

# AVALIAÇÃO DO USO DE PLÁSTICO RECUPERADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO AGENTE MODIFICADOR DE MISTURAS BETUMINOSAS

Mariana Fonseca<sup>1</sup>; Arminda Almeida <sup>2</sup>; Silvino Capitão<sup>3</sup>; Rita Bandeira <sup>4</sup>; Carlos Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal

email: [marianadafonseca@sapo.pt](mailto:marianadafonseca@sapo.pt)

<sup>2</sup> Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal & CITTA Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

<sup>3</sup> CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal & Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal

<sup>4</sup> Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

---

## Sumário

O destino pós-consumo de plástico e a sua indevida deposição no meio natural têm gerado vários problemas ambientais. Assim, no presente estudo, foi avaliada a introdução de polietileno de baixa densidade (PEBD), proveniente de resíduos sólidos urbanos, em misturas betuminosas, a fim de melhorar as características dos pavimentos rodoviários e dinamizar a gestão de resíduos. O programa experimental consistiu em caracterizar misturas betuminosas com várias taxas de substituição de betume convencional por plástico reciclado, relativamente às propriedades Marshall, à sensibilidade à água, módulo de rigidez, resistência à deformação permanente e à fadiga. Os resultados evidenciaram uma melhoria significativa das propriedades das misturas betuminosas com PEBD.

---

**Palavras-chave:** Misturas Betuminosas; Resíduos Sólidos Urbanos; Plástico Reciclado; Polietileno de Baixa Densidade; Caracterização Mecânica.

## 1 INTRODUÇÃO

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é usado no fabrico de embalagens plásticas flexíveis. Trata-se de embalagens muitas vezes de uso único, descartáveis que acabam por ir parar ao lixo. A maioria destes produtos são não-biodegradáveis, sinteticamente derivados do petróleo, e demoram entre 200 a 400 anos a desaparecer do meio natural. É, assim, importante encaminhar estes resíduos para a reciclagem, de modo a dar-lhes uma segunda vida, ou para evitar que estes produtos cheguem a rios e lagos e, consequentemente, ao mar. Ao degradar-se, este resíduo vai-se partindo em pedaços cada vez mais pequenos ameaçando os ecossistemas aquáticos em todo o mundo.

A produção anual de plástico tem vindo a aumentar, tendo atingido em 2017 quase 350 milhões de toneladas, das quais 18,5 % na Europa. Da totalidade produzida na Europa, 39,7% tem como destino embalagens, sendo 17,5 % destas produzidas com PEBD e polietileno linear de baixa densidade [1]. No que respeita à reciclagem de plástico das embalagens, grande parte dos países europeus tem taxas de reciclagem acima de 35 %, o que está acima do limite mínimo de 22,5 % definido na Diretiva Europeia 94/62/CE [2]. Em 2015 a diretiva 94/62/CE sofreu uma alteração [3] de modo a reduzir o consumo de sacos de plástico leves para um máximo de 90 sacos de plástico leves por pessoa até 31 de dezembro de 2019 e 40 sacos de plástico leves por pessoa até 31 de

dezembro de 2025. A proposta de alteração da diretiva 94/62/CE define um limite mínimo de 55 % para a reciclagem de plástico de embalagens em 2025 [4].

Porém, as atuais taxas de reciclagem dos sacos de plástico leves são muito baixas e, devido a uma série de dificuldades práticas e económicas, não é provável que alcancem níveis significativos num futuro próximo [4]. Em 2015, a taxa de reciclagem na Europa foi de apenas 6,6 % [5]. É assim importante encontrar alternativas para o uso destes resíduos.

O desempenho de misturas betuminosas pode ser melhorado pela adição de polímeros [6]. Os polímeros reciclados têm-se mostrado uma alternativa viável aos polímeros virgens, dado que os resultados são praticamente os mesmos com a vantagem de ser uma solução muito mais económica [6]. A adição pode ser feita a partir da modificação do betume (via húmida) [7, 8, 9, 10] ou pela adição de polímeros sólidos às misturas betuminosas (via seca) [11], sendo mais corrente a via húmida. Mishra e Gupta [12] compararam os dois métodos usando resíduos cortados de sacos plásticos (PEBD) tendo concluindo que a via seca é uma melhor opção. Trata-se de um processo mais simples, mais económico e que produz melhores resultados.

