

IMPACTO DA MELHORIA DA AFINIDADE ENTRE AGREGADO E BETUME NA SENSIBILIDADE À ÁGUA DAS MISTURAS BETUMINOSAS

Daniela Domingues¹; Teresa Carvalho²; Henrique Miranda³

¹BRISA, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício BRISA, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal

email: rosa.domingues@brisa.pt <http://www.brisa.pt>

²CEPSA, Av. Columbano Bordalo Pinheiro, 101, 3º andar, 1070-067 Lisboa

³ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro, n.º 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

CITTA – Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente, Coimbra, Portugal

Sumário

A escassez de recursos minerais e a necessidade de incrementar o desempenho e durabilidade das misturas betuminosas, leva a que Donos de Obra sejam mais exigentes na seleção dos ligantes das misturas betuminosas. Tal resulta do facto de não ser possível alterar a natureza dos agregados disponíveis em cada zona geográfica. Assim, para melhorar as características de interação agregado/ligante requer atuar ao nível da composição do ligante. Contudo, a composição deve obedecer a uma criteriosa seleção de componentes ambientalmente sustentáveis, refletindo a crescente preocupação na utilização de materiais mais sustentáveis na pavimentação, como medida de combate às alterações climáticas e promoção de infraestruturas de transporte mais resilientes.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Misturas betuminosas; Ligantes betuminosos; Aditivos; Afinidade; Sensibilidade à água

1 INTRODUÇÃO

Em conformidade com o objetivo de neutralidade climática até 2050 da União Europeia (UE) no âmbito do pacto Ecológico, a Comissão Europeia apresentou um novo plano de ação para promoção da Economia Circular em março de 2020, com o intuito de tornar setores cruciais mais circulares na Europa [5, 11], alterando profundamente o paradigma relativamente aos materiais a serem estudados, nomeadamente, na pavimentação rodoviária.

Nesse âmbito, diferentes soluções têm sido avaliadas dada a crescente escassez de recursos minerais de alta qualidade, como sejam os agregados de escória de alto forno [2], incorporação de altas quantidades de misturas betuminosas fresadas [13], plásticos com alta temperatura de amolecimento [6, 9]. Os desafios que estes e outros novos materiais levantam, associados à necessidade de formular misturas betuminosas de alto desempenho e durabilidade [10], leva a que Donos de Obra sejam mais exigentes na altura de selecionar os ligantes constituintes das misturas betuminosas. A razão reside no facto de não se conseguir alterar a natureza dos agregados disponíveis em cada zona geográfica.

Por esse motivo, quando se pretende melhorar as características de interação agregado/ligante tal requer, necessariamente, atuar ao nível da composição do ligante. Contudo, a composição definida deve igualmente obedecer a uma criteriosa seleção de componentes ambientalmente sustentáveis, refletindo a crescente preocupação na utilização de materiais mais sustentáveis na pavimentação, como medida de combate às alterações climáticas e promoção de infraestruturas de transporte mais resilientes. Disso são exemplos alternativas como sejam os betumes modificados com borracha proveniente de pneus em fim de vida [12], biobetumes [8], óleo do motor de veículos [7].

Assim, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para o estudo do impacto da melhoria da afinidade entre agregado e betume, com recurso a um aditivo promotor de adesividade, relativamente ao comportamento da mistura betuminosa no que se refere à sensibilidade à água quando aplicada como camada de desgaste.

Tal reveste-se de particular importância para o incremento do desempenho e durabilidade dos pavimentos que as incorporam dado que a ação da água sobre as misturas betuminosas ocorre genericamente através de dois mecanismos de degradação da mistura betuminosa: perda de adesividade entre o ligante e o agregado; e perda de coesão e de resistência do ligante betuminoso, contribuindo assim para um incremento da sensibilidade à água [1, 4].

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Para desenvolvimento do programa experimental proposto no presente estudo, foram considerados os seguintes materiais:

- Agregados grossos e finos de natureza granodiorítica (10/14 mm, 4/10 mm e 0/4 mm, respetivamente) e granítica (8/14 mm, 4/10 mm e 0/4 mm) provenientes de diferentes origens e um fíler calcário comercial. A escolha de duas naturezas distintas de agregado teve como intuito avaliar a influência da natureza de diferentes tipos de agregados habitualmente utilizados em Portugal na avaliação da afinidade e da sensibilidade à água (zona norte de Portugal, granitos; e zona sul, granodioritos).
- Cinco tipos distintos de ligante betuminoso modificado com polímeros do tipo PMB 45/80-65, dos quais dois consistem em betumes correntemente utilizