

## USO DE TELEFONES INTELIGENTES E ACELERÔMETROS MEMS COMO FERRAMENTA PARA DETECÇÃO DE IRREGULARIDADES LONGITUDINAIS EM PAVIMENTOS VIÁRIOS

**Douglas Bellomo CAVALCANTE**<sup>1</sup>

Engenheiro Mecatrônico  
Discente do curso de Mestrado em Automação e Controle de Processos  
IFSP/Campus São Paulo  
Pesquisador Assistente/IPT

**Fábio da Silva BORTOLI**<sup>2</sup>

Doutor em Física/USP  
Docente do IFSP/Campus São Paulo

**Carlos FRAJUCA**<sup>3</sup>

Doutor em Física/USP  
Docente do IFSP/Campus São Paulo

### RESUMO

O pavimento viário das ruas e avenidas das cidades brasileiras contém grande quantidade de irregularidades longitudinais, caracterizadas por ondulações e buracos. Estas irregularidades causam desconforto, insegurança e custos à população, tanto relacionados às manutenções antecipadas de seus veículos quanto ao encarecimento dos serviços de logística. Essa pesquisa científica e tecnológica objetiva desenvolver um sistema para detectar irregularidades longitudinais em pavimentos viários por meio do método da Contribuição Colaborativa e de telefones inteligentes. Tais dispositivos serão conectados a um servidor de Internet e interligados a acelerômetros que utilizem tecnologia MEMS (*microelectromechanical systems*, ou sistemas microeletromecânicos) de baixo custo. Os dados provenientes dos acelerômetros serão analisados pelo telefone inteligente, georreferenciados usando o GPS embutido no equipamento e enviados a um servidor que, usando o método da Contribuição Colaborativa, definirá a presença ou não da irregularidade longitudinal, determinando a qualidade do pavimento viário.

**Palavras-chave:** Irregularidades longitudinais. Detecção automática. Acelerômetros MEMS.

### Introdução

A quantidade de buracos e ondulações no pavimento viário das ruas e avenidas das cidades brasileiras, chamados tecnicamente de irregularidades longitudinais, é bastante grande. Estas irregularidades causam desconforto, insegurança e custos à

---

<sup>1</sup> Endereço eletrônico: dcavalcante@ipt.br

<sup>2</sup> Endereço eletrônico: bortoli@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Endereço eletrônico: frajuca@ifsp.edu.br

população, tanto relacionados às manutenções antecipadas de seus veículos quanto ao encarecimento dos serviços de logística.

O surgimento das irregularidades longitudinais no pavimento viário está intimamente ligado a projetos ruins ou à manutenção deficiente. Leitos viários que deveriam suportar 20 anos em uso, com pouca manutenção, duram apenas três. Ressalta-se a elevada idade dos pavimentos, cujos projetos não foram concebidos para operação durante tanto tempo nem para o atual fluxo viário (São Paulo, por exemplo, possui ruas cujas malhas asfálticas chegam a 70 anos de idade). A incorreta execução das manutenções, aliada a erros de fiscalização, acentuam a proliferação dessas irregularidades (TAVARES, 2016).

Os recursos econômicos das cidades brasileiras destinados à manutenção das vias são escassos. Surgiram assim as operações *tapa buracos*, em que pequenas intervenções são realizadas, a fim de simplesmente cobrir as depressões. Tais intervenções, muitas vezes deficitárias na execução ou na fiscalização, deixam ondulações que, depois de pouco tempo, voltam a se tornar novos buracos devido aos efeitos dinâmicos dos veículos que trafegam sobre o pavimento reparado. Os recapeamentos periódicos, que seriam a melhor solução para esse problema, são custosos, o que os torna insuficientes em face das necessidades de uma megalópole como São Paulo, por exemplo. Conforme dados disponíveis no portal da Prefeitura de São Paulo (2016)<sup>4</sup> e no *site* da Fundação 25 de Janeiro (2016)<sup>5</sup>, dos 17,2 mil quilômetros de ruas pavimentadas em 2013, apenas 52,3 quilômetros foram recapeados, sendo que esse montante custou R\$ 36,6 milhões à época.

Os sistemas de medição, localização, identificação e classificação das irregularidades longitudinais dos pavimentos são de fundamental importância para o setor público, pois permitem que o gestor público aperfeiçoe a aplicação dos recursos que são destinados ao reparo e recapeamento das vias. Esses sistemas também são importantes ao próprio cidadão, uma vez que, em posse de dados concretos sobre a

---

<sup>4</sup> PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO DAS SUBPREFEITURAS. *Recapeamento*. Disponível em: <[http://www3.prefeitura.sp.gov.br/saffor\\_bueiros/FormsPublic/serv1RecapeamentoAnos.aspx](http://www3.prefeitura.sp.gov.br/saffor_bueiros/FormsPublic/serv1RecapeamentoAnos.aspx)>. Acesso em: 26 jul.2016.

<sup>5</sup> FUNDAÇÃO 25 DE JANEIRO - SÃO PAULO CONVENTION & VISITORS. *Visite São Paulo | São Paulo é Tudo de Bom*. Disponível em: <<http://www.visitesaopaulo.com/dados-da-cidade.asp>>. Acesso em: 26 jul.2016.

qualidade dos pavimentos das vias, podem cobrar do Estado o emprego correto dos tributos arrecadados. Tais sistemas também permitem às pessoas que se previnam dos prejuízos materiais causados pelos buracos e ondulações presentes nas vias.

Alguns equipamentos destinados à medição e avaliação das irregularidades longitudinais são bastante precisos, contudo são caros e lentos no processo de identificação das anomalias do pavimento. Principalmente por serem caros, os órgãos públicos brasileiros utilizam outras ferramentas para realização das avaliações do pavimento, tais como as que utilizam informações visuais provenientes dos técnicos de manutenção, agentes de trânsito e da própria população. Isso ocasiona lentidão no diagnóstico do pavimento viário.

As pessoas e as empresas, por sua vez, não possuem ferramentas modernas e confiáveis para saber de antemão onde se encontram as irregularidades longitudinais. Apesar de haver algumas ações no intuito de disponibilizar sistemas para que as pessoas identifiquem as irregularidades longitudinais (aplicativo *Waze* e Portal *Buracos Monitor*), tais plataformas exigem que o usuário manualmente relate a posição da irregularidade, causando imprecisão, lentidão no processo de inclusão no banco de dados e insegurança a motoristas que porventura tentem relatar a anomalia enquanto dirigem.

Observa-se, portanto, uma escassez de ferramentas que meçam as condições reais do pavimento viário com agilidade, confiabilidade e baixo custo, aliados à segurança aos usuários e simplicidade de uso. Nesse sentido, nossa pesquisa, de cunho científico e tecnológico, objetiva desenvolver um sistema para detectar irregularidades longitudinais em pavimentos viários por meio do método da Contribuição Colaborativa e de telefones inteligentes.

## **Referencial teórico**

Inicialmente, é importante entender os tipos de equipamentos de medição para irregularidades longitudinais para melhor compreender o estado da arte sobre a detecção automática das anomalias viárias. De acordo com Gillespie (1986, citado por BISCONSINI, 2016), os equipamentos responsáveis pela medição e avaliação da

irregularidade dos pavimentos podem ser classificados em quatro classes, sendo a precisão da medição menor segundo o aumento da classe:

Classe 1: equipamentos que medem diretamente o perfil do pavimento;

Classe 2: equipamentos que medem o perfil através de sensores ópticos ou a ultrassom;

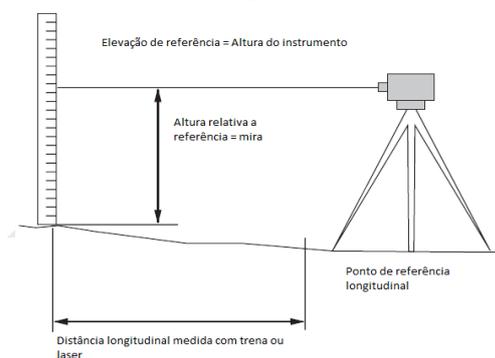
Classe 3: equipamentos que medem indiretamente o perfil através da resposta a de um agente em contato com o pavimento; e