O presente trabalho visa avaliar o desempenho de misturas betuminosas com incorporação de fragmentos de resíduos de plástico de embalagens (PEBD) pela via seca. Esta incorporação permite reduzir a quantidade de betume novo, o que contribui adicionalmente para a sustentabilidade das misturas betuminosas. Optou-se pelo uso de fragmentos de plástico em vez do uso de grãos de plástico (*pellets*), por ser uma solução mais simples e económica em termos de reciclagem. A obtenção de fragmentos de plástico implica essencialmente as seguintes fases: recolha, limpeza, secagem e corte, enquanto a obtenção de grãos de plástico (*pellets*) implica as seguintes fases adicionais: aglomeração, coloração, extrusão, transformação em grãos, muitas vezes produzidos com mistura de materiais virgens.

O trabalho que se apresenta neste artigo compreende essencialmente duas fases. Numa primeira fase foram realizados ensaios de compressão Marshall e de sensibilidade à água de modo a definir a percentagem de incorporação de resíduo mais adequada. Uma vez definida essa percentagem, iniciou-se a segunda fase do trabalho na qual se avaliou a resistência à deformação permanente no ensaio de pista, se determinou o módulo de rigidez e o ângulo de fase, e se avaliou a resistência à fadiga da mistura com a percentagem de resíduo definida. Todos os resultados foram comparados com resultados de uma mistura de referência (0% de PEBD) também produzida no âmbito deste trabalho.

## **2 MATERIAIS E PROCEDIMENTO DE FABRICO DA MISTURA BETUMINOSA**

### **2.1 Composição da mistura betuminosa**

A mistura betuminosa estudada é um betão betuminoso do tipo AC 14 surf 35/50, tipicamente utilizado em camadas de desgaste.

A composição granulométrica da mistura betuminosa é composta por várias frações de agregado de origem mineral, designadamente gnaiss 8/20, gnaiss 4/12, pó calcário 0/4 e filer calcário, nas proporções de 15 %, 36,4 %, 45,6 % e 3 %, respetivamente. A curva de distribuição granulométrica da mistura betuminosa foi formulada cumprindo os limites do fuso granulométrico do Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal (CEIP) para uma mistura do tipo AC 14 surf [13].

O ligante betuminoso constitui 5 % da massa total da mistura betuminosa, tendo sido estudada a influência da sua substituição por PEBD reciclado nas taxas de 0, 4, 6 e 8 % face à massa total de betume 35/50. Tendo em conta o objetivo do estudo, não se procedeu à determinação da percentagem ótima de betume, tendo-se optado por utilizar a percentagem de betume tipicamente usada em misturas do tipo AC 14 surf. O PEBD reciclado advém do tratamento de resíduos sólidos urbanos, obtidos através do sistema de recolha diferenciado de resíduos. O PEBD é constituído por cadeias de polímeros com uma estrutura ramificada, cuja massa volúmica está entre 0,915 e 0,925 g/cm<sup>3</sup> [14]. Este polímero é um termoplástico que funde quando sujeito à ação de calor, caracterizando-se por ter um ponto de fusão entre 110 e 115 °C. Na Fig. 1 ilustra-se este subproduto, proveniente da empresa Ambiente, sediada no distrito de Leiria.



Fig. 1. Exemplo de plástico reciclado utilizado no presente estudo [13].

