do pavimento que necessitam de manutenções por parte dos gestores rodoviários.

### ABSTRACT

This paper analyzes the surface conditions of a paved highway paved with Hot Mix Asphalt Concrete in six traffic lanes, to a length of 4.1 km, using two applications for smartphones, called SmartIRI and RoadLab, which measure the longitudinal irregularity and express it through the International Roughness Index (IRI). The study demonstrated that the use of the applications could be a viable alternative to the traditional methods of evaluation of the functional quality of the Brazilian highways, due to having a low cost, easy operation and accuracy better than the subjective evaluations. The results identified that the applications provided different values for the longitudinal irregularity, possibly due to the calibration process of the models used. However, in the case of the qualitative classification, the applications provided similar parameters and, through the longitudinal irregularity, were able to identify the areas of the pavement that require maintenance by the road managers.

## 1. INTRODUÇÃO

O que ainda se verifica no campo das avaliações de pavimentos rodoviários no Brasil são processos demorados e dispendiosos, sem normalização técnica específica, utilizando-se poucos equipamentos automatizados e com intensa dependência do ser humano para sua execução. Poucas são as aplicações das novas tecnologias no contexto nacional, restringindo-se a uma maior frequência nas rodovias de gestão privada e, em casos específicos, nas rodovias públicas, por meio de avaliações estruturais e de conforto ao rolamento.

Desse modo, os levantamentos e, por consequência, os dados obtidos por conta desses procedimentos, possuem um elevado grau de subjetividade e empirismo, além de interferir no fluxo normal do tráfego. Assim, a tomada de decisão sobre as atividades de manutenção e reabilitação a serem aplicadas na infraestrutura ao longo do tempo pode ser prejudicada e não surtir o efeito esperado, principalmente no que diz respeito à garantia da vida útil dos pavimentos e ao custo operacional veicular.

No exterior, o uso de *softwares* embarcados em veículos dotados de sensores e outros dispositivos, e, mais recentemente, aplicativos para *smartphones* e *tablets*, destinado aos processos de avaliação de pavimentos rodoviários tem se tornado recorrente. Países, como Suécia, China, Japão e Bielorrússia, por exemplo, fazem uso dos aplicativos para a obtenção de parâmetros de textura superficial e de irregularidade longitudinal durante a passagem do tráfego.

Diante do exposto, este artigo objetiva realizar uma análise comparativa de dados obtidos por dois aplicativos distintos para *smartphones* desenvolvidos para o levantamento da irregularidade longitudinal de rodovias de pavimentos asfálticos, de modo a apresentar a sua condição qualitativa do conforto ao rolamento e subsidiar o processo de tomada de decisão do órgão gestor rodoviário.

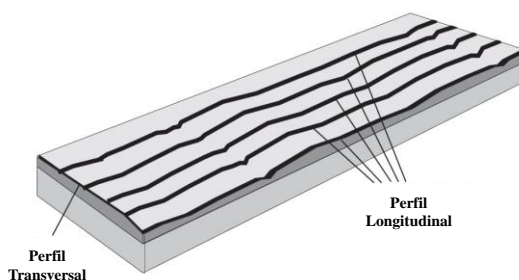
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Irregularidade longitudinal e defeitos de superfície

Conforme Bernucci *et al.* (2007), 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.

Ainda de acordo Bernucci *et al.* (2007), 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.

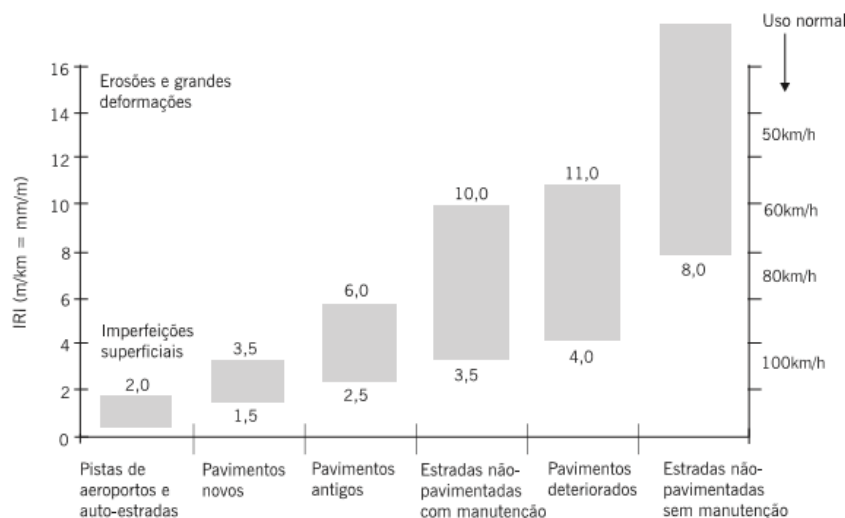
Conforme DNIT (2006), o conceito de irregularidade longitudinal de um pavimento é o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência. Esses desvios tendem a prejudicar a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via e os componentes dos veículos. A Figura 1 mostra os diferentes níveis de condições de irregularidades.



**Figura 1:** Diferentes Níveis de Irregularidade (Karamihas e Sayers, 1998)

Ainda de acordo com DNIT (2006), existem vários índices para classificar as condições de superfície do pavimento; no entanto, mais frequentemente, utiliza-se o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index – IRI*). Segundo Bernucci *et al.* (2007), o IRI é um índice estatístico, comumente expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

Conforme Karamihas e Sayers (1998), o IRI é um indicador da condição geral do pavimento, que resume as características da superfície fornecida por um sistema do tipo resposta ao impacto ou ao deslocamento vertical. Ele, também, é o índice mais apropriado quando deseja-se relacionar o custo operacional do veículo, com a qualidade do rolamento, cargas dinâmicas e estado geral da superfície. A Figura 2 mostra diferentes faixas de IRI representadas por diferentes classes de rodovias associadas a determinadas velocidades de operações.



**Figura 2:** Diversas faixas de variação do IRI (Karamihas e Sayers, 1998)

Desse modo, o IRI tornou-se reconhecidamente como um índice geral que quantifica a irregularidade da superfície e, conforme Karamihas e Sayers (1998), esse índice é fortemente correlacionado com a maioria das respostas dos veículos. Especificamente, o IRI possui alta 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.

A escala do IRI pode variar de 0 a 10 (m/km) para pavimentos de concreto asfáltico ou de tratamento superficial e uma escala de 0 a 24 (m/km) para estradas não pavimentadas. Medina e Motta (2015) ainda 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.

## 2.2. Equipamentos medidores de irregularidade longitudinal

A irregularidade pode ser medida por meio de levantamentos topográficos ou por equipamentos medidores do 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. Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade sobre os veículos e passageiros do que propriamente a irregularidade (BERNUCCI *et al.*, 2007).

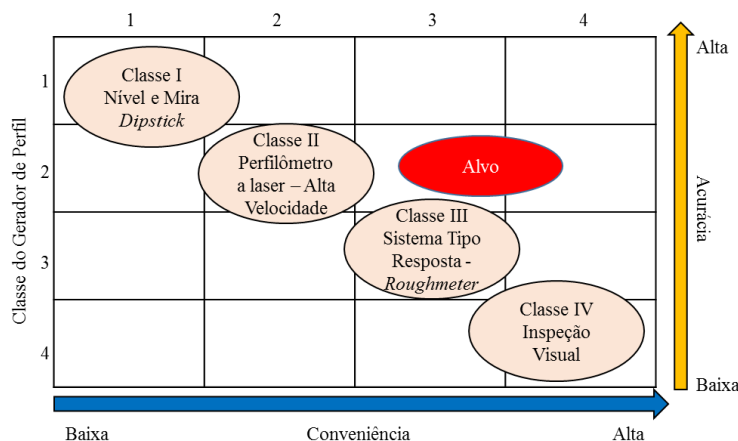
Para Bernucci *et al.* (2007), têm sido empregadas diversas classificações de equipamentos medidores de irregularidade, dependendo do tipo e princípio utilizado para o levantamento. Estudos conduzidos por Bennet (2008) produziram algumas características em relação a custos

e desempenho, assim como um ranking para avaliar os diferentes tipos de instrumentos aplicados em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

### 2.3. Utilização de *smartphones* e sensores móveis na avaliação funcional dos pavimentos

De acordo com Bisconsini (2016), alguns pesquisadores têm estudado o uso de *smartphones* para avaliação funcional dos pavimentos, principalmente na determinação da irregularidade longitudinal, devido sobretudo ao seu baixo custo, fácil operação e produtividade.

