



**Miguel Filipe Batista Preto**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Deteção e registo automático de irregularidades no asfalto**

Relatório intermédio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

Orientador: José Manuel Matos Ribeiro da Fonseca, Associate  
Professor, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



## INTRODUÇÃO

### 1.1 Para o trabalho de Latex

Este trabalho não está totalmente de acordo com as direções dadas no enunciado mas sim de acordo com aquilo que pretendo apresentar mas respeita todos os objetivos pedidos tais como capítulos, secções, subsecções, imagens, tabelas e equações. As equações apresentadas são aleatórias pois ainda não se mostraram necessárias para o estado da arte até agora desenvolvido.

### 1.2 Uma curta apresentação

Ao longo dos anos, o número de automóveis existentes nas estradas Portuguesas tem vindo a aumentar constantemente, bem como o número de defeitos e falhas nessas mesmas vias. De modo a caminhar em direção à resolução deste problema, surgiu a oportunidade de realizar o projeto aqui apresentado, em que é sugerida uma das muitas soluções possíveis, utilizando uma abordagem que está diretamente ligada ao rápido aumento de utilizadores de telemóvel bem como ao grande número de condutores em Portugal, visto que existem cerca de 19 milhões de telemóveis em Portugal<sup>1</sup> para os cerca de 11 milhões de habitantes na mesma região<sup>2</sup>.

Surge então a necessidade de uma monitorização das vias de trânsito para a sua manutenção e reparação. Desta forma, tentando aliar a tecnologia com este fator, será desenvolvido um sistema que irá ser integrado em automóveis e que possa fazer a deteção e comunicação de defeitos nas estradas em que cada automobilista circula.

---

<sup>1</sup><http://www.pordata.pt/Portugal/Assinantes+++equipamentos+de+utilizadores+do+servi%C3%A7o+m%C3%B3vel> 1180

<sup>2</sup><http://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio> 10

Este documento irá fornecer, da forma mais detalhada possível, como construir e montar um sistema de detecção de defeitos nas estradas, utilizando um acelerómetro e um telemóvel, bem como comunicação *bluetooth* e *wi-fi*, de modo a estabelecer a comunicação entre os vários componentes do sistema. Serão também apresentados os diversos pontos fortes e fracos da solução tomada, fazendo sempre a comparação com projetos já desenvolvidos e as suas respetivas soluções.

### 1.3 Descrição de especificações

#### 1.3.1 Acelerómetro

Um acelerómetro é um dispositivo eletromagnético que mede forças de aceleração. Estas forças podem ser constantes ou variáveis, como a força da gravidade ou uma mudança de direção do acelerómetro, respetivamente. Medindo a aceleração gravítica, é possível saber se um automóvel está a subir ou a descer e medindo uma aceleração variável é possível detetar quando um condutor passa por um buraco na estrada. Os acelerómetros podem apresentar diversos modos de funcionamento, que não se vão mostrar relevantes para a execução deste projeto. O que vai ser tido em conta são as funcionalidades que cada um pode apresentar, nomeadamente o número de eixos a medir, a variação máxima das forças que nele são aplicadas e a sua sensibilidade em relação às forças medidas.

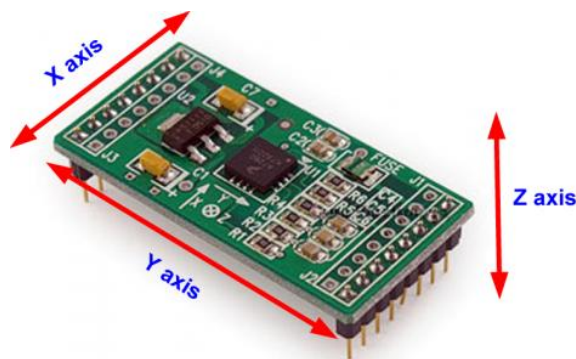


Figura 1.1: Módulo acelerómetro

#### 1.3.2 Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia padrão para comunicações sem fios à escala global que liga dispositivos que se encontrem separados por curtas distâncias e encontra-se integrada em bilhões de produtos no mercado atual, fazendo a ligação à Internet das Coisas (Internet of Things). Esta tecnologia utiliza pouca energia e cria uma pequena rede ad hoc que emparelha dois a oito dispositivos remotamente através de um pequeno circuito que comunica utilizando ondas rádio, sendo possível conectar produtos como colunas, luzes, televisões, garrafas de água ou até brinquedos.