## 2.2 Procedimento de fabrico da mistura betuminosa

O procedimento de fabrico consistiu na mistura dos agregados minerais com o ligante betuminoso, previamente aquecidos em estufa à temperatura de 190 e 160°C, respetivamente. Posteriormente, adicionaram-se os fragmentos de PEBD e, subseqüentemente, misturou-se o conjunto até à obtenção de uma mistura homogênea. Por fim, antes de se proceder à compactação, acondicionou-se a mistura betuminosa em estufa durante 30 minutos a 160°C, de forma a favorecer a interação entre o betume e o PEBD. Embora a literatura [9] refira que a temperatura a que se misturam os constituintes e o tempo de interação entre o ligante e o polímero influenciam as propriedades das misturas betuminosas, neste estudo exploratório não se estudou o efeito da variação daqueles parâmetros.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaio de compressão de Marshall e propriedades volumétricas

No programa experimental foram produzidos provetes cilíndricos de Marshall, compactados por impacto segundo a norma EN 12697-30 [15]. As misturas betuminosas foram caracterizadas relativamente às propriedades volumétricas e aos parâmetros de compressão Marshall.

Na Fig. 2 são apresentados os resultados da estabilidade e da deformação Marshall, determinados em conformidade com a norma EN 12697-34 [16]. Na análise dos resultados, verifica-se um aumento significativo da estabilidade Marshall com a substituição de ligante betuminoso por plástico reciclado. Relativamente à deformação, ocorre uma diminuição deste valor para a mistura betuminosa com 6 % de PEBD comparativamente à mistura de referência. Para 4 % de PEBD a deformação manteve-se semelhante à da mistura de referência e para 8% de PEBD verificou-se um aumento da deformação da mistura betuminosa. É de salientar que a mistura betuminosa com 6 % de PEBD apresenta o maior quociente Marshall (5,62 kN/mm) de todas as composições analisadas, resultando no maior valor médio de estabilidade Marshall e na menor deformação no momento de rotura.

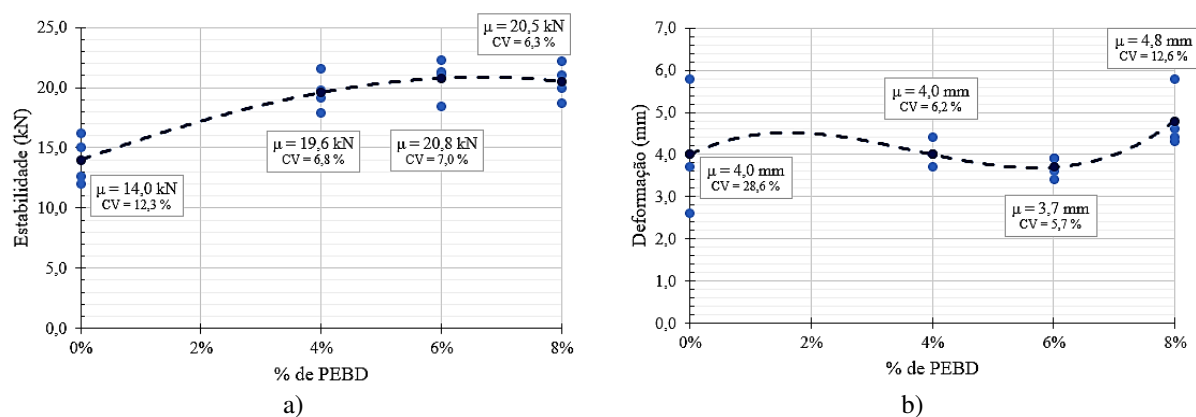


Fig. 2. Resultados do ensaio de compressão de Marshall.

A incorporação de PEBD influenciou os resultados das propriedades volumétricas das misturas betuminosas caracterizadas. Tal como ilustra a Fig. 3, a baridade das misturas betuminosas, determinada de acordo com a EN 12697-6 [17], procedimento C, teve um ligeiro aumento do valor médio para as misturas com PEBD face à baridade da mistura de referência. No que se refere à porosidade (norma EN 12697-8 [18]), os valores determinados baixaram face ao valor de 3,3 % obtido para a mistura com 0 % de PEBD, verificando-se a menor porosidade (1,9 %) para a mistura betuminosa com 6 % de PEBD reciclado. O valor de 1,9 % é inferior ao mínimo de 3 % indicado no CEIP [19] para misturas convencionais. Em relação ao VMA (vazios no esqueleto do agregado), verificou-se igualmente uma diminuição dos valores obtidos para as misturas betuminosas com PEBD reciclado, sendo de 14,4, 13,8 e 15,0 % para as misturas com uma taxa de substituição de ligante betuminoso de 4, 6 e 8 %, respetivamente. O valor medido para a mistura de referência foi de 15,3 %. Os resultados do VMA estão próximos do limite mínimo de 14 % indicado no CEIP para uma mistura betuminosa do tipo AC 14 surf convencional [13].