Para o mesmo autor, a utilização de *smartphones* para avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser vista como um sistema de medição do tipo resposta, apesar de não funcionar como um medidor convencional da classe, que acumula os deslocamentos entre a carroceria e o eixo traseiro do veículo, mas mede as acelerações verticais por meio de um *smartphone* fixado internamente. Por necessitar de um processo de calibração por correlação, o sistema com *smartphones* pode ser classificado como pertencente à Classe III, ou seja, do tipo resposta. Tomiyama *et al.* (2012) classificam a utilização deste dispositivo em função da classe do gerador do perfil e da sua conveniência de acordo com a Figura 3. O alvo indicado na Figura 3 se refere ao objetivo dos pesquisadores supracitados, ou seja, a obtenção de um sistema com maior acurácia e conveniência possível, mas ainda pertencente à Classe III.



**Figura 3:** Classificação dos *smartphones* em relação aos equipamentos de medição de irregularidade (Tomiyama *et al.*, 2012)

Conforme mencionado, uma das desvantagens de um sistema do tipo resposta é que ele precisa de uma calibração prévia, chamada calibração por correlação, com o objetivo de determinar, para cada velocidade operacional, a relação entre o valor do índice de irregularidade e a quantidade de deslocamentos verticais por distância percorrida medidos pelo equipamento. Devido a esse processo, os valores coletados por um equipamento do tipo resposta não medem o perfil real do pavimento, mas uma resposta em termos de deslocamentos que se relacionam com a irregularidade dos pavimentos (BISCONSINI, 2016).

Forslof (2012) e Bisconsini (2016) comentam que existe descrença em torno da aplicação de um medidor do tipo resposta, como no caso dos *smartphones*, principalmente quando comparado com os perfilômetros (classe I ou II). No entanto, Forslof (2012) e Bisconsini (2016) ressaltam, ainda, que os *smartphones* podem fornecer atualizações sobre a condição funcional do pavimento, incluindo a irregularidade longitudinal em um curto espaço de tempo, em relação a outros métodos, que, devido ao custo, são utilizados com pouca frequência ou, mesmo, deixam de ser utilizados.

Nesse sentido, devem-se adequar os diferentes tipos de equipamentos de avaliação da irregularidade longitudinal conforme o tipo de informação requerida, o tempo e meios disponíveis. Na realidade, um equipamento não impede o uso do outro. É preciso que haja a complementação do uso de sistemas que permitam a geração de informações significativas para a análise do desempenho dos pavimentos (BISCONSINI, 2016).

#### **2.4. Utilização de *smartphones* e sensores móveis para estimar a condição do pavimento**

De acordo com Duarte (2018), o RoadLab, desenvolvido na pesquisa de Wang e Guo (2016), possui como função primordial informar as condições da rodovia no tocante ao conforto ao rolamento e a segurança. O aplicativo era voltado para o engajamento dos usuários das rodovias na avaliação e no monitoramento das condições de infraestrutura. Os usuários instalariam o aplicativo e alimentariam o banco de dados das agências de gerência de pavimento ou compartilhariam os dados com a comunidade online, informando-as a localização dos trechos críticos por meio das coordenadas geográficas obtidas pelos GPS dos *smartphones*. As agências teriam a responsabilidade de dar um retorno positivo para a população através de manutenções e reabilitações nas vias danificadas. Projeto é um dos primeiros que vincula o processo com contribuições diretas de agências de gerenciamento de estradas e seus valores básicos de IRI.

O SmartIRI desenvolvido por Almeida (2018) calcula os valores de IRI através de correlação com o RMSVA (*Root Mean Square Vertical Acceleration*), no qual o próprio aplicativo faz o processamento dos dados de aceleração vertical e calcula o IRI a cada 100 m percorridos, informando as coordenadas geográficas do respectivo trecho. O SmartIRI, após calcular o IRI, apresenta um arquivo no formato .kml, que permite ao usuário a visualização do trecho monitorado por meio de mapas, segmentando o trecho a cada 100 m em uma escala de cores que obedece a determinados parâmetros conforme estabelece (ALMEIDA, 2018).

Ainda conforme Almeida (2018), a ideia central do SmartIRI 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. Em relação à 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.

Estudos anteriores deste trabalho mostram que há bastante interesse nos estudos para detecção de buracos ou panelas utilizando sensores móveis, a maioria busca identificar e localizar essas anomalias em vez de estimar a real condição do pavimento, particularmente em termos de IRI. No entanto, Oliveira *et al.* (2017) afirmaram que em seus estudos realizados no ano de 2017, o aplicativo utilizado informou condições de superfície semelhantes às fornecidas pelos órgãos rodoviários e que segmentos com alto coeficiente de variação apresentavam quantidade significativa de defeitos, sobretudo remendos e buracos.

### **3. MÉTODO E COLETA E ANÁLISE DE DADOS**

#### **3.1. Descrição da rodovia CE-401**

A rodovia em análise trata-se de uma pista dupla possuindo três faixas de rolamento por sentido, com extensão de 6 km e revestimento em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ). A Figura 4 mostra uma seção da via analisada onde observa-se as faixas de tráfego em cada



sentido, além de um canteiro central separando as duas pistas de rolamento. Os códigos P1 a P6 correspondem as passagens do veículo pela faixa de tráfego ao efetuar a medição com o SmartIRI e RoadLab.



**Figura 4:** Descrição dos sentidos e faixas de tráfego

### 3.2. Coleta e análise dos dados

O levantamento de dados foi realizado no mês de abril no ano de 2019. Embora a rodovia possua 6 km de extensão, o trecho selecionado para análise tem cerca de 4,1 km, haja vista que percebeu-se visualmente uma concentração de defeitos em algumas regiões específicas, o que ocasionaria possivelmente uma variação maior da irregularidade longitudinal. Essas características do trecho facilita a análise dos dados, pois se o trecho apresentasse poucos defeitos, não existiriam parâmetros a serem comparados nas faixas de tráfego.

O *smartphone* munido dos aplicativos SmartIRI e RoadLab efetuou a passagem nas seis faixas de tráfego executando um aplicativo de cada vez, totalizando 12 passagens. O levantamento foi realizado a uma velocidade média de 60 km/h pois foi a velocidade máxima permitida na via.

Após o término do levantamento em cada faixa de trânsito, os próprios aplicativos já fornecem uma planilha de dados e, também, demarcam o trecho analisado em uma escala qualitativa dos valores de IRI. De posse da planilha eletrônica fornecida com valores de IRI aproximadamente a cada 100 m e com todos os segmentos georreferenciados, efetuou-se a análise descritiva dos dados por meio de planilhas eletrônicas de forma a gerar gráficos e parâmetros estatísticos que serão apresentados na próxima seção.

Vale ressaltar informações em relação à calibração dos aplicativos (SmartIRI e RoadLab). No que diz respeito ao SmartIRI, este aplicativo foi calibrado apenas para veículo de passeio, não sendo aconselhável a sua utilização para veículos maior porte e não sendo possível alterar a calibração padrão do aplicativo. Quanto ao RoadLab é possível utilizar o *setup* do aplicativo para calibrar para outros tipos de veículos que não sejam somente veículos de passeio. No caso das medições realizadas para este trabalho foi escolhida a opção *Car Soft Suspension*.

