

CARACTERIZAÇÃO DA IRREGULARIDADE TRANSVERSAL DOS PAVIMENTOS DA REDE OPERADA PELA BRISA COM RECURSO A EQUIPAMENTOS DE ELEVADO RENDIMENTO

Armando Matos

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, armando.matos@brisa.pt

Tiago Santos

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, tiago.santos@brisa.pt

Vinicius Barbon

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, vinicius.barbon@brisa.pt

Paulo Barros

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, pbarros@brisa.pt

Maria João Rato

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, maria.rato@brisa.pt

RESUMO: A informação sobre os diferentes parâmetros que permitem caracterizar o estado do pavimento constitui um requisito essencial à eficaz gestão da rede de autoestradas operada pela Brisa. Esse conhecimento permite dar suporte às decisões a tomar na escolha das melhores soluções a considerar no âmbito de um programa de conservação de curto/médio prazo.

De entre os parâmetros que são utilizados para caracterizar e avaliar o estado dos pavimentos, do ponto de vista do seu desempenho funcional, a irregularidade transversal é, sem dúvida, um dos parâmetros que contribui para a segurança e conforto de circulação dos clientes.

Neste trabalho apresenta-se um estudo efetuado para a avaliação da irregularidade transversal, através da determinação da profundidade máxima dos cavados de rodeira, contemplando os resultados mais recentes obtidos por equipamentos de elevado rendimento distintos, nomeadamente Perfilómetro Laser, tradicionalmente utilizado, e um sistema *mobile mapping* com tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging), uma experiência iniciada pela Brisa em 2024, e que se encontra em processo de validação.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento, Irregularidade Transversal, Cavado de Rodeira, Perfilómetro Laser, LiDAR, Mobile Mapping

1. Enquadramento e motivação

A Brisa promove anualmente campanhas de auscultação face à necessidade de gerir uma rede de autoestradas com base no conhecimento atualizado do estado dos pavimentos. A título de exemplo, nos últimos dois anos (2023/24) foram observados mais de 1500 km de extensão em ambos os sentidos de circulação, no que se refere à caracterização do parâmetro rodeiras. Face à periodicidade de observação de quatro anos, procura-se que anualmente seja caracterizada pelo menos um quarto da rede.

A segurança e o conforto de circulação dos clientes são dois fatores que esta concessionária é particularmente sensível e, aos quais, tem dedicado uma atenção acrescida e continuada.

A irregularidade transversal está diretamente relacionada com o aparecimento de deformações permanentes (rodeiras) provocadas pelo tráfego pesado e localizadas ao longo da zona de passagem dos rodados (bandas de rolamento).

De entre as causas possíveis do aparecimento de rodeiras destacam-se:

- Capacidade deficiente das camadas granulares e da fundação, com ocorrência de deformações permanentes – rodeiras de grande raio.
- Misturas betuminosas com reduzida resistência à deformação plástica (ligante mole, deficiente qualidade dos agregados, dosagem incorreta do ligante) – rodeiras de pequeno raio.
- Compactação insuficiente das camadas em geral.

Os processos relacionados com a metodologia de observação das rodeiras têm vindo a ser alterados e melhorados, assegurando a fiabilidade e qualidade dos dados recolhidos, e otimizado o processo de tratamento dos mesmos.

No contexto da auscultação dos pavimentos da rede Brisa, e para a medição da profundidade dos cavados de rodeira, importa diferenciar as medições de natureza pontual das medições em contínuo. Na caracterização pontual os ensaios são feitos com a régua e na caracterização em contínuo têm sido empregues equipamentos que utilizam tecnologia laser.

A medição pontual com a régua é limitada a pequenas extensões, de baixo rendimento e inadequada para a observação ao nível da rede.

Nos ensaios dinâmicos utilizou-se numa primeira fase, entre 2016 e 2018, um sistema de varrimento laser móvel (Mobile Laser Scanning). Posteriormente, entre 2018 e 2021, foi utilizado o equipamento multifunções LCMS (Laser Crack Measurement System) que também permite caracterizar as rodeiras. Mais recentemente, entre 2020 e até à data, tem sido utilizado um perfilómetro munido de uma barra transversal com 9 lasers.



