

## IDENTIFICAÇÃO DE IRREGULARIDADES DE SUPERFÍCIE POR MEIO DE *MACHINE LEARNING* PARA SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

**Pedro Henrique Fontenele Costa Carvalho**

**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

**Saulo Davi Soares e Reis**

Universidade Federal do Ceará

Departamento de Física

### RESUMO

O uso de sensores presentes nos *smartphones* atuais vem se mostrando uma opção viável para coleta de dados em Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP), devido a seu baixo custo e alta produtividade. A exploração de ferramentas disponíveis nesses aparelhos, tais como GPS (*Global Positioning System*), acelerômetros e giroscópios, é parte da proposta desta pesquisa, em que a obtenção de parâmetros de conforto ao rolamento de vias urbanas tem como objetivo auxiliar o SGP de órgãos responsáveis por meio de técnicas de *machine learning* na interpretação dos sinais obtidos. Os resultados preliminares identificaram locais com presença de buracos, dentre outras interferências nos pavimentos analisados, assim como o tipo de revestimento, orientando ao gestor na tomada de decisão mais adequada quanto à possível manutenção ou reabilitação a ser realizada.

### 1. PROPOSTA DA PESQUISA

As agências rodoviárias utilizam Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) como parte vital da sua estratégia de gestão de ativos, auxiliando no cumprimento das suas responsabilidades para com a sociedade. O valor financeiro do pavimento deve ser compatível com sua vida útil - de que a integração do projeto, construção, manutenção e reabilitação seja atendida -, a fim de fornecer o desempenho necessário por algumas décadas (Haas e Hudson, 2015).

Na maioria das cidades, a gerência dos pavimentos é realizada pelas prefeituras, que provavelmente, devido ao tamanho da malha, a falta de mão de obra especializada e ao uso de métodos convencionais de avaliação, tendem a falhar nas práticas de manutenção adequada para essas vias, sobretudo a nível de rede. É comum, apenas, a restauração pontual em áreas afetadas, quando não há mais possibilidade de tráfego ou, até mesmo, a velocidade atinge níveis intoleráveis. A análise periódica das condições de um pavimento requer investimentos de recursos financeiros, tempo e mão de obra, sendo uma medida essencial na sua manutenção.

Com a difusão do uso de *smartphones*, seu poder de processamento e ferramentas embutidas, o mesmo vem sendo explorado como alternativa de resolver tarefas mais complexas de forma eficiente e econômica. Aplicativos de navegação, fazendo uso de GPS, tornaram-se ferramentas indispensáveis para quem trafega em grandes centros urbanos. Nos últimos anos estudos foram desenvolvidos para utilização desse ferramental tais como acelerômetros e giroscópios para avaliação funcional de pavimentos, principalmente na determinação da irregularidade longitudinal, acentuando o baixo custo e produtividade dos mesmos (Bisconsini, 2016). Diante disso, a utilização de *smartphones* para coleta de dados através desses sensores se apresenta como uma alternativa prática para obtenção de parâmetros que sirvam de referência para SGP, auxiliando na tomada de decisão de forma mais técnica.

Considerando o exposto, esta pesquisa tem como finalidade o desenvolvimento de um processo de coleta de dados da condição de pavimentos urbanos no que tange ao rolamento de veículos a partir de sensores embarcados nos *smartphones* atuais, e através de técnicas de aprendizado de máquinas extrair informações adequadas para plataforma de gerenciamento de dados de

pavimentos tais como tipo do revestimento, localização de irregularidades para suporte na tomada de decisão para atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A avaliação da condição funcional dos pavimentos tem o objetivo de indicar as melhores soluções de manutenção e reabilitação, garantindo maior segurança e conforto aos usuários e economia na operação das rodovias (Lemlin, 1998). Em geral, um dos fatores mais associados à qualidade dos pavimentos é a irregularidade longitudinal (representada pelo Índice Internacional de Irregularidade ou *International Roughness Index* – IRI), sendo esta, um desvio relativo a um plano de referência. Esse tipo de irregularidade tem influência direta na qualidade de rolamento, uma vez que afeta a dinâmica dos veículos e, também, influi nas cargas a qual a via é submetida (DNER, 1994; DNIT, 2006; Sayers e Karamihas, 1998).