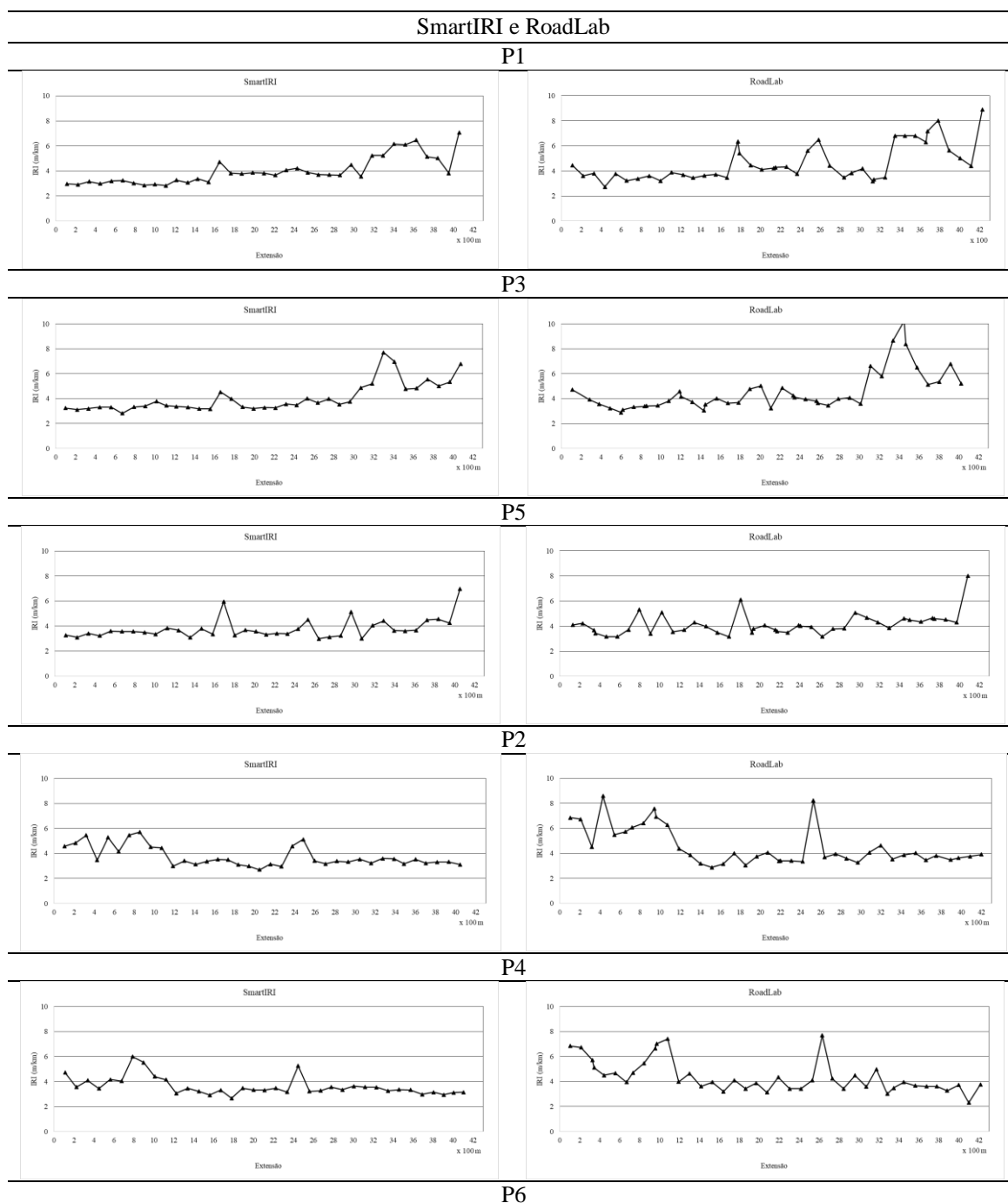
## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

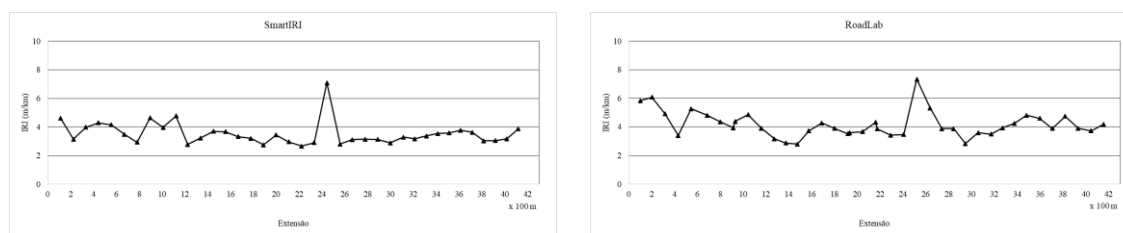
### 4.1. Resultados obtidos pela análise gráfica entre os aplicativos

Após percorrer o trecho em estudo com os dois aplicativos nas seis faixas de tráfego, foram gerados gráficos de linhas para analisar o comportamento da Irregularidade Longitudinal no

eixo x em m/km e extensão do trecho no eixo y em metros. As imagens da Figura 5 mostram a variação da irregularidade nas faixas de tráfego para os sentidos 1 e 2.

Percebe-se, por meio dos gráficos da Figura 5, que o SmartIRI possui menor variação dos valores de IRI no decorrer do trecho. Outra análise que os gráficos fornecem é a semelhança na distribuição dos dados com a extensão do trecho. 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. Devido à essa perda dos dados preferiu-se colocar os gráficos separadamente.





**Figura 5:** Gráfico de linhas (SmartIRI e RoadLab)

Analisando estatisticamente os dados dos dois aplicativos, verificou-se que o SmartIRI possui menor coeficiente de variação em quatro medições e as menores médias em todas as medições. A Tabela 1 mostra a estatística descritiva das medições.

**Tabela 1:** Estatística descritiva das medições

Trechos	RoadLab						SmartIRI					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Média	4,63	4,55	4,54	4,41	4,15	4,17	4,00	3,76	4,07	3,62	3,79	3,53
Desvio Padrão	1,48	1,54	1,61	1,30	0,89	0,91	1,11	0,83	1,18	0,74	0,82	0,80
Coeficiente de Variação	32%	34%	36%	30%	21%	22%	28%	22%	29%	20%	22%	23%
Maior Valor	8,89	8,58	10,24	7,69	8,02	7,34	7,08	5,71	7,70	5,99	6,98	7,09
Menor Valor	2,72	2,88	2,89	2,30	3,16	2,8	2,82	2,70	2,82	2,67	2,98	2,67

Nota-se pela Tabela 1 que as médias entre os aplicativos estão com valores próximos. No entanto, o SmartIRI apresentou menores valores em todos os trechos analisados. Observa-se que em determinado trecho, no faixa de medição P3, o RoadLab apresentou valor máximo de 10,24 m/km em um determinado segmento. Apesar deste segmento apresentar vários defeitos tais como, remendos, trincas e buracos (Figura 6), esse valor apresentado é considerado bastante elevado para rodovias pavimentadas, podendo-se inferir que possivelmente houve um erro de medição no aplicativo RoadLab.



**Figura 6:** Presença de defeitos no trecho analisado (Duarte, 2018)

De modo a comparar as médias fornecidas pelos dois aplicativos, efetuou-se um teste de hipótese para averiguar se as médias são diferentes. Possuindo como hipótese nula a igualdade das médias fornecidas pelos aplicativos e hipótese alternativa que as médias são diferentes, o teste *t* executado no software Minitab forneceu o resultado apresentado na Tabela 2 para o *p*-valor.



**Tabela 2: P-Valor (SmartIRI e RoadLab)**

Trechos	p-valor
P1	0,039
P2	0,007
P3	0,149
P4	0,002
P5	0,070
P6	0,002

Constatou-se que o *p-valor* é menor que o nível de significância (0,05) em quatro das seis medições, ou seja, a média dos valores entre os aplicativos é diferente em quatro trechos.

#### 4.3. Resultados obtidos pela análise qualitativa das medições

Comparando qualitativamente, nas classes excelente, bom, regular, ruim ou péssimo, de acordo com os valores de IRI, para classificação tanto no RoadLab quanto no SmartIRI, os índices medidos pelos aplicativos forneceram as porcentagens dos trechos que se encontram dentro da classificação qualitativa conforme a Tabela 3.

**Tabela 3: Dados qualitativos**

Trechos	RoadLab (% Qualitativa)						SmartIRI (% Qualitativa)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Excelente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bom	51	56	50	58	53	58	67,57	70,27	70,27	75,68	75,68	84,21
Regular	29	25	35	31	41	36	21,62	29,73	21,62	24,32	21,62	13,16
Ruim	20	19	12	11	6	6	10,81	0	8,11	0	2,7	2,63
Péssimo	0	0	3	0	0	0						

Observou-se que o SmartIRI forneceu valores com conceito Bom superiores aos fornecidos pelo RoadLab. Enquanto que para o conceito Ruim ou Péssimo o RoadLab apresentou valores maiores que o SmartIRI.

#### 4.4. Análise geral sobre a irregularidade longitudinal fornecida pelos aplicativos

Apesar do mesmo objetivo para o levantamento realizado, ou seja, medir a irregularidade das faixas de tráfego por meio de dois aplicativos, notou-se, por meio de análises estatísticas, que apesar da relativa semelhança entre os dados coletados, deve-se adotar cautela ao comparar quantitativamente os valores de IRI medidos. Isso, deve-se basicamente ao processo de calibração dos aplicativos.

