

Proceedings CLME2014 / IVCEM  
7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / IV Congresso de Engenharia de Moçambique  
Inhambane/Moçambique, 14-18 Abril 2014

Artigo N° A023723

## CASO DE ESTUDO DUM REFORÇO ESTRUTURAL DUM PAVIMENTO RODOVIÁRIO FLEXÍVEL

Ana Francisco<sup>1</sup>, Manuel Minhoto<sup>2(\*)</sup>

<sup>1</sup>Construções Albino Lucas, Lda - Bragança, Portugal

<sup>2</sup>Instituto Politécnico de Bragança (ESTiG) - Bragança, Portugal

(\*)Email: minhoto@ipb.pt

### RESUMO

*Neste artigo apresenta-se o resultado dum estudo de reabilitação estrutural dum pavimento flexível dum arruamento urbano degradado, usando para tal um conjunto de ensaios de deflectometria com Viga Benkelman, para o registo das deflexões do pavimento e posterior avaliação das propriedades de deformabilidade de cada camada constituinte do pavimento. Com base nesta avaliação estrutural realizou-se um estudo de dimensionamento duma camada de reforço recorrendo a três de metodologias de dimensionamento diferentes considerando dois tipos de materiais alternativos, concretamente uma mistura betuminosa convencional e uma mistura com betume modificado com borracha (BMB). As metodologias usadas foram o Manual de Dimensionamento de Reforços de Pavimentos Flexíveis das Estradas de Portugal (MDRPF), o Método da Shell e um método de dimensionamento de reforços de pavimento considerando reflexão de fendas. Conclui-se que a adoção duma mistura com BMB para o reforço de pavimento, conduz a espessuras mais baixas do que a mistura convencional, na maioria dos casos avaliados.*

**Palavras-Chave:** deflexão, reforço de pavimento, pavimento flexível.

### 1. INTRODUÇÃO

Como consequência das ações a que um pavimento rodoviário está exposto (tráfego e clima), o comportamento global de um pavimento é afetado pelo aparecimento de degradações, reduzindo assim, a sua capacidade para suportar as solicitações, afetando, desta forma, o seu comportamento estrutural e a sua aptidão funcional.

Assim, ao longo da vida em serviço, o comportamento dos pavimentos rodoviários deve ser avaliado a fim de, atempadamente, serem promovidas as ações de conservação necessárias para manter a sua qualidade ao longo do tempo (Branco et al, 2008). Uma dos tipos de avaliação do estado dum pavimento rodoviário consiste na avaliação do seu estado estrutural. Este tipo de avaliação/auscultação dum pavimento rodoviário flexível realiza-se através da análise dum parâmetro de estado designado deflexão que é obtido através de ensaios realizados *in situ* com equipamentos de deflectometria, sendo um dos mais antigos a Viga Benkelman.

Com base em métodos de análise dos resultados obtidos *in situ*, é possível determinar o módulo de deformabilidade de cada camada e do solo de fundação que constituem o pavimento. O módulo de deformabilidade é um parâmetro essencial na avaliação do comportamento estrutural dum pavimento, pois caracteriza o seu estado estrutural fundamental para o estudo de reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis.

A técnica de reabilitação estrutural do pavimento, estudada no presente trabalho, foi o reforço estrutural, que consiste na aplicação de camadas betuminosas sobre o pavimento existente. Esta técnica aumenta a capacidade de carga do pavimento por forma a suportar as ações do tráfego futuro (Antunes, 2005) e, melhora, indiretamente, a aptidão funcional.

Assim, o objetivo do presente estudo foi auscultar um pavimento rodoviário flexível existente, por forma a avaliar as suas características estruturais e dimensionar uma camada de reforço considerando de três métodos Empíricos-Mecanicista e prevendo a utilização de duas misturas betuminosas: mistura betuminosa convencional e mistura com betume modificado com borracha, de modo a comparar os resultados obtidos e concluir sobre a espessura e a mistura betuminosa a aplicar na camada de reforço.

## 2. AVALIAÇÃO DA DEFLEXÃO

Os ensaios realizados com a Viga Benkelman (figura 1) permitiram registar as deflexões do pavimento através do método da linha de influência. Os pontos de leitura registados no momento dos ensaios e que permitiram obter a linha de influência para cada ponto de ensaio foram os seguintes: 0.00 m; 0.25m; 0.50m; 1.00 m; 2.50 m; 3.70 m 5.00 m. No total foram nove pontos de ensaio realizados numa extensão de 720 metros da Avenida Abade Baçal localizada em Bragança.



Figura 1. Avaliação “in situ” da deflexão

A figura 2 ilustra os resultados da deflexão nos diversos pontos de ensaio. Verifica-se que a máxima deflexão ocorre aos 1335 metros que corresponde à zona com maior degradação superficial.

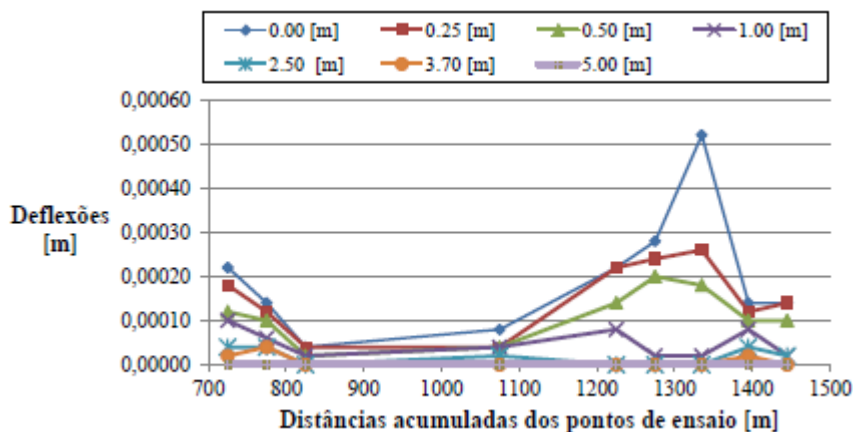


Figura 2. Relação entre as deflexões para cada ponto de ensaio

### 3. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO ESTUDADO

O módulo de deformabilidade das camadas do pavimento auscultado e do solo de fundação é determinado pelo método da retroanálise. Deste modo, é necessário proceder análise dos dados obtidos no ensaio.

Para uma melhor análise do trecho auscultado procedeu-se à sua divisão em zonas de comportamento estrutural homogéneo, de forma a permitir a determinação dos deflectogramas característicos e uma posterior avaliação estrutural de cada zona.

#### 3.1 Divisão em Zonas com Comportamento Estrutural Homogéneo

A divisão do trecho de estrada auscultado em zonas com comportamento estrutural homogéneo foi realizada pelo método das diferenças acumuladas, onde o parâmetro de uniformidade utilizado foi a deflexão máxima de cada ponto de ensaio. Este método permitiu dividir os 720 metros de pavimento auscultado em três zonas de comportamento estrutural homogéneo.

A figura 3 ilustra as três zonas de comportamento estrutural homogéneo associadas aos respetivos comprimentos do trecho auscultado. O eixo horizontal identifica as distâncias acumuladas do ponto de ensaio em relação ao início do arruamento, pelo que é observado que os ensaios foram iniciados aos 725 metros e finalizados aos 1445 metros do início da Avenida.

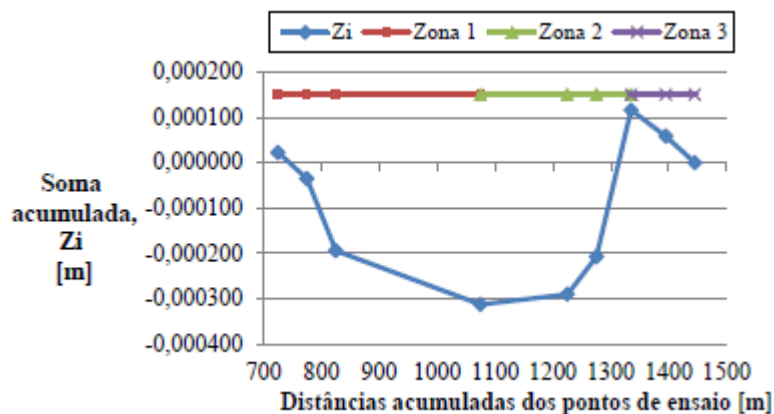


Figura 3. Divisão em zonas de comportamento estrutural homogéneo

#### 3.2 Deflectogramas Característicos

O deflectograma característico de cada zona homogénea foi obtido através da expressão (1) e para um percentil de 97.5 %.

$$d_k = m + 23s \quad (1)$$

Onde:

$$m = \sum \frac{d_i}{n} \quad (2)$$

$$s = \sum \frac{(d_i - m)^2}{(n-1)} \quad (3)$$

Sendo:

m = deflexão média

$d_i$  = deflexão do ponto de ensaio i

n = número de pontos medidos

s = desvio padrão

Na figura 4 apresentam-se os deflectogramas característicos obtidos para as zonas de comportamento estrutural homogéneo. Podemos observar que na zona 3 uma grande deflexão máxima associada com uma baixa curvatura da bacia de deflexão indica que tanto as camadas superiores como as camadas inferiores influenciam a má capacidade estrutural do pavimento. Esta baixa capacidade estrutural pode ser definida para baixos módulos de deformabilidade das camadas do pavimento existente, o que é uma consequência das degradações visíveis à superfície do pavimento.

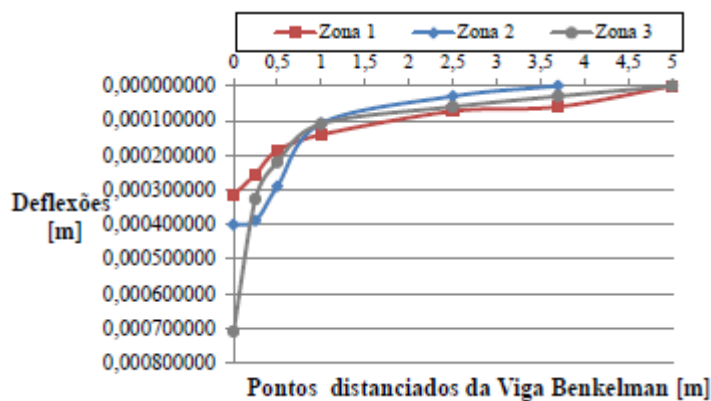


Figura 4. Comparação entre os deflectogramas característicos de cada zona

### 3.3 Determinação dos Módulos de Deformabilidade

O módulo de deformabilidade foi calculado iterativamente pelo método da retroanálise, com o auxílio do programa de cálculo Bisar (*Bitumen Stress Analysis in Roads*) e para um RMS (*Roat Mean Square*) inferior a 15%. Assim, pela expressão 1 (Alves, T. S, 2007), foi possível calcular a aproximação existente entre a deformada representativa de cada zona e a obtida pelos ensaios.

$$RMS(\%) = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left( \frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

n – número total de pontos de registo da deflexão para o ponto de ensaio i

$d_{ci}$  – deflexão calculada para o ponto de ensaio i

$d_{mi}$  – deflexão medida no ponto de ensaio i

Este método foi procedido para uma geometria do pavimento auscultado com 12 cm de espessura de camada betuminosa e 20 cm de espessura de camada granular. A tabela 1 ilustra os módulos de deformabilidade obtidos.

Tabela 1. Módulos de deformabilidade do pavimento auscultado

Zona	Módulo de Deformabilidade [Mpa]			RMS [%]
	Solo de Fundação	Camada Granular	Camada Betuminosa	
1	73	1800	6500	9,78
2	92	180	5000	13,77
3	91	185	595	14,88

Os módulos de deformabilidade das camadas betuminosas foram corrigidos para uma temperatura de projeto (ver tabela 2) através da seguinte expressão (Alves, T. S, 2007):

$$\frac{E_T}{E_{20}} = -0.0282T + 1.5562 \quad (5)$$

Com:

T = temperatura do pavimento durante os ensaios, °C

$E_T$  = módulo de deformabilidade para a temperatura T, MPa

$E_{20}$  = módulo de deformabilidade para a temperatura de referência de 20°C

Tabela 2. Módulos de deformabilidade da camada betuminosa para a temperatura de projeto

Camada Betuminosa	T [°C]	ET [Mpa]	E20 [Mpa]	Tp [°C]	Etp [MPa]
Zona 1	18,20	6500	6232,26	23,50	5568,53
Zona 2	17,00	5000	4643,39	23,50	4148,87
Zona 3	17,00	595	552,56	23,50	493,72

#### 4. ESTIMATIVA DE DIMENSIONAMENTO DA CAMADA DE REFORÇO

O dimensionamento da camada de reforço foi efetuado comparando três métodos Empíricos-Mecanicistas: o Manual de Dimensionamento de Reforços de Pavimentos Flexíveis das Estradas de Portugal (MDRPF) (EP-JAE,1995), o Método da Shell (SHELL,1978) e um método de dimensionamento de reforços de pavimento considerando reflexão de fendas, proposto por Sousa et al., 2002.

Para cada um destes métodos os materiais estudados foram: mistura betuminosa convencional (MC) e mistura com betume modificado com borracha (BMB). Na tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos por cada método em termos de espessuras obtidas para a mesma previsão de tráfego.

Tabela 3. Comparação entre as espessuras da camada de reforço pelos três métodos

		Espessura da camada de reforço [m]		
		MDRPF	SHELL (SPDM)	Reflexão de Fendas
Zona 2	MC	0,040	0,070	0,072
	BMB	0,020	0,072	0,045
Zona 3	MC	0,120	0,038	0,037
	BMB	0,070	0,061	0,027

A evolução do tráfego, estudada para a via urbana auscultada, foi determinada pelo “Manual de Dimensionamento de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional” (MACOPAV) e para um período de dimensionamento de 10 anos. Assim, foi considerado uma classe de tráfego T4, um tráfego médio anual de veículos pesados no ano de abertura de 300 veículos e uma taxa de crescimento anual de 4 %, e projetado o número acumulado de 5258675 eixos padrão de 80 KN.

O dimensionamento da camada de reforço foi realizado para as zonas que apresentavam uma vida residual inferior ao do tráfego projetado para um período de 10 anos (Zona 2 e Zona 3). Como a zona 1 tinha uma vida residual superior aquela que foi projetada, foram apenas sugeridas algumas medidas de reabilitação funcional, visto que o pavimento nessa zona apresentava algum fendilhamento de baixo nível.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a maioria das análises conclui-se que o reforço de pavimentos constituído por uma mistura com BMB melhora o comportamento do pavimento reforçado. Considera-se que esta melhoria do desempenho da mistura com BMB se deve às suas propriedades de boa flexibilidade, boa resistência à fadiga e uma boa contribuição para o comportamento global do pavimento à deformação permanente. O bom desempenho descrito contribui significativamente para uma boa resposta do reforço relativamente ao fenómeno da reflexão de fendas, apresentado, neste domínio, uma maior eficiência quando comparado com as misturas convencionais.

Quanto à metodologia de dimensionamento constata-se uma convergência de resultados entre o método da Shell (usando o programa SPDM) e a metodologia que considera a reflexão de fendas, para o caso de ser considerada a mistura convencional no reforço. Os métodos divergem nos resultados quando é considerada como integrante do reforço a mistura com BMB.

## 6. REFERÊNCIAS

- Alves, T. S. Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários – Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Defletómetro de Impacto. Dissertação para Obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2007.
- Antunes, M. D. Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005.
- Branco, F., Pereira, P., & Picado Santos, L., Pavimentos Rodoviários, Edições Almedina, Coimbra, 2008.

EP-JAE, Manual de Dimensionamento do Reforço de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, 1995.

SHELL, Shell pavement design manual - asphalt pavements and overlays for road traffic, Shell International Petroleum Company Limited, Londres, 1978.

Sousa, J., & Pais, J., Método de Dimensionamento de Reforços para Controlar a Reflexão de Fendas, 2º Congresso Rodoviário Português – Estradas, 2002, 281-294.