Além disso, a obtenção dos parâmetros qualitativos do IRI tem custo relativamente elevado, dado a aquisição, operação e manutenção do perfilômetro. Por conta disso, DNIT (2003) propõe o uso do Valor de Serventia Atual (VSA), uma medida subjetiva baseada na opinião de avaliadores, por meio de notas adotadas em função da capacidade do pavimento atender as exigências do tráfego, ao conforto e suavidade.

Monitorar e avaliar a condição das rodovias é de fundamental importância para o melhor planejamento de intervenções e manutenção com maior eficiência e assim reduzir custos. Segundo Salih *et al.* (2016) o planejamento é particularmente imprescindível em países em desenvolvimento onde o orçamento para a gestão desses ativos é bem reduzido.

Com a disponibilidade do uso de *smartphones* para coleta de dados, diversos estudos foram desenvolvidos com o intuito de tentar mapear, por exemplo, buracos na via, o IRI etc. com o uso desses aparelhos acoplados ao veículo. Essa possibilidade de avaliação pode vir a reduzir custos operacionais e o tempo de execução se comparadas às avaliações tradicionais, uma vez que é possível realizá-la somente com um *smartphone* acoplado ao para-brisa de um veículo. Além disso, a avaliação funcional através de *smartphones* não é sujeita a subjetividades associadas ao avaliador como ocorre com VSA, por exemplo (Almeida, 2018).

Souza, Giusti e Batista (2018), por sua vez, relatam um aumento de diversos trabalhos propostos nos últimos anos com o uso de *smartphones* para a avaliação da qualidade do pavimento, ressaltando uma grande redução nos gastos envolvidos quando comparados com métodos tradicionais de avaliação como os perfilômetros a laser.

Desse modo, com a quantidade expressiva de dados que podem ser extraídos dos *smartphones*, o uso de técnicas de *machine learning*, suas abordagens e adaptações podem encontrar uma solução para problemas complexos (Géron, 2017).

## 3. MÉTODO DE PESQUISA

Inicialmente, foi desenvolvido um aplicativo de *smartphone*, que coletou dados referentes a valores de aceleração, velocidade, orientação do dispositivo em todos os eixos, assim como a localização correspondente. A gravação em vídeo simultânea foi adotada para auxílio na identificação dos sinais obtidos. A Figura 1 apresenta um esquema resumo do processo de coleta dos dados de campo.

Os dados foram coletados a uma frequência de 20Hz para a produção das amostras de treinamento. Estas amostras são parâmetros estatísticos das séries temporais relativas a cada segundo de medida, tais como a média, variância, desvio padrão e mediana. Com o intuito de reduzir possíveis ruídos e excluir eventuais anomalias, os dados foram tratados com algoritmos de *machine learning* não supervisionado como o Análise de Componentes Principais (ACP) e de detecção de anomalias. Após o tratamento das amostras, foi utilizado o algoritmo de agrupamento *k-means*, outro exemplo de algoritmo de aprendizado não supervisionado, o qual foi utilizado como prova de conceito da atual proposta. Vale salientar que o próximo passo da Dissertação é o emprego de algoritmos mais sofisticados para a classificação da qualidade de pavimento. O código do algoritmo foi elaborado em linguagem de programação *Python*.