Para o SmartIRI a maioria dos trechos nos quais o aplicativo foi calibrado, apresenta revestimento do tipo Tratamento Superficial (TS). Esse tipo de revestimento tende a apresentar maiores valores de IRI, uma vez que a irregularidade e a textura (possivelmente megatextura) são medidos concomitantemente. Esses trechos possuem como característica, maior exposição do agregado e menor aplicação de taxa de ligante, quando comparado ao Concreto Asfáltico. Outra característica é que os revestimentos do tipo TS não são executados com equipamentos do tipo vibroacabadora, o que poderia reduzir as imperfeições da base, contribuindo para o decréscimo no valor do IRI.

Portanto, o SmartIRI tende a mitigar os valores de irregularidade longitudinal de modo que esses valores não sejam excessivamente elevados, haja vista que uma parcela da textura está sendo contabilizada. Logo, possivelmente, essa diferença entre valores de Irregularidade entre SmartIRI e RoadLab, deve-se ao processo de calibração.

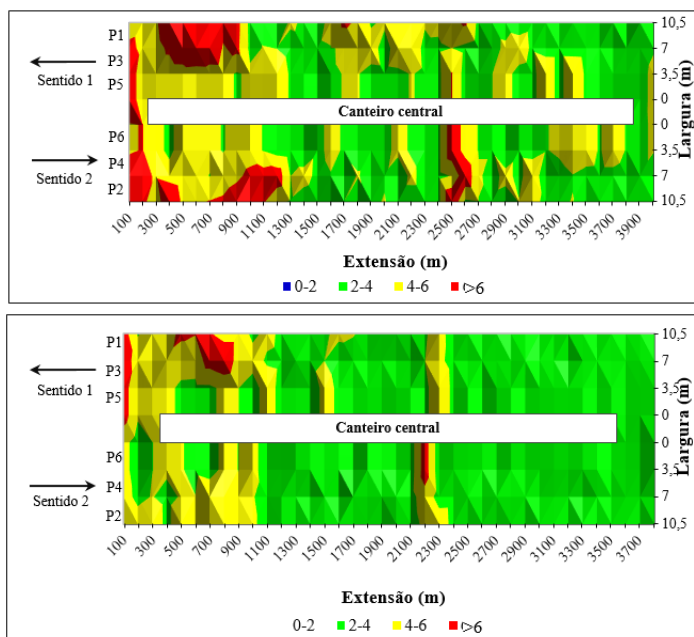
#### **4.5. Análise geral sobre o valor da irregularidade longitudinal nas faixas de rolamento**

Os dados indicaram que a pista no sentido 1 possui condição de irregularidade pior que a outra pista analisada, o sentido 2. Pode-se associar essa constatação feita pelas aplicativos, sobretudo, ao volume de tráfego que é ligeiramente superior, conforme Duarte (2018). Observou-se que a faixa da direita (mais próxima ao acostamento) em ambos os sentidos é a pior, em relação as outras, o que pode sugerir a passagem dos veículos mais pesados, haja vista que ônibus de turismo que se destinam ao Terminal de Passageiros do Aeroporto e caminhões de carga que se dirigem ao Terminal de Logística de Cargas.

Outro fator que deve ser considerado é em relação a mistura asfáltica, haja vista que, devido às características viscoelásticas da mistura, a sua rigidez tende a variar conforme a carga e a velocidade de passagem do veículo. É sabido que o trincamento por fadiga é o acúmulo de dano no pavimento sob ação de cargas repetidas, ou seja, com a passagem dos veículos o revestimento tem a tendência de perder sua integridade (perda de rigidez) reduzindo a qualidade estrutural do pavimento.

Acredita-se que o IRI, apesar de ser um indicador de conforto ao rolamento, possa contribuir para detecção do início do surgimento dessas trincas e outros defeitos, como a deformação permanente e afundamentos. Nesse sentido, ao observar a Figura 7 nota-se que as faixas de tráfego mais à direita (mais lentas) apresentam valores mais elevados de IRI quando comparadas às faixas de tráfego mais próximas ao canteiro central. Essa tendência pode ser explicada devido ao fato de os veículos que trafegam nas faixas externas (direita) serem veículos de carga, possuindo cargas mais elevadas e, também, trafegarem a velocidades mais baixas. Velocidades mais baixas tendem a solicitar à mistura asfáltica por um maior tempo do que velocidades mais altas, isso faz com que a distribuição das tensões e das deformações sejam mais críticas no primeiro caso o que pode acelerar o surgimento de defeitos no pavimento, e, que possivelmente, o primeiro indicativo seria a medida da irregularidade longitudinal.