Classe 4: sistemas que utilizam avaliações subjetivas sobre a qualidade das vias, através de painel de avaliadores. (GILLESPIE, 1986, citado por BISCONSINI, 2016, p. 8)

O uso de cada classe de equipamentos dependerá do objetivo a que se destina a medição. Equipamentos das classes 1 são mais custosos, de difícil operação e pouco produtivos, porém precisos. Destinam-se a avaliações pontuais de alta precisão. Enquadram-se nessa categoria os equipamentos que utilizam o método Nível e Mira (cf. Figura 1), o *Dipstick*, o perfilômetro TRL, entre outros (BISCONSINI, 2016).

Os equipamentos da classe 2 possuem produtividade melhor do que os da classe 1, no entanto ainda possuem custos altos, principalmente quando aplicados em larga escala. Enquadram-se nessa categoria os equipamentos do tipo perfilômetros inerciais a laser (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), perfilômetros por infravermelho e por ultrassom.

**Figura 1-** Método de Nível e Mira



Fonte: traduzido de SAYERS;  
KARAMIHAS, 1998<sup>6</sup>

**Figura 2-** Perfilômetro inercial a laser produzido pela Ciber métrica



Fonte: CIBERMÉTRICA, 2017<sup>7</sup>

<sup>6</sup> SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. *The little book of profiling*. Michigan: The Regent of the University of Michigan, 1998. v. 2.

Os equipamentos da classe 3 possuem melhor produtividade e custos menores, mas com menor precisão (BISCONSINI, 2016). Enquadram-se nessa classe os medidores do tipo resposta, como o mostrado na

Figura 3. Diversos conceitos de medição são utilizados nessa classe de equipamentos, todavia sua característica principal é a de medir a irregularidade longitudinal de forma indireta, tais como os medidores interligados à suspensão veicular, que conseguem determinar a irregularidade de forma indireta pela resposta de movimento do conjunto de suspensão do veículo.

**Figura 3-** Analisador do tipo resposta



Fonte: IMINE; LEPSIS; LCPC, 2010<sup>8</sup>

Os sistemas da classe 4 são aqueles que utilizam dados subjetivos para avaliação da irregularidade longitudinal. Normalmente, dependem de operadores que visualmente identificam e classificam a ondulação ou buraco. Esse é o método utilizado em São Paulo e em diversas cidades do país. É mais barato, porém com precisão e resultados questionáveis.

Por melhor que seja sua produtividade, os equipamentos das classes 1, 2 e 3 avaliam lentamente a irregularidade longitudinal dos pavimentos, considerando a

---

<sup>7</sup> CIBERMÉTRICA. *Perfilômetro Laser - Irregularidade de Pavimentos QI e IRI, avaliação funcional de pavimentos, medição do afundamento em trilhas de roda ATR, perfis de pavimentos*. Disponível em: <<http://www.cibermetrica.com.br/CiberLaser.html>>. Acesso em: 19 jan.2017.

<sup>8</sup> IMINE, H.; LEPSIS, U. I.; LCPC, F. Estimation of unknown inputs of heavy vehicle: experimental validation. *International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technology*, Melbourne, Australia, 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Hocine\\_Imine/publication/233881861\\_Estimation\\_of\\_unknown\\_inputs\\_of\\_heavy\\_vehicle\\_experimental\\_validation/links/0046352ca83ca31d44000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hocine_Imine/publication/233881861_Estimation_of_unknown_inputs_of_heavy_vehicle_experimental_validation/links/0046352ca83ca31d44000000.pdf)>. Acesso em: 19 jan.2017.

necessidade das cidades – estima-se o surgimento de mil buracos por dia nas vias de São Paulo (MAGALHÃES; FAVERO, 2011). Em contrapartida, a participação da população na identificação desses buracos se resume aos canais de atendimento ao cidadão, sendo que o município não tem conhecimento objetivo sobre a real situação da qualidade dos pavimentos de sua cidade. Portanto, um método de avaliação tecnologicamente barato e que inclua a participação da população seria um caminho viável para facilitar a gerência estatal nesse assunto e ainda disponibilizar recursos para fiscalização por parte dos contribuintes.