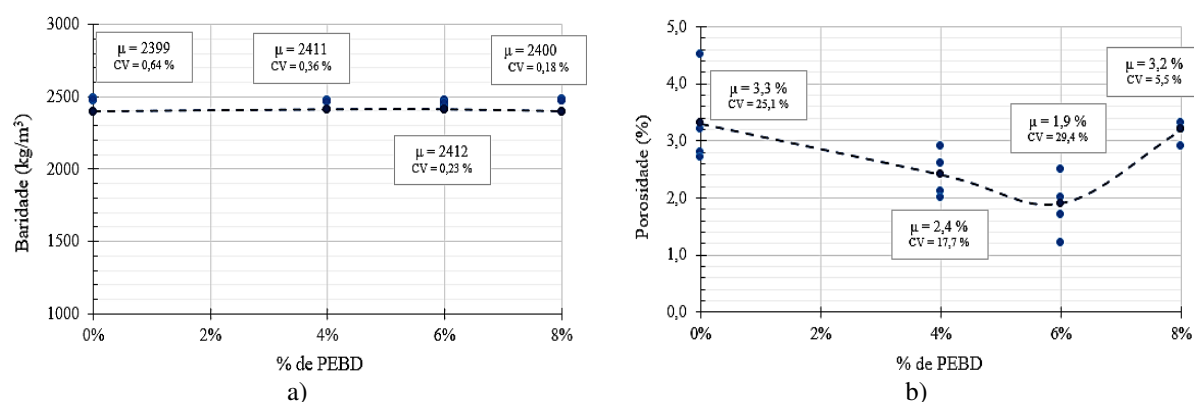
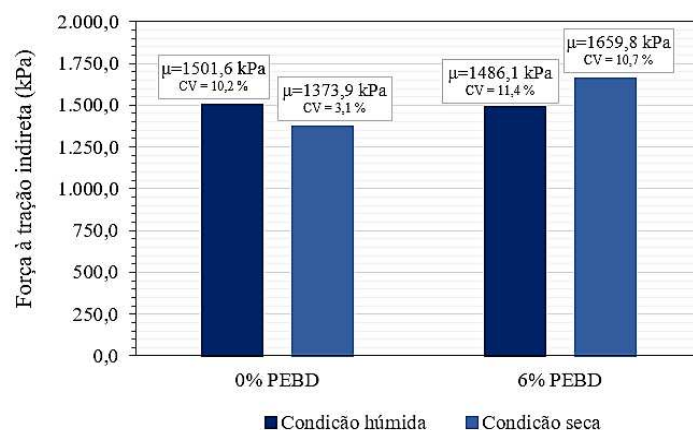


Fig. 3. Resultados da baridade e da porosidade.

Tendo por base os resultados obtidos na caracterização das misturas betuminosas no ensaio de Marshall em termos de propriedades volumétricas, procedeu-se à caracterização mecânica das misturas com uma taxa de substituição de ligante de 0 e 6 % de PEBD.

### 3.2 Sensibilidade à água

O índice de sensibilidade à água foi avaliado de acordo com a norma EN 12697-12 [20]. A mistura betuminosa com 6 % de PEBD apresentou uma resistência à tração indireta em condições secas 20,8 % superior à da mistura de referência. Contudo, a primeira apresentou um rácio de resistência no estado húmido e no estado seco, ITSR (índice de resistência conservada em tração indireta), de 89,5 %, enquanto a segunda originou um ITSR de 109,3 %. Os resultados mostram que ambas as composições apresentaram boa resistência à ação da água, com valores de ITSR acima de 80%. Verificou-se que as roturas dos provetes ocorreram de forma clara por tração, quer no caso dos provetes da mistura de referência quer no caso da mistura com 6% de PEBD. Na Fig. 4 são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação da resistência à tração indireta dos provetes ensaiados.