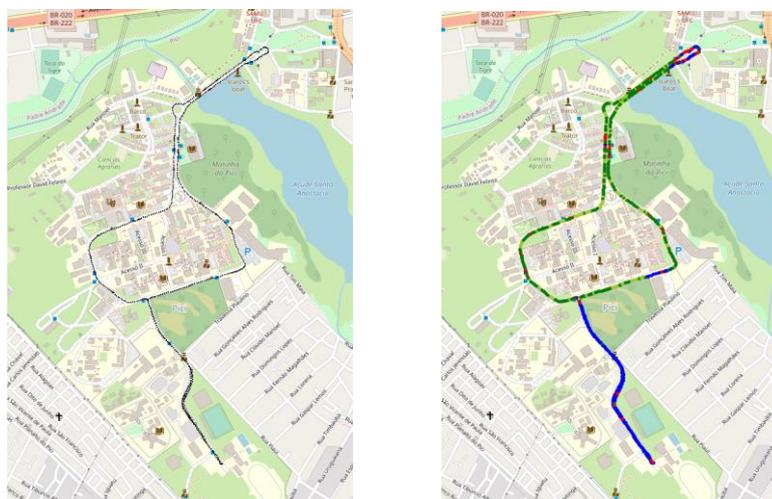


**Figura 1:** Esquema do processo de criação do mapa e registro da captura dos dados

A rota escolhida para o desenvolvimento do modelo possui 4,7 km e está localizada no *Campus* do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, visando contemplar a maior quantidade de tipologia de elementos, tais como tachões, lombadas, buracos, pavimentação poliédrica e flexível, para obter quantidades de *inputs* distintos nas rotulações do modelo.

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

Para a elaboração do mapa, foram utilizados os dados do levantamento da rota de desenvolvimento do modelo. O algoritmo não supervisionado utilizado classificou o trecho destacando lobadas e tachões (em vermelho), revestimento asfáltico (em azul), pavimentação poliédrica (em verde claro) e trechos de pavimentação poliédrica de baixo conforto ao rolamento (em verde), ilustrados em escala de cores (Figura 2).



**Figura 2:** Trecho antes da classificação (à esquerda) e trecho classificado (à direita), no local de estudo

## 5. CONCLUSÕES PRELIMINARES

A utilização de sistemas de coleta de dados em *smartphones* mostrou-se como uma alternativa de baixo custo para realização de estudos preliminares na identificação de irregularidades na superfície de pavimentos. O sistema foi capaz de identificar e localizar lombadas, tachões e trechos com baixo nível de conforto, principalmente em revestimentos de pedra poliédrica. Essas informações podem ser usadas para o planejamento de intervenções de manutenção e reabilitação dos pavimentos com problemas e escolhas de melhores trajetos baseado na qualidade do pavimento.

Os resultados preliminares indicam que a ferramenta utilizada com base em técnicas de *machine learning* tem potencial para a coleta de dados para um Sistema de Gerência de Pavimentos e na determinação de características de defeitos em diferentes revestimentos, tornando-se uma técnica moderna em complemento ou substituição aos métodos tradicionais

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. C. (2018). *Aplicativo para Smartphone Destinado à Medição da Irregularidade Longitudinal em Rodovias. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)* – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Bisconsini, D. R. (2016) *Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER (1994) PRO 164/94: *Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento*. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT (2006). *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT (2003). PRO 009/2003: *Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos - Procedimento*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- Géron, A. (2017) *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems*. Sebastopol, CA: O'Reilly
- Haas, R.; Hudson, W. R. (2015) *Pavement Asset Management*. United States of America: Wiley. 428 p.
- Lemlin, M. (1998). *Development of Tools for Performance Measurement. Final Report, PIARC Committee on Performance of Road Administrations (C15)*, World Road Association.
- Salih, J.; Edum-Fotwe, F.; Price, A. (2016) *Investigating the road maintenance performance in developing countries*, World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Civ. Environ. Struct. Constr. Archit. Eng. 10 (4) 472–476.
- Sayers, M., Karamihas, S. (1998). *Little Book of Profiling. Basic information about measuring and interpreting road profiles*, University of Michigan.
- Souza, V. M. A.; Giusti, R.; Batista, A. J. L. (2018) *Asphalt: A low-cost system to evaluate pavement conditions in real-time using smartphones and machine learning*. Pervasive And Mobile Computing, [s.l.], v. 51, p.121-137, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.10.008>.

---

Pedro Henrique Fontenele Costa Carvalho (pedrocarvalho@det.ufc.br)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes,

Saulo Davi Soares e Reis (saulo@fisica.ufc.br)

Departamento de Física

Universidade Federal do Ceará

Av. Mister Hull, s/n - Pici – Fortaleza, CE, Brasil