Figura 1.2: Módulo bluetooth

#### 1.3.3 Wi-fi

Wi-fi, abreviatura de Wireless Fidelity (fidelidade sem fios) é uma tecnologia que utiliza ondas rádio para fornecer ligação a uma rede e é estabelecida utilizando adaptadores sem fios para criar ponto de acesso (hotspot) que permite aos utilizadores obterem ligação ao serviço de internet, desde que estejam ligados a ele. É necessário um adaptador sem fios para transmitir o sinal via rádio, que é enviado para um decodificador (router) através de uma antena para que toda a informação possa ser enviada via internet, utilizando várias frequências que permitem diversas velocidades de transmissão.

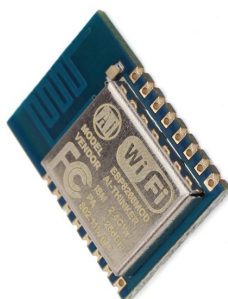


Figura 1.3: Módulo wifi



## ESTADO DA ARTE

### 2.1 Principais metodologias

Visto que todas as tecnologias a ser utilizadas não são muito recentes, já surgiram implementações para o problema aqui apresentado, sempre com variantes entre os vários trabalhos, cada uma delas com as suas vantagens e desvantagens, sendo este capítulo direcionado à enumeração dessas diferenças de modo a justificar a abordagem que será tomada na implementação da solução apresentada.

Depois de ler vários artigos relacionados, começa a surgir um padrão de diferentes metodologias e soluções que são bastante semelhantes entre si, sendo os principais:

1. **Camera vídeo**
2. **Camera vídeo com iluminação artificial**
3. **Ultrassom**
4. **Acelerómetro**

#### 2.1.1 Camera vídeo

No que toca às cameras de vídeo, estes trabalhos não são diretamente comparáveis com aquele que será aqui apresentado, uma vez que utiliza uma tecnologia para a deteção e reconhecimento dos buracos bastante diferente, embora a parte da comunicação de alguns casos seja interessante e poderá propor uma abordagem semelhante ao assunto. Dos artigos disponíveis, três são aqueles que mostram abordagens mais interessantes, sendo que apresentam soluções diferentes. Em [12] e [1] são utilizadas duas cameras e apresentados algoritmos muito semelhantes e com resultados bastante positivos, sendo possível determinar uma relação entre estes trabalhos devido às várias colaborações já

existentes entre os autores. Numa solução diferente, em [10] é descrito um processo de detecção de buracos utilizando um sensor Kinect <sup>1</sup> que só tem uma camera mas tem um sensor de infravermelhos para determinar a distância a que se encontra um objeto. Esta solução tem resultados semelhantes e para a sua implementação são necessários menos cálculos, uma vez que o software Kinect o faz de origem. Além disso, embora não seja apresentado, é de esperar que esta opção seja menos dispendiosa que as anteriormente apresentadas.

### 2.1.2 Camera vídeo com iluminação artificial

Apesar dos artigos apresentados nesta secção utilizarem também cameras, é interessante separá-los dos anteriores uma vez que a detecção dos buracos é feita de forma segmentada, consoante a passagem pelo próprio buraco. Em [11] e [4] são projetadas linhas vermelhas no solo, perpendiculares à estrada, que deixam de ser retas sempre que existe uma perturbação na estrada. À medida que o sistema de detecção avança pela estrada, várias linhas são detetadas e é feito um mapeamento do buraco a analisar. A partir da análise da deformação das várias linhas é possível determinar a profundidade do buraco bem como as suas dimensões reais.

Não serão feitas comparações entre os casos já apresentados pois processamento de imagem não será o método a apresentar neste documento.