Posto isso, é importante defendermos que o recente aumento da capacidade de *hardware* dos telefones inteligentes (principalmente processamento, armazenamento e sensoriamento), sua característica de conexão à Internet em tempo integral, a facilidade de desenvolvimento de *software*, os baixos custos de aquisição e a grande disseminação pela população tornam esses equipamentos excelentes candidatos a coletores e processadores de dados que provêm de sensores. São peças importantes na revolução da Internet das Coisas. Golchay *et al* (2011) consideram que os telefones inteligentes se tornariam a interface universal entre o mundo da Internet das Coisas e o mundo da Computação em Nuvem. Dessa forma, alguns pesquisadores já vêm estudando alternativas que envolvem telefones inteligentes para medição das irregularidades longitudinais.

Nesse sentido, Mohan, Padmanabhan e Ramjee (2008) desenvolveram o sistema *Nericell*, com o objetivo de utilizar telefones inteligentes com sistema operacional Windows como sensores de tráfego. O sistema identifica desacelerações (para gerenciamento de tráfego), buracos, lombadas e buzinas. Os autores justificam que o uso desses aparelhos como sensores são ideais para países em desenvolvimento, devido ao baixo custo. Entretanto, eles consideraram que esses equipamentos devem ser otimizados quanto ao consumo de energia, por serem de baixa capacidade energética e terem como função principal a de telefones. Os autores também avaliam a reorientação do acelerômetro, de modo a informar o sentido real da aceleração aplicada ao acelerômetro independentemente da posição do telefone, estabelecendo uma metodologia de reorientação baseada nos ângulos de Euler – o movimento de freio do carro indica o sentido do eixo X e, a partir de então, calcula-se os sentidos de Y e Z.

Para detectar buracos e lombadas, Mohan, Padmanabhan e Ramjee (2008) observaram que a velocidade do veículo influencia bastante e a consideraram no algoritmo de decisão, sendo que: um buraco é detectado quando ocorre uma queda sustentada para menos de 1g e de ao menos 20ms no valor da aceleração do eixo Z, quando o veículo está trafegando a menos de 25 km/h; quando o veículo trafega sobre o buraco a velocidades maiores, o algoritmo detecta buracos se ocorrerem picos no valor da aceleração no eixo Z maiores do que um limiar T parametrizado (*threshold*). Foram realizados dois experimentos, um para calibração, percorrendo uma via de 5 km com 44 lombadas ou buracos, e outro em uma via de 30 km e 101 buracos ou lombadas, destinado à verificação da lógica. A lógica de detecção em duas faixas de velocidade do veículo se mostrou boa, apesar de erros na ordem de 20%.

Utilizando acelerômetros e GPS instalados em sete táxis da cidade de Boston, Eriksson *et al.* (2008) desenvolveram o *Pothole Patrol*, mostrando ser possível detectar irregularidades longitudinais com 0,2% de falsos positivos em teste controlado. Em teste não controlado, 90% das detecções realmente necessitavam de reparo. O sistema não usa telefones inteligentes para detecção dos buracos, mas acelerômetros, GPS e computadores embarcados nos veículos. Contudo, utiliza o método de Contribuição Colaborativa. Por usarem táxis, os autores citam como vantagem o fato de cobrir uma grande área com poucos veículos (2492 km distintos em 10 dias). Com um acelerômetro de três eixos coletando dados a 380 Hz e o GPS coletando dados de posição a cada 1s, os valores de aceleração em Z e X foram processados no veículo e enviados por *wireless* para um servidor, que os armazenava em um banco de dados e combinava com os resultados dos diferentes motoristas.

Destacam-se, nesse ponto, três grandes problemas que os autores consideraram importantes para a pesquisa: há eventos que não são buracos, mas que possuem sinais de aceleração de alta energia (freadas, abertura e fechamento de portas, desvios repentinos *etc.*); é difícil um humano dizer se uma anormalidade na pista é um buraco que precisa ser consertado ou se é simplesmente uma lombada; e o sinal de um mesmo buraco não se manifesta da mesma maneira quando em outra passagem do veículo. Os autores trataram esses problemas usando uma abordagem de aprendizagem automática, na qual o sistema foi treinado pelos autores por meio de dados coletados manualmente: os autores provocaram cada tipo de anomalia (buracos, cruzamento sobre trilhos *etc.*)

por repetidas vezes e usaram os dados coletados como base para que o sistema identificasse eventos similares quando da detecção de um tipo de anomalia.

