

Validação da determinação do Pavement Condition Index (PCI) a partir de dados obtidos com novos métodos de inspeção

Ianca Feitosa, aluna do Doutorado em Engenharia Civil – Universidade da Beira Interior – Covilhã

Wesley Eusébio, aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Universidade da Beira Interior – Covilhã

Prof.ª Dr.ª Bertha Santos, Prof.ª Auxiliar Engenharia Civil – Universidade da Beira Interior – Covilhã

Prof. Dr. Pedro G. Almeida, Prof. Auxiliar Engenharia Civil – Universidade da Beira Interior – Covilhã



11 crp

sustentabilidade e
resiliência

INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

Pavimentos Rodoviários

Impactos dos pavimentos:
influenciam segurança viária, tempo de viagem, custos e impacto ambiental.

Desafios crescentes: aumento do tráfego e demanda por infraestrutura eficiente.

SGCP - Sistemas de Gestão da Conservação de Pavimentos

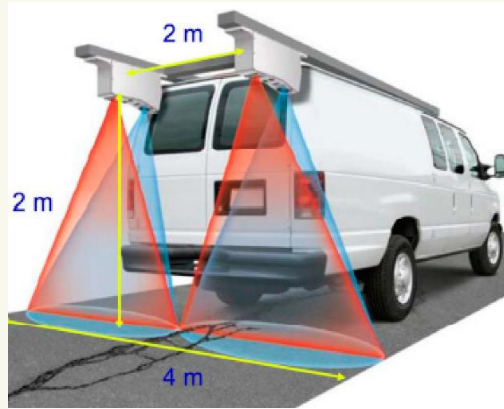
Importância: monitoramento do pavimento, manutenção planejada, vida útil prolongada, uso eficiente de recursos e mais segurança.

*A eficiência do SGCP depende da qualidade dos **dados** obtidos sobre a estrutura e o estado dos pavimentos rodoviários.*

EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE INSPEÇÃO



Levantamento
Tradicional a Pé



Veículos
Multifuncionais



VANT

PAVEMENT CONDITION INDEX

O índice PCI avalia as condições superficiais do pavimento e reflete sua integridade estrutural e funcionalidade operacional

Avalia o estado global do pavimento.

Baseia-se no tipo, gravidade e extensão das degradações.

Classificação padronizada segundo a norma ASTM D6433-23.

Classificação PCI	M&R PAVER
100 Excelente	Manutenção de rotina
85 Muito Bom	
70 Bom	Manutenção de rotina, Manutenção corretiva, Reabilitação
55 Suficiente	
40 Mau	Manutenção corretiva, Reabilitação
25 Muito Mau	Reabilitação
10 Falha estrutural	
0	

METODOLOGIA

SISTEMA MULTIFUNCIONAL MÓVEL DESENVOLVIDO NO DECA-UBI:

- 1 estrutura metálica
- 3 câmaras de vídeo
- 1 recetor GNSS RTK
- 3 recetores GPS de frequência simples
- 2 recetores GPS de dupla frequência
- 1 computador portátil
- 1 veículo



METODOLOGIA

VARIÁVEIS ANALISADAS

Tipo, densidade e nível de gravidade

Índice PCI por unidade de amostra

AMOSTRAGEM

Aleatória sistemática (ASTM D6433-23)

SOFTWARE UTILIZADO

IBM SPSS Statistics (2024)

TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

Testes de normalidade: *Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk*

Autocorrelação: identifica dependência espacial entre unidades de amostra

Correlação: avalia a relação entre a densidade das degradações e o PCI

- Coeficientes: *Pearson* (normal) e *Spearman* (não normal)

VALIDAÇÃO E MELHORIAS DE NOVOS MÉTODOS DE INSPEÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Verifica a precisão e a consistência dos dados.

Identifica padrões de degradação e avalia a amostragem.

Verifica vieses interpretativos.