De modo geral, os valores de IRI fornecidos tanto pelo RoadLab como pelo SmartIRI foram reproduzidos em um gráfico com o intuito de elucidar essa comparação por faixas de tráfego. Observando a Figura 7, as faixas de tráfego mais à direita da rodovia estudada apresentam os maiores valores de IRI corroborando as hipóteses mencionadas anteriormente neste item do trabalho.



**Figura 7:** Gráfico tridimensional – RoadLab (acima) e SmartIRI (abaixo)

Segmentos com IRI superior a 6,0 m/km podem ser destacados na Figura 7 para as faixas do centro e da esquerda, e considerados exceções ao descrito nos parágrafos anteriores (que ressaltaram o comportamento das faixas da direita). Nesses casos, a irregularidade longitudinal maior pode estar associada aos encontros do pavimento com as cabeceiras de viadutos localizados ao longo da rodovia; Sentido 2, cerca de 2.500 e 2.700 m observado no RoadLab. É possível durante o trajeto veicular perceber inúmeros recalques ocasionados em todas as faixas que geram perturbações e desconforto durante a passagem dos veículos (Figura 8).



**Figura 8:** Recalques observados nas cabeceiras dos viadutos

## 5. CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho foi possível perceber a importância dos levantamentos da irregularidade longitudinal (com a obtenção do Índice de Irregularidade Internacional – IRI) e a sua correspondência com o conforto ao rolamento em pavimentos rodoviários com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado à Quente. É notório os avanços na formulação de levantamentos de campo, com metodologias mais produtivas, que gerem menor tempo de avaliação quando

comparados aos processos convencionais, maior acurácia dos resultados obtidos e menor custo de execução.

Os aplicativos RoadLab e SmartIRI utilizados na rodovia estudada neste artigo apresentaram resultados quantitativos distintos, devido à formulação dos modelos e, mais diretamente, 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.

Desse modo, espera-se, com este trabalho, auxiliar os órgãos rodoviários a utilizar, mesmo em caráter de conhecimento prévio ou de levantamento expedito, os aplicativos para *smartphones* como ferramentas confiáveis 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 BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L.C. (2018) Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BENNET, C. R. (2008) *Data Collection Technologies for Pavement Management Systems*. In: 7th International Conference on Managing Pavement Assets.
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2007) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, RJ.
- BISCONSINI, D. R. (2016) *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2006) *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- DOUANGPHACHANH, V.; ONEYMA, H. (2014) *Estimation of road roughness condition from smartphones under realistic settings*. In Proceedings of the 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST). 5-7. pp. 433-439. doi:10.1109/ITST.2013.6685585. Disponível em: <<http://www.jwcn.eurasipjournals.com/content/pdf/1687-1499-2014-114.pdf>>. Acesso em: 10/03/2017.
- 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) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza.
- FORSLOF, L. (2013) *Roadroid: Continuous road condition monitoring with smartphones*. In IRF 17th World Meeting and Exhibition, Riyadh, Saudi Arabia.
- KARAMIHAS, S.M. SAYERS, M.W. (1998) *The Little Book of Profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles*. The Regent of the University of Michigan.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G.. (2015) *Mecânica dos Pavimentos*. 3. ed. [s.l.]: Interciência, 640 p.
- OLIVEIRA, F. H. L., ALMEIDA, L. C., RAMOS, S. P. e CHAVES, F. J. (2017) *Estudo da condição da superfície em rodovias do estado do Ceará com o uso de smartphone*. In XIX CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Medellín.
- TOMIYAMA, K., KAWAMURA, A., NAKAJIMA, S., ISHIDA, T., JOMOTO, M. (2012) *A Mobile Profilometer for Road Surface Monitoring by Use of Accelerometers*.
- WANG, W. e GUO, F. (2016) *RoadLab – Revamping Road Condition and Road Safety Monitoring by Crowdsourcing with Smartphone App*. Transportation Research Board 95rd Annual Meeting, Washington D.C., U.S.A.