Fig. 1. Equipamentos utilizados na rede Brisa para medição das rodeiras

2. Caracterização do parâmetro Rodeiras

As rodeiras são deformações transversais nas camadas do pavimento flexível, as quais provocam oscilações nos veículos em circulação, afetando a estabilidade de condução.

Esta condição promove a redução da qualidade de condução, quer em termos de conforto, quer de segurança.

Acresce ainda que este tipo de degradação é especialmente grave quando ocorre acumulação de água na superfície do pavimento, potenciando o fenómeno de aquaplanagem.

Para além desta consequência, a acumulação de água nas rodeiras, conjugada com temperaturas negativas, pode determinar a formação de gelo, aumentando o risco de acidentes.

O aumento da intensidade do tráfego, sobretudo do tráfego pesado e consequente aumento da sua agressividade, bem como a elevada espessura das misturas betuminosas, característica da estrutura dos pavimentos da rede concessionada à Brisa Concessão Rodoviária (BCR), pode determinar uma maior propensão para o desenvolvimento de rodeiras, nomeadamente de rodeiras de pequeno raio.



Fig. 2. Exemplo de rodeiras de pequeno raio

3. Ensaios realizados

Este estudo comparou os dados obtidos na medição das rodeiras por dois métodos. O perfilómetro, que tem sido utilizado na monitorização dos pavimentos operados pela Brisa e o LiDAR, uma tecnologia recentemente adquirida pela Brisa.

A amostra considerada neste estudo correspondeu à seleção de um trecho com 20 km de extensão que foi avaliado em ambos os sentidos de circulação.

4. Perfilómetro laser

O perfilómetro utilizado foi um equipamento multifunções que permite, além de outros indicadores, determinar a profundidade máxima dos cavados de rodeira. Os resultados obtidos têm por base as medições efetuadas por nove feixes de laser instalados na barra transversal que se encontra localizada na parte da frente do veículo de ensaio.



Fig.3. Posicionamento dos lasers na barra transversal

Para este equipamento os dados são processados para diferentes comprimentos de uma “régua virtual” que é utilizada no cálculo da profundidade dos cavados de rodeira, respetivamente de 120, 200 e 300 cm.

Para um mesmo ponto, quanto maior for a extensão da régua utilizada maior é a profundidade dos cavados de rodeira. Na medição das rodeiras com o perfilómetro apenas foram considerados os dados obtidos com a “régua virtual” de 3 metros.

A configuração utilizada nos ensaios com o perfilómetro foi:

- Velocidade de ensaio: constante e igual a 80 km/h
- Intervalo de processamento da informação: 1 e 10 m

5. A tecnologia LiDAR

A crescente digitalização, automação e robotização das tecnologias de inspeção e manutenção rodoviária aumentaram ainda mais o potencial do LiDAR e de métodos semelhantes (Consilvio, et al., 2023).

A tecnologia LiDAR, implementada no sistema Leica Pegasus TRK 700 Neo (Leica Geosystems, 2023a), oferece vantagens significativas na recolha e análise de dados para deteção e quantificação de rodeiras em pavimentos.

Com uma capacidade de captura de até 1 milhão de pontos por segundo, este sistema gera nuvens de pontos de alta densidade, permitindo uma representação detalhada da superfície do pavimento.

A integração de inteligência artificial para classificação automática dos dados melhora a eficiência na identificação de deformações e irregularidades. Além disso, a elevada precisão e mobilidade do sistema tornam-no ideal para inspeções rápidas e seguras, reduzindo custos operacionais e tempos de processamento.

6. Análise de resultados

De notar que existe um desfasamento temporal nos ensaios de campo entre a aquisição de dados realizada com o perfilómetro (agosto de 2023) e a realizada pela metodologia LiDAR (abril de 2024).

Para o conjunto de dados observados pelos dois métodos (profundidade máxima dos cavados de rodeira medida nas bandas de rolamento esquerda e direita), em ambos os sentidos de circulação, determinou-se o valor médio da profundidade dos dois rodados.