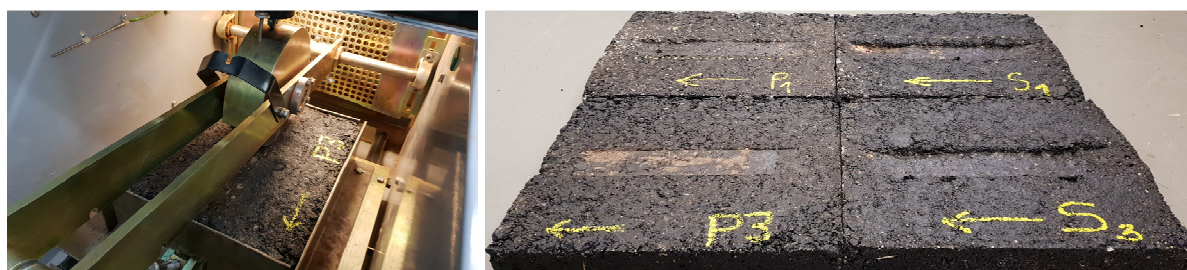


**Fig. 4. Resistência à tração indireta de cada grupo, ensaiado no estado seco e húmido, de misturas betuminosas com 0 e 6 % de PEBD.**

### 3.3 Ensaio de pista

A resistência à deformação permanente da mistura betuminosa com 6 % de PEBD e da mistura de referência (0% de PEBD) foi avaliada no ensaio de pista seguindo o procedimento definido na norma EN 12697-22 [21]. As lajes foram produzidas com mistura fabricada em laboratório (de acordo com a norma EN 12697-35 [22] e compactadas com um compactador de rolos num molde com dimensões 370x370x40 mm<sup>3</sup> (comprimento x largura x espessura) segundo a norma EN 12697-33 [23]. A temperatura de ensaio foi de (60±1) °C de acordo com o definido na NP EN 13108-1 [24].

Na Fig. 5 pode-se visualizar o equipamento de ensaio e os provetes após ensaio. O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos para a profundidade de rodeira (RD<sub>AIR</sub>) e para a percentagem da profundidade de rodeira máxima (PRD<sub>AIR</sub>).



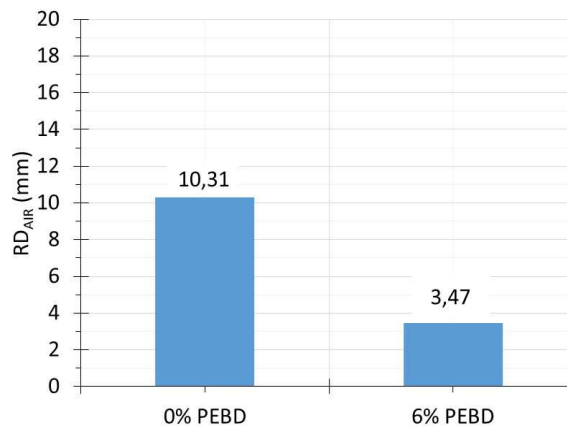
**Fig. 5. Máquina do ensaio de pista e lajes após ensaio (P1 e P3: com 6 % PEBD; S1 e S3: com 0 % PEBD).**

**Quadro 1. Resultados obtidos nos ensaios de pista**

| Mistura | Laje | Baridade <sub>SSD</sub><br>(kg/m <sup>3</sup> ) | RD <sub>AIR</sub><br>(mm) | PRD <sub>AIR</sub><br>(%) | WTS <sub>AIR</sub><br>(mm/10 <sup>3</sup> ciclos) |
|---------|------|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| 0% PEBD | S1   | 2419                                            | 10,10                     | 25,51%                    | 0,05                                              |
|         | S3   | 2416                                            | 10,51                     | 26,34%                    | 0,04                                              |
| 6% PEBD | P1   | 2363                                            | 4,20                      | 10,47%                    | 0,03                                              |
|         | P3   | 2391                                            | 2,73                      | 6,81%                     | 0,04                                              |

Baridade<sub>SSD</sub>: provetes saturados, com a superfície seca.