Em outro exemplo, apresentamos o que Astarita *et al.* (2012) desenvolveram: o *UNIquALroad*, um aplicativo para telefones inteligentes que usa o acelerômetro para detectar buracos e lombadas e localizá-los pelo GPS. No âmbito da pesquisa, eles efetuaram testes com cinco dispositivos diferentes, todos colocados em três locais diferentes do veículo de testes. Utilizaram um veículo utilitário no processo de validação, em que eles realizaram testes experimentais nas ruas de Calábria. O algoritmo de detecção das anomalias do pavimento foi baseado em eventos de alta energia. Também aplicaram três filtros ao sinal de origem do acelerômetro. Os resultados apresentaram índices de detecção em teste controlado acima de 90%, contudo em teste não controlado atingiram 35% de falsos positivos na detecção de buracos. Os autores, entretanto, indicaram que a aplicação pode ser usada como um sistema automático de detecção da qualidade das vias.

Em um outro estudo, de Gunawan, Yanfi e Soewito (2015), foi feita uma análise estatística sobre dados de vibração coletados por telefones inteligentes. Não foi especificado, todavia, como os dados foram obtidos. Os autores utilizaram um método de identificação de irregularidades que considera as acelerações nos eixos Z e X para a detecção das anomalias. Concluíram que, dentre os diversos tipos de irregularidades existentes, o processo de identificação de buracos é complexo.

Em sua dissertação de mestrado, Bisconsini (2016) efetuou diversas análises no domínio do tempo e da frequência sobre dados de aceleração coletados por meio dos acelerômetros de telefones inteligentes. Os dados foram coletados por aplicativos de mercado, não destinados exclusivamente à avaliação da irregularidade longitudinal. A partir dos valores de aceleração, o autor propôs um método para calcular o índice de irregularidade IRI (*International Roughness Index* – índice de irregularidade longitudinal padronizado pelo Banco Mundial). Utilizando três modelos de *smartphones*, realizou testes de vibração em laboratório e testes em campo, concluindo que seu uso como meio para identificação da irregularidade de pavimentos é viável, conquanto diversos cuidados devem ser tomados na coleta e análise dos dados. As medições tomadas durante a pesquisa foram comparadas com valores obtidos pelo método de medição de Nível e Mira, obtendo dados satisfatórios.

### **Proposta de solução técnica para medição das irregularidades longitudinais<sup>9</sup>**

As soluções estudadas até o momento não consideram ou ignoram os efeitos que a suspensão do veículo ocasiona aos sinais de aceleração coletados pelos telefones inteligentes. Dessa forma, faz-se necessário estudar uma nova alternativa de medição, em que o acelerômetro possa acompanhar o movimento das rodas e não sentir o movimento da carroceria do veículo. Entretanto, deve-se evitar o aumento significativo do custo ou da dificuldade de operação do sistema de medição, o que poderia inviabilizar técnica e economicamente a solução.

Os autores deste artigo iniciaram uma pesquisa no *Campus* São Paulo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, que prevê a construção de um medidor de classe 3 usando telefones inteligentes como coletores e processadores de dados de aceleração e de localização. Esses dados de aceleração, contudo, serão obtidos de acelerômetros do tipo MEMS de baixo custo e tamanho reduzido, que serão instalados na bandeja da suspensão do veículo. Essa configuração deverá diminuir o efeito da suspensão sobre as movimentações dos sensores, fazendo com que eles acompanhem melhor o movimento das rodas.

Os acelerômetros que serão instalados nas bandejas de suspensão serão dotados de sistema *Bluetooth* para envio dos dados ao telefone inteligente e serão alimentados por baterias, o que eliminará a necessidade de passar cabos para transferência de dados. Testes preliminares já demonstraram que essa alternativa é tecnicamente viável.