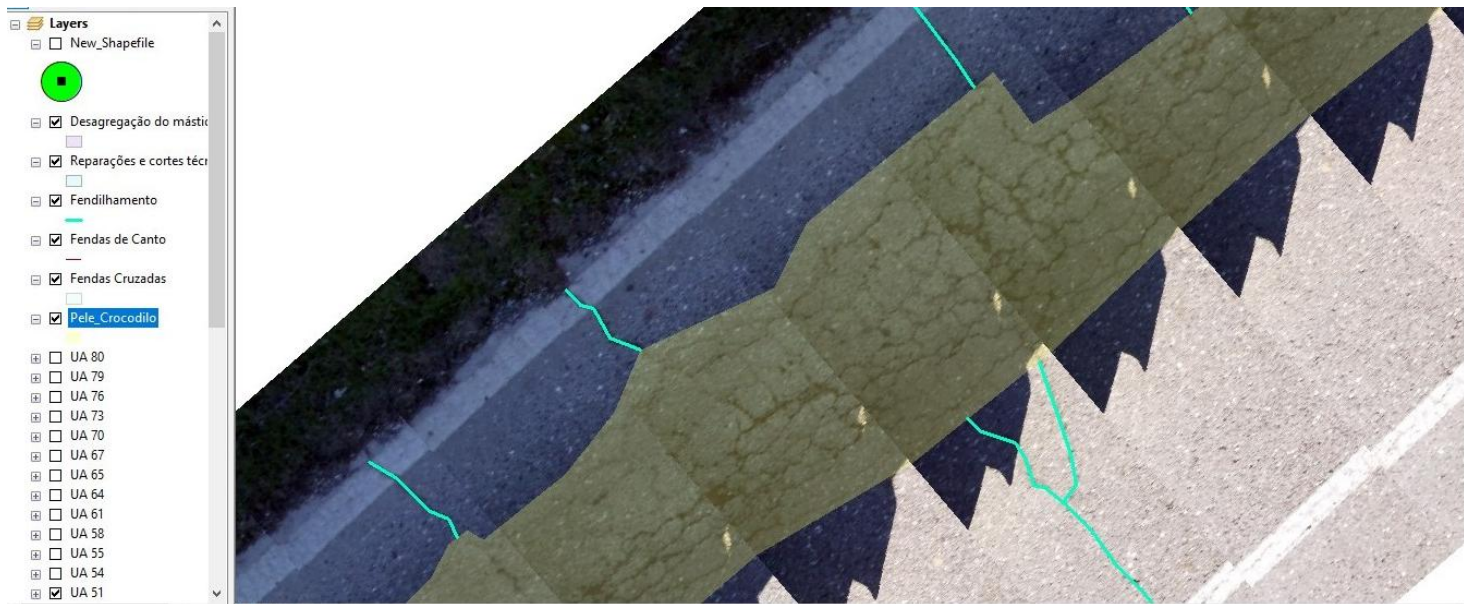
Valida objetivamente ou identifica melhorias nos métodos de inspeção de pavimentos.



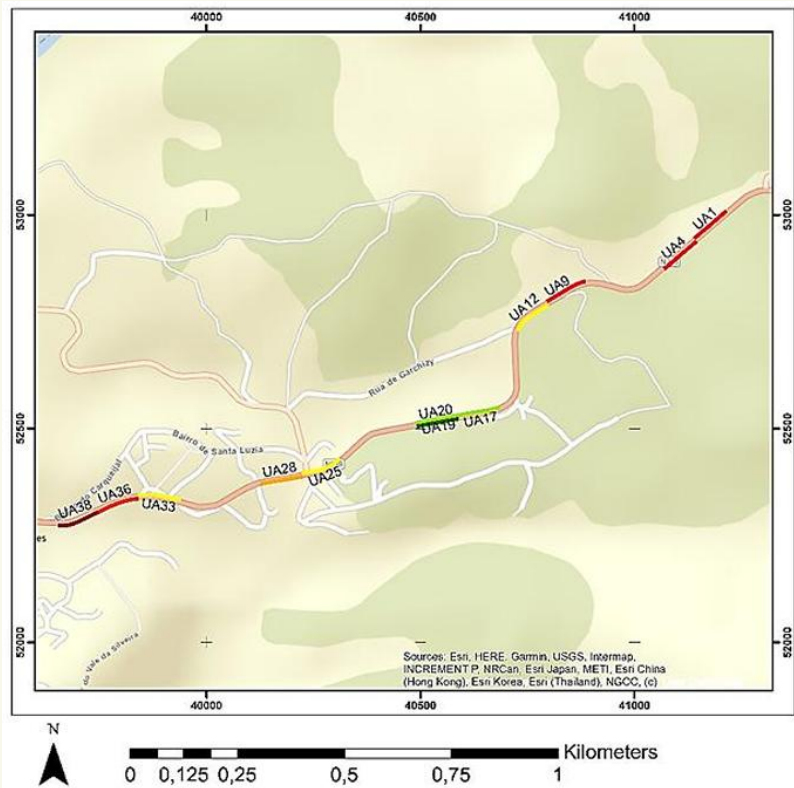
A validade dos métodos de inspeção depende da qualidade dos dados e da sua análise estatística.

CASO DE ESTUDO

Os dados foram processados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) utilizando o *software* ArcMap 10.8.2., e foram utilizados para avaliar o estado do pavimento com base na metodologia do PCI, descrita na norma ASTM D6433-23.



CASO DE ESTUDO



RESULTADOS DE PCI OBTIDOS

Secção	Localização	PCI	Tipo de Intervenção
Secção 1	Zona rural (Nordeste)	52	Manutenção Corretiva
Secção 2	Zona urbana (Central)	65	Manutenção de Rotina
Secção 3	Zona rural (Sudoeste)	39	Reabilitação
Total do trecho	-	51	Manutenção Corretiva

Legenda

Classificação do PCI

- Falha Estrutural (0-10)
- Muito Mau (11-25)
- Mau (26-40)
- Suficiente (41-55)
- Bom (56-70)
- Muito Bom (71-85)
- Excelente (86-100)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO PCI POR SECÇÃO (S1, S2 E S3) E RAMO (R01).

Análise	Média	DP	Mediana	Assimetria	Curtose	CV (%)
PCI (S1)	52	7,30	53,00	0,10	-1,21	13,98
PCI (S2)	65	6,57	67,00	0,19	-1,02	10,16
PCI (S3)	39	7,32	31,00	0,82	-0,31	18,46
PCI (R01)	51	4,39	50,50	0,13	-1,13	8,54

Os resultados apresentam coerência estatística, com variações esperadas e sem viés evidente.

A alta variabilidade em S3 (CV = 18,46%) sugere degradações localizadas relevantes para a manutenção.

A baixa assimetria e a curtose negativa reforçam a fiabilidade e a capacidade do método em captar diferenças reais nas condições do pavimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

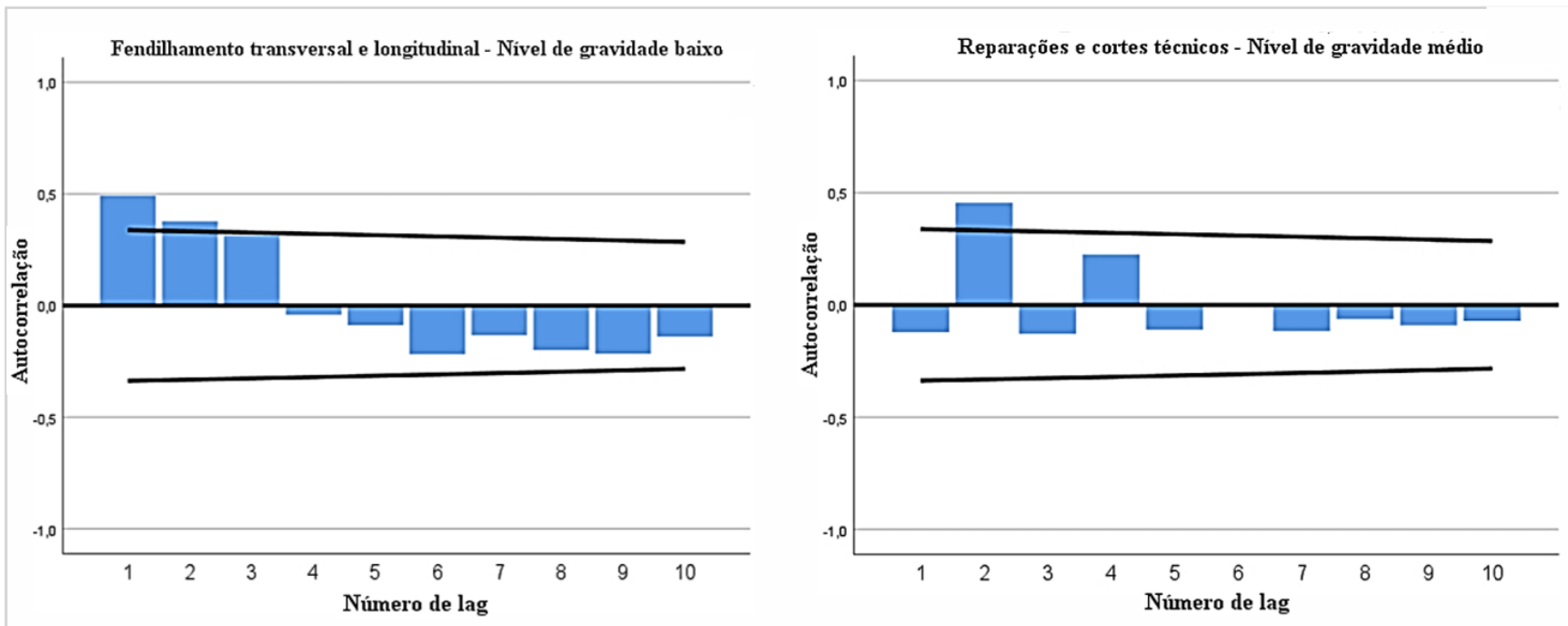
TESTES DE NORMALIDADE: KOLMOGOROV-SMIRNOV E SHAPIRO-WILK

Teste	Kolmogorov-Smirnov <i>p-value</i>			Shapiro-Wilk <i>p-value</i>		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Nível de gravidade						
Pele de crocodilo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fendas cruzadas	0,000	0,000	-	0,000	0,000	-
Fissuração dos bordos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fendilhamento transversal e longitudinal	0,051	0,000	-	0,050	0,000	-
Reparações e cortes técnicos	0,000	0,000	-	0,000	0,000	0,000
Desagregação superficial do mástique	0,000	-	0,000	0,000	-	0,000
<i>Pavement Condition Index (PCI)</i>		0,200			0,156	

Os resultados indicam que, em geral, os dados não seguem uma distribuição normal ($p < 0,05$), exceto para o fendilhamento transversal e longitudinal (gravidade baixa) e o índice PCI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AUTOCORRELAÇÃO: FENDILHAMENTO E REPARAÇÕES E CORTES TÉCNICOS



CONCLUSÕES

O método de inspeção em veículo é viável, eficaz e representa um avanço na gestão sustentável de pavimentos.

As análise estatística é uma ferramenta essencial para validar e aprimorar novos métodos de inspeção.

O sistema demonstrou:

- Precisão na identificação de degradações críticas;
- Redução do tempo e dos custo de inspeção;
- Integração com ambiente SIG, permitindo análise espacial detalhada;
- Coerência e fiabilidade nos dados de PCI;
- Medições independentes e estatisticamente consistentes.

CONCLUSÕES

Limitações observadas:

- Baixa frequência de algumas degradações reduziu a robustez estatística;
- Potenciais vieses visuais em certos tipos ou níveis de gravidade exigem ajustes metodológicos.

Trabalhos futuros:

- Refinamento dos critérios de avaliação;
- Automatização da deteção de danos (visão computacional, IA);
- Expansão do método para outras infraestruturas, como aeroportos.

OBRIGADA!

CONTACTOS

ianca.feitosa@ubi.pt

+351 932 006 886