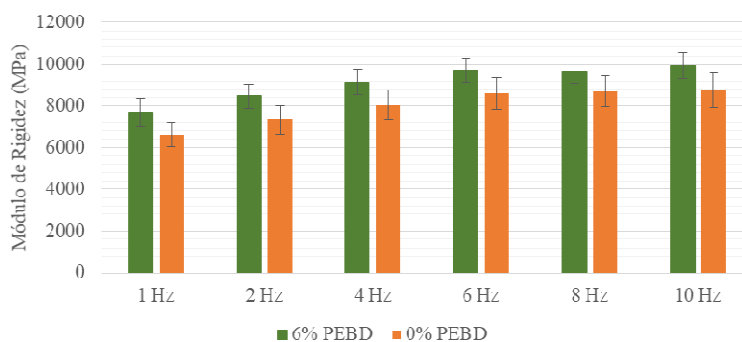
Verifica-se que os provetes produzidos com incorporação de 6% de PEBD apresentam uma maior resistência à deformação permanente. A incorporação do resíduo (6% de PEBD) permitiu reduzir a profundidade de rodeira em 66% (Fig. 6).



**Fig. 6. Profundidade média de rodeira.**

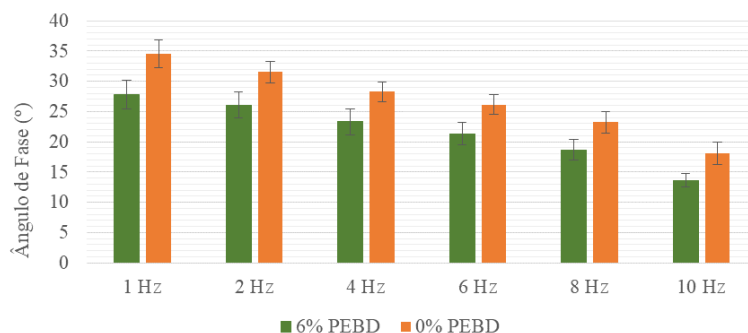
### 3.4 Módulo de rigidez

A determinação do módulo de rigidez foi realizada através de ensaios de flexão a 4 pontos seguindo o procedimento de ensaio definido na norma EN 12697-26 [25]. Este ensaio consistiu na aplicação de um carregamento sinusoidal repetido com extensão controlada, com uma amplitude de 50  $\mu\text{m/m}$ . O ensaio foi realizado a 20°C e foram consideradas 6 frequências de ensaio (1, 2, 4, 6, 8 e 10 Hz), simulando assim velocidades de circulação de 6 a 63 km/h). Na Fig. 7 apresentam-se os resultados obtidos para as duas misturas. Tal como seria de esperar, verifica-se um aumento do módulo de rigidez em função da frequência aplicada. A mistura com 6% de PEBD apresenta um módulo de rigidez cerca de 12% acima na mistura de referência (0% de PEBD).



**Fig. 7. Módulo de rigidez.**

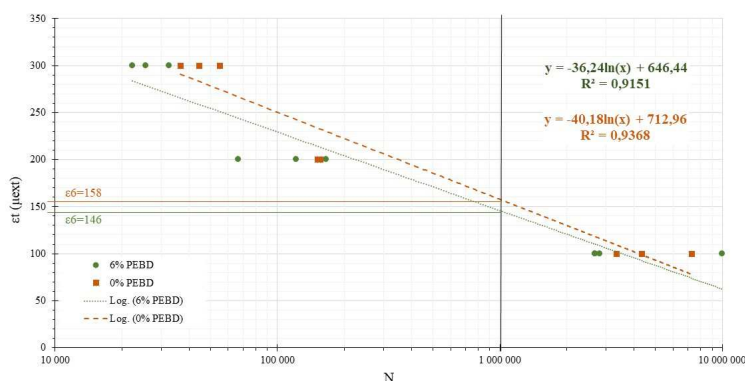
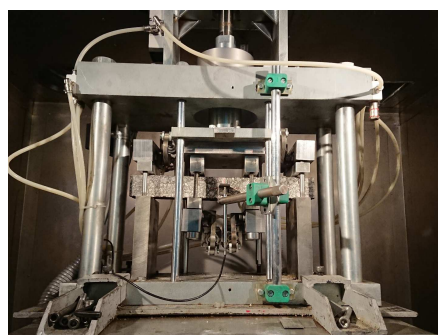
Em seguida, na Fig. 8 são apresentados os valores do ângulo de fase correspondentes a cada frequência apresentada anteriormente, sendo notório que existe uma diminuição do ângulo de fase nas frequências de ensaio superiores, tendo um menor desfasamento entre as ondas sinusoidais da força e da deformação.



**Fig. 8. Ângulo de fase.**

### 3.5 Resistência à fadiga

Por fim, foi avaliada a resistência à fadiga da mistura betuminosa com 6 % de PEBD e da mistura de referência (0% de PEBD) no ensaio de flexão a 4 pontos, de acordo com o procedimento de ensaio definido na norma EN 12697-24 [26]. O ensaio foi realizado a extensão constante, a uma frequência de 10 Hz e a uma temperatura de 20°C, tendo-se convencionado a ruína dos provetes para uma redução de 50% do módulo de rigidez inicial. Na Fig. 9 pode-se visualizar o equipamento de ensaio e os resultados, num gráfico semilogarítmico, da extensão de tração em função do número de ciclos de repetição de cargas.



**Fig. 9. Equipamento de ensaio e representação gráfica das Leis de Fadiga para ambas as misturas.**

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que para níveis de extensão até 200  $\mu\text{m/m}$  a mistura com 6% de PEBD tem um desempenho bastante semelhante ao da mistura de referência (0% de PEBD), tendo-se obtido valores de  $\epsilon_6$  (extensão necessária para que ocorra ruína do material ao fim de um milhão de ciclos) de 158 e 146  $\mu\text{m/m}$ , respetivamente, para as misturas de referência e com PEBD. Para o nível de extensão mais alto (300  $\mu\text{m/m}$ ) a mistura de referência apresenta uma maior resistência à fadiga.

## 4 CONCLUSÕES

Numa primeira fase do programa experimental, no qual se testaram diferentes taxas de incorporação de resíduo, verifica-se que a mistura formulada com 6 % de PEBD, face à massa total de ligante betuminoso, representa a melhor solução, já que com esta taxa se obteve os melhores resultados no ensaio de compressão Marshall (maior valor da estabilidade e menos valor da deformação).

Em relação à sensibilidade à água, o desempenho da mistura com 6% de PEBD é semelhante ao da mistura de referência, embora se tenham obtido maiores valores de força máxima à tração indireta na mistura com 6% de PEBD. Já na deformação permanente avaliada pelo ensaio de pista, a mistura com 6% de PEBD comporta-se claramente melhor, tendo-se obtido uma redução de 66% na rodeira quando comparada com a mistura de



referência. O mesmo se verificou no ensaio de determinação do módulo de rigidez, isto é, a mistura com 6% de PEBD apresenta uma maior rigidez, cerca de 12% acima da rigidez na mistura de referência. Na resistência à fadiga a mistura com 6% de PEBD apresenta um desempenho muito semelhante ao da mistura de referência (0% de PEBD), ficando aquém nos níveis de extensão mais altos que representam valores elevados da extensão de tração suscetível de ocorrer nos pavimentos em serviço e, por isso, são relativamente pouco frequentes.

Assim sendo, pode-se concluir que a incorporação de PEBD proveniente de resíduos sólidos urbanos em misturas betuminosas conduz a um bom desempenho, permitindo reduzir a percentagem de betume e, ao mesmo tempo, valorizar um resíduo que não exige um processo de reciclagem complexo. Além disso, quando aquele resíduo não é valorizado tem como destino mais plausível a incineração, já que a sua taxa de reciclagem é muito baixa.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Contec – Construção e Engenharia, S.A pela cedência dos materiais agregados e do betume, e à Ambiente – Recuperação de Materiais Plásticos, S.A. pela disponibilização de polietileno de baixa densidade reciclado.