Os dados coletados por diversos sistemas de medição serão enviados pelos respectivos telefones inteligentes a um servidor central. Esse servidor utilizará do método da Contribuição Colaborativa para aumentar a precisão de detecção e localização das irregularidades longitudinais. O método da Contribuição Colaborativa utiliza diversos dados de um evento que sejam provenientes de diferentes fontes para determinar sua existência. Dessa maneira, a imprecisão dos acelerômetros e dos sistemas de GPS embutidos nos telefones inteligentes será minimizada, dando maior confiabilidade à solução proposta.

---

<sup>9</sup> Esta seção apresenta o estágio atual da pesquisa, por isso a opção por uso de verbos em tempo futuro. Trata-se da pesquisa de mestrado em curso.

Quanto à metodologia, a pesquisa em curso no IFSP/SP está baseada nos seguintes procedimentos metodológicos:

#### *Programação do sistema computacional*

O sistema computacional será composto por dois programas distintos, que se conectarão entre si por meio da Internet:

- o primeiro programa computacional será um aplicativo para telefone inteligente. Este aplicativo está sendo desenvolvido para se conectar via *Bluetooth* a dois acelerômetros do tipo MEMS e coletar os dados provenientes desses sensores, além de coletar dados emitidos pelo acelerômetro interno do dispositivo. Esse programa computacional também fará um processamento inicial dos dados, com base nas informações obtidas na literatura e será capaz de enviá-los a um servidor central;
- segundo programa computacional será um sistema para servidores que utiliza serviços de Internet para receber e enviar dados aos telefones inteligentes. Este programa também será o responsável por armazenar os dados no banco de dados e conterá a inteligência necessária para implantar o método da Contribuição Colaborativa.

#### *Validação do sistema computacional*

A validação inicial do sistema computacional será realizada em laboratório e deverá avaliar duas etapas principais:

- a primeira etapa é a calibração dos acelerômetros. Os sensores e o telefone inteligente serão agitados em diversas frequências em um agitador juntamente com um medidor de vibração. Os dados coletados pelo telefone inteligente e pelo medidor serão comparados;
- a segunda etapa consistirá no envio de dados conhecidos do telefone inteligente para o servidor. Depois do envio, os dados recebidos pelo servidor serão comparados com os dados enviados pelo telefone.

#### *Testes de campo iniciais*

Os testes em campo serão focados em coletas de dados e consistirão em:

- instalação dos sensores e do telefone inteligente em um veículo de testes;

- diversas passagens do veículo sobre algumas irregularidades longitudinais com localização e tamanhos conhecidos, chamadas “padrões”. O veículo passará a uma velocidade constante conforme indicações da literatura;
- diversas passagens do veículo sobre irregularidades propositais tais como lombadas e valetas.

#### *Revalidação do sistema computacional*

Se necessário, o sistema será revalidado por meio da análise dos dados coletados na etapa anterior e possíveis alterações nos programas computacionais desenvolvidos serão implementadas, de modo que o sistema identifique corretamente as irregularidades longitudinais. Serão realizados novos testes de acordo com a etapa anterior, caso sejam necessárias alterações nos programas computacionais.

#### *Avaliação da posição do telefone inteligente dentro do habitáculo do veículo*

O telefone inteligente será instalado em pontos diferentes do habitáculo do veículo para avaliar o efeito sobre os dados coletados pelo acelerômetro interno. O veículo, por sua vez, será movido sobre uma mesma irregularidade a uma mesma velocidade. Os dados resultantes serão comparados entre si e com as informações presentes na literatura.

#### *Avaliação do efeito da suspensão do veículo*

O veículo de testes passará por uma irregularidade conhecida, sendo que os acelerômetros externos serão posicionados nas bandejas direita e esquerda das suspensões dianteiras. O telefone inteligente será posicionado conforme o melhor resultado da etapa anterior. Por fim, os dados dos acelerômetros externos serão analisados contra os dados do acelerômetro interno, de forma a avaliar os efeitos da suspensão veicular.

#### *Comparação da resposta do aplicativo em três veículos distintos*

O telefone inteligente e os acelerômetros serão instalados em três veículos distintos, que passarão por uma mesma irregularidade longitudinal conhecida. Os dados serão comparados para análise dos efeitos da troca de veículo.