Numa primeira iteração realizada para o sentido crescente da zona em estudo, os resultados que foram obtidos são os apresentados na Fig. 4.

De uma análise preliminar destes valores, verifica-se que em regra os valores representados a azul, obtidos com a metodologia LiDAR, são superiores aos valores representados a laranja que foram obtidos com o perfilómetro. Contudo, verifica-se que entre ambas as séries há um paralelismo dos dados, com exceção de uma zona no final onde os valores são semelhantes.

Essa zona diferencia-se do restante trecho por se tratar de uma via de lentos, apresentando por esse motivo uma largura mais reduzida com cerca de 3,1 metros.

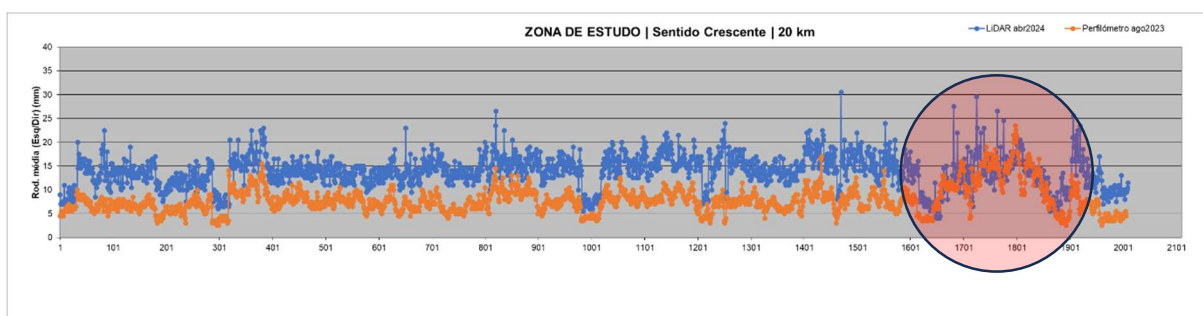


Fig.4. Profundidade das rodeiras no sentido crescente da zona de estudo (primeira iteração)

Ou seja, a diferença de valores entre ambas as séries, desvaneceu a partir do momento em que passou a utilizar uma “régua virtual” com um comprimento de 3 metros nos dados obtidos pela metodologia LiDAR, o mesmo comprimento da régua que foi considerada no perfilômetro.

Nas figuras 5 e 6 apresentam-se os resultados finais de cada um dos sentidos de circulação da zona de estudo.