## REFERÊNCIAS

- 1 Plastics – the Facts 2018, An analysis of European plastics production, demand and waste data, Plastics Europe, Association of Plastics Manufactures.
- 2 DIRECTIVA 94/62/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 20 de dezembro de 1994 relativa a embalagens e resíduos de embalagens.
- 3 DIRETIVA (UE) 2015/720 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 29 de abril de 2015 que altera a Diretiva 94/62/CE no que diz respeito à redução do consumo de sacos de plástico leves.
- 4 Proposta de DIRETIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO que altera a Diretiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens Parlamento Europeu, 2015.
- 5 Parlamento Europeu, Serviço de Imprensa, Sacos de plástico: Parlamento Europeu aprova novas regras sobre redução do consumo em toda a EU (28-04-2015).
- 6 Z. N. Kalantar, M. R. Karim e A. Mahrez, A review of using waste and virgin polymer in pavement, *Construction and Building Materials*, 33, 55-62, 2012 (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.009>).
- 7 E. Saroufim, C. Celauro e M. C. Mistretta, A simple interpretation of the effect of the polymer type on the properties of PMBs for road paving applications, *Construction and Building Materials*, 158, 114-123, 2018 (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.034>).
- 8 G. Sarang, B. M. Lekha, G. Krishna e A.U. Ravi Shankar, Comparison of Stone Matrix Asphalt mixtures with polymer-modified bitumen and shredded waste plastics, *Road Materials and Pavement Design*, 17 (4), 933-945, 2016 (<https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1124799>).
- 9 L. M. B. Costa, H. M. R. D. Silva, J. Peralta e J. R. M. Oliveira, Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment, *Construction and Building Materials*, Volume 198, 237-244, 2019 (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.279>).
- 10 M. Nouali, Z. Derriche, E. Ghorbel e L. Chuanqiang, Plastic bag waste modified bitumen a possible solution to the Algerian road pavements, *Road Materials and Pavement Design*, 2019 (<https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1560355>).
- 11 S.E. Zoorob e L.B. Suparna, Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), *Cement and Concrete Composites*, 22 (4), 233-242, 2000 ([https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00026-3)).



- 12 B. Mishra e M. K. Gupta, Use of plastic waste in bituminous mixes by wet and dry methods, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer, 0 0:0, 1-11, 2018 (<https://doi.org/10.1680/jmuen.18.00014>).
- 13 M. Fonseca. Estudo de misturas betuminosas, Relatório de Estágio Formal para Admissão à Ordem dos Engenheiros como Membro Efetivo – Região Centro, Colégio de Engenharia Civil, Coimbra, 2018.
- 14 J. W. Gooch, 2011, Encyclopedic Dictionary of Polymers, 2.<sup>a</sup> edição, 1.<sup>o</sup> volume. Springer, 2011.
- 15 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 30: Specimen preparation by impact compactor”. EN 12697-30, European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
- 16 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 34: Marshall test”. EN 12697-34, European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
- 17 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens”. EN 12697-6, European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
- 18 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens”. EN 12697-8, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.
- 19 EP. “Caderno de Encargos Tipo Obra - Pavimentação”. Estradas de Portugal, S.A. Portugal, 2009.
- 20 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimen”. EN 12697-12, European Committee for Standardization, Brussels, 2008.
- 21 CEN. “Bituminous mixtures - Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking”. EN 12697-22, European Committee for Standardization, Brussels, 2003+2007.
- 22 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 35: Laboratory mixing”. EN 12697-35, European Committee for Standardization, Brussels, 2004+2007.
- 23 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 33: Specimen prepared by roller compactor”. EN 12697-33, European Committee for Standardization, Brussels, 2003+2007.
- 24 IPQ. Misturas betuminosas – Especificações dos materiais – Parte 1: Betão betuminoso. NP EN 13108-1, Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 2011.
- 25 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 26: Stiffness”. EN 12697-26, European Committee for Standardization, Brussels, 2012.
- 26 CEN. “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 24: Resistance to fatigue”. EN 12697-24, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.