### 2.1.3 Ultrassom

Outra abordagem completamente diferente é a utilização de sensores ultrassom. É uma opção semelhante à que será tomada neste projeto na medida em que é quase obrigatório passar por um buraco para fazer a sua detecção, ao contrário da análise de imagens em que é possível evitá-los. Em [5] é mostrado um protótipo que permite a detecção de buracos através da análise do tempo de retorno de um ultrassom emitido e onde são determinados os valores a utilizar. [8] é um projeto mais elaborado, em que uma montagem semelhante é utilizada num veículo e o conceito é testado em estradas reais. É possível elaborar uma relação entre os dois projetos em que [5] é um protótipo para [8] visto os autores comuns a ambos e as suas referências.

### 2.1.4 Acelerómetro

Esta será a abordagem a ser utilizada e aquela em que os artigos analisados se mostram mais relevantes, devido à semelhança com o projeto que se pretende desenvolver. Em [9] é utilizado o acelerómetro do telefone e são apresentados vários algoritmos para a determinação do que é ou não um buraco na estrada. São também feitas algumas comparações sobre os resultados que diferentes telefones apresentam, dependendo do seu

---

<sup>1</sup><https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>



acelerómetro. No que diz respeito a [3], é um documento semelhante ao anterior mas adiciona um giroscópio para melhor deteção de buracos. Embora os resultados apresentados sejam bons, terá que ser tido em conta o processamento extra necessário para os dados do giroscópio. Em [2] foi criado um elemento que contém GPS e acelerómetro e ainda um microprocessador para processar os dados adquiridos. É um sistema muito bem construído e que apresenta vários resultados em estradas de diferentes condições mas poderá ser mais caro do que o pretendido desenvolver neste projeto. No artigo apresentado em [6] é apresentada a comunicação entre vários veículos quanto à sua deteção de buracos. É uma ideia que poderá vir a ser implementada neste pelo que foi considerado um artigo bastante importante, apesar dos resultados apresentados serem relativos à comunicação e não quanto à deteção dos buracos especificamente. Por fim, é ainda de salientar o trabalho em [7] que apresenta uma metodologia semelhante à desejada tomar no que diz respeito à comunicação para uma base de dados mas com pouco desenvolvimento e testes, pelo que será uma boa base para continuação deste trabalho.

## 2.2 Comparação de resultados

Comparando todos os artigos apresentados, é de notar que cada um tem os seus pontos fortes e fracos, como seria de esperar. Para o trabalho que será desenvolvido as qualidades mais importantes a ter em conta são o preço do material utilizado bem como o tempo de processamento que o método consome. A tabela 2.1 mostra as características que serão tidas em conta bem como quais as metodologias que as apresentam.

Tabela 2.1: Comparação de resultados de artigos

	Qualidade de resultados	Preço de material	Tempo de processamento	Processador já incluído
Camera vídeo	✓	✗	✗	✗
Camera + iluminação	✓	✗	✗	✗
Ultrassom	✓	✓	✓	✗
Acelerómetro	✓	✓	✓	✓

Desta forma, a utilização de um acelerómetro é a mais indicada. Dentro desta metodologia, ainda é possível fazer uma comparação dos vários artigos analisados e tirar algumas conclusões. Os resultados destas comparações são apresnetados na tablea 2.2.

Tabela 2.2: Comparação de resultados com utilização de acelerómetro

	Acelerómetro do telefone	GPS do telefone	Giroscópio do telefone	Processador do telefone	Custos além do telefone
[8]	✓	✓	✗	✓	✗
[9]	✓	✓	✓	✓	✗
[10]	✗	✗	✗	✗	✓

Embora os resultados de trabalhos em que todos os componentes fazem parte do

telefone sejam mais promissores em termos de preço de materiais, a sua viabilidade é mais baixa, uma vez que um sistema que seja para o público em geral necessita de apresentar resultados consistentes, independentemente da situação e se o acelerómetro não estiver sempre no mesmo sítio (neste caso, o telefone) as leituras de cada buraco detetado são alteradas a cada passagem, dependendo do local em que o telefone se encontra, seja no bolso do casaco, no banco ou no tablier de um veículo. Desta forma, a solução que será apresentada num projeto futuro terá a um smartphone do utilizador como componente obrigatório, bem como um acelerómetro externo que será fixado no veículo, em princípio no amortecedor, algo que será ainda testado para obtenção de melhores resultados.