### *Avaliação dos efeitos do método de Contribuição Colaborativa*

O veículo de testes, com o telefone inteligente instalado, percorrerá por ao menos dez vezes um circuito de testes (de rua), passando por diversas irregularidades longitudinais desconhecidas. Cada passagem simulará um usuário diferente dentro do sistema. As irregularidades encontradas pelo sistema serão, então, avaliadas visualmente e catalogadas. Os dados, a partir disso, serão comparados para avaliação do efeito do método da Contribuição Colaborativa.

### **Conclusão**

Os estudos referentes ao uso de telefones inteligentes como ferramenta para medição das irregularidades longitudinais demonstram que a proposta de uso desses equipamentos e dos acelerômetros do tipo MEMS pode ser tecnicamente viável na construção de medidores de classe 3. Entretanto, mostram também que há desafios tecnológicos ainda não superados.

A pesquisa em início no IFSP/SP objetiva encontrar respostas para esses desafios, de maneira que seus resultados possam contribuir na construção de uma ferramenta de baixo custo e confiável para que o Estado e seus cidadãos possam enfrentar o grande problema que são as irregularidades longitudinais nos pavimentos viários.

### **Referências**

ASTARITA, V. *et al.* A Mobile Application for Road Surface Quality Control: UNIquALroad. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 2012. *Anais...: EWGT 2012 - 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*. Outubro de 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812042905>>. Acesso em: 10 mai.2016.

BISCONSINI, D. R. *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. 2016. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Carlos. 176 p.

ERIKSSON, J. *et al.* The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring. *International Conference on Mobile Systems, Applications, and*

Services, 2008. *Anais...: MobiSys '08*. Colorado, 2008. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1378600.1378605>>. Acesso em: 10 ago.2016.

GOLCHAY, R. *et al.* Towards Bridging IoT and Cloud Services: Proposing Smartphones as Mobile and Autonomic Service Gateways, 45-48, 2011. *UbiMob'2011*, jul.2011.

GUNAWAN, F. E.; YANFI; SOEWITO, B. A vibratory-based method for road damage classification. 2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). *Anais...* In: 2015 INTERNATIONAL SEMINAR ON INTELLIGENT TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS (ISITIA). maio 2015.

MAGALHÃES, V.; FAVERO, D. *Capital paulista ganha mil buracos por dia, dizem subprefeituras*. Disponível em: <<https://noticias.terra.com.br/brasil/capital-paulista-ganha-mil-buracos-por-dia-dizem-subprefeituras,9458eb5e3abda310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 20 jan.2017.

MOHAN, P.; PADMANABHAN, V. N.; RAMJEE, R. Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions Using Mobile Smartphones. Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, 2008. *Anais...: SenSys '08*. Nova Iorque, 2008. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1460412.1460444>>. Acesso em: 8 jul.2016.

TAVARES, V. Por que há tantos buracos em São Paulo? - São Paulo. *Estadão*, 31 mar. 2016.

## ***USE OF SMARTPHONES AND MEMS ACCELEROMETERS AS A TOOL TO DETECT LONGITUDINAL IRREGULARITIES IN ROAD PAVEMENTS***

### ***ABSTRACT***

*The road pavement of Brazilian streets and avenues contains many longitudinal irregularities, characterized by potholes and undulations. These irregularities cause discomfort, unsafety, and costs to the population, related to anticipate maintenance in their vehicles or to the enhancement of logistics services costs. This scientific and technological research objectifies to develop a system to detect the longitudinal irregularities on road pavements using the Crowdsourcing method and smartphones. These gadgets will be connected to an Internet service and will be interconnected to low-cost MEMS (microelectromechanical systems) accelerometers. The data collected by the accelerometers will be analyzed by the smartphone, geo-referenced using the embedded GPS, and sent to the server that, using Crowdsourcing, will define the presence or not of a longitudinal irregularity, determining the road pavement quality.*

**Keywords:** *longitudinal irregularities. automatic detection. MEMS accelerometers.*

**Envio: junho/2017**  
**Aceito para publicação: julho/2017**