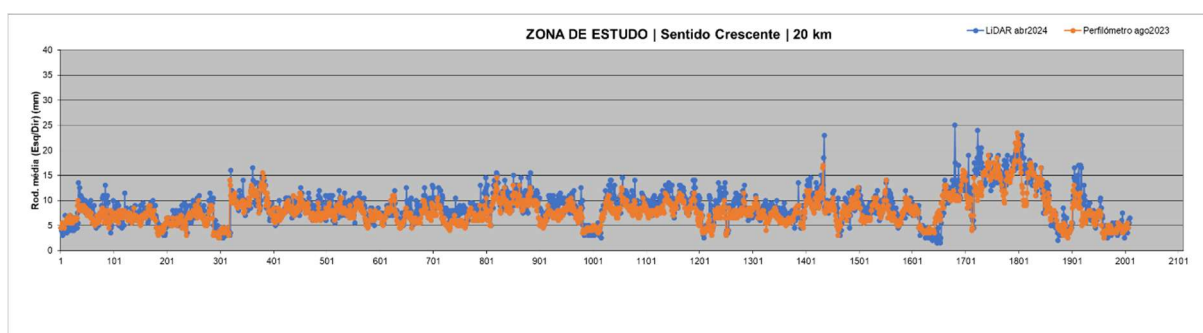


Fig.5. Profundidade das rodeiras no sentido crescente da zona de estudo

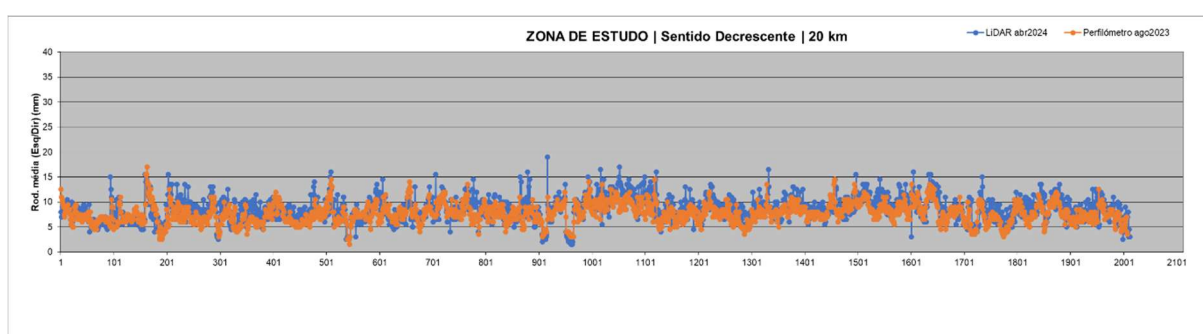


Fig.6. Profundidade das rodeiras no sentido decrescente da zona de estudo

Conforme se pode analisar através dos gráficos anteriores, verifica-se que os resultados obtidos por ambos os métodos são similares entre si. Para a zona de estudo, o valor médio da profundidade das rodeiras no sentido crescente dos quilômetros é igual ao obtido no sentido decrescente, com a diferença de 1 mm entre as duas metodologias que foram utilizadas.

Em relação aos valores obtidos para o coeficiente de variação (C.V.) por sentido, constata-se que são idênticos.

	Sentido crescente			Sentido decrescente		
	Média (mm)	Desv. P.	C.V.	Média (mm)	Desv. P.	C.V.
Perfilômetro	8	2.86	36%	8	1.99	25%
Metodologia LiDAR	9	3.37	37%	9	2.36	26%

Tabela 1. Valores estatísticos por sentido

7. Conclusões

Os resultados obtidos apresentam elevada consistência na medição do parâmetro rodeiras, havendo ainda que alargar a amostra, por forma a dotar de maior robustez a fiabilidade do método de recolha de dados pelo LiDAR.

A fiabilidade da informação recolhida é um dos aspetos mais críticos a ter em conta, uma vez que compromete todas as fases subsequentes do processo de gestão nomeadamente, a programação dos trabalhos de beneficiação do pavimento.

O uso da tecnologia LiDAR permitiu evidenciar algumas vantagens. Uma delas diz respeito à fase de tratamento de dados onde a questão de desvios em relação a uma dada trajetória não se coloca e outra está relacionada com a redução do número de passagens necessárias para caracterizar mais do que uma via. Isto é, uma passagem é suficiente para caracterizar duas vias adjacentes.

Os resultados alcançados são encorajadores e permitem dar confiança para alargar o estudo do contributo do LiDAR a outros parâmetros de avaliação do estado dos pavimentos, como a profundidade média da textura (MPD), o índice de irregularidade transversal (IRI) e o fendilhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Pereira, A. Matos, A. Costa, Characterisation of the functional quality of the portuguese national road network, Impactes ambientais da irregularidade dos pavimentos rodoviários SIAIS (1999).
- [2] NP EN 13036-8 (2012), Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos - Métodos de ensaio - Parte 8: Determinação de índices de irregularidade transversal e de outros tipos de defeitos transversais.
- [3] Leica Geosystems. (2023a). *Leica Geosystems: Revolutionizing mobile mapping with AI and precision*. Retrieved from <https://leica-geosystems.com/products/leica-pegasus-trk>
- [4] Consilvio, A., Hernández, J. S., Chen, W., Brilakis, I., Bartoccini, L., Gennaro, F. D., & Welie, M. v. (2023). Towards a digital twin-based intelligent decision support for road maintenance. *Transportation Research Procedia*, 69, 791-798. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.237>.