## 2.3 Umas equações bonitas

A primeira equação a apresentar é a que para mim mais prazer dá em analisar pois junta coordenadas polares e os dois números mais simples que existem. Para a segunda

$$e^{(\pi \times i)} + 1 = 0$$

Figura 2.1: A minha equação favorita

equação, achei interessante utilizar a equação do volume da esfera porque é uma fórmula de volume que difere da maior parte dos restantes sólidos geométricos. Desta forma ficam

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$$

Figura 2.2: Equação do volume da esfera

incluídas algumas equações neste documento, tal como pedido.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] C. K. Chan, Y. Gao, Z. Zhang e N. Dahnoun. "Implementation and evaluation of a pothole detection system on TI C6678 digital signal processor". Em: *EDERC 2014 - Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research Conference*. 2014. ISBN: 9781479968411. DOI: [10.1109/EDERC.2014.6924408](https://doi.org/10.1109/EDERC.2014.6924408).
- [2] K. Chen, M. Lu, X. Fan, M. Wei e J. Wu. "Road condition monitoring using on-board three-axis accelerometer and GPS sensor". Em: *Proceedings of the 2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China, CHINACOM 2011*. 2011. ISBN: 9781457701016. DOI: [10.1109/ChinaCom.2011.6158308](https://doi.org/10.1109/ChinaCom.2011.6158308).
- [3] M. M. Fouad, M. A. Mahmood, H. Mahmoud, A. Mohamed e A. E. Hassanien. "Intelligent Road Surface Quality Evaluation Using Rough Mereology". Em: (). URL: <http://www.egyptscience.net>.
- [4] Y. He, J. Wang, H. Qiu, W. Zhang e J. Xie. "A research of pavement potholes detection based on three-dimensional projection transformation". Em: *Proceedings - 4th International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2011*. 2011. ISBN: 9781424493067. DOI: [10.1109/CISP.2011.6100646](https://doi.org/10.1109/CISP.2011.6100646).
- [5] S. Hegde, H. Mekali e G. Varaprasad. "Pothole detection and inter vehicular communication". Em: *2014 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES 2014*. 2015. ISBN: 9781479918829. DOI: [10.1109/ICVES.2014.7063729](https://doi.org/10.1109/ICVES.2014.7063729).
- [6] J. Jang, A. W. Smyth, Y. Yang e D. Cavalcanti. "Road Surface Condition Monitoring via Multiple Sensor-Equipped Vehicles". Em: ().
- [7] A. Kattan e M. F. Aboalmaalay. "A smartphone-cloud application as an aid for street safety inventory". Em: *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*. 2014. ISBN: 9781479941063. DOI: [10.1109/ICECCO.2014.6997572](https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997572).
- [8] R. Madli, S. Hebbar, P. Pattar e V. Golla. "Automatic Detection and Notification of Potholes and Humps on Roads to Aid Drivers". Em: *IEEE SENSORS JOURNAL* 15.8 (2015). DOI: [10.1109/JSEN.2015.2417579](https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2417579).
- [9] A. Mednis, G. Strazdins, R. Zviedris, G. Kanonirs e L. Selavo. "Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers". Em: *2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, DCOSS'11*. 2011. ISBN: 9781457705137. DOI: [10.1109/DCOSS.2011.5982206](https://doi.org/10.1109/DCOSS.2011.5982206).

- [10] I. Moazzam, K. Kamal, S. Mathavan, S. Usman e M. Rahman. “Metrology and visualization of potholes using the microsoft kinect sensor”. Em: *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*. 2013. ISBN: 9781479929146. DOI: [10.1109/ITSC.2013.6728408](https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728408).
- [11] X. Yu e E. Salari. “Pavement pothole detection and severity measurement using laser imaging”. Em: *IEEE International Conference on Electro Information Technology*. 2011. ISBN: 978-1-61284-464-0. DOI: [10.1109/EIT.2011.5978573](https://doi.org/10.1109/EIT.2011.5978573).
- [12] Z. Zhang, X. Ai, C. K. Chan e N. Dahnoun. “AN EFFICIENT ALGORITHM FOR POTHOLE DETECTION USING STEREO VISION”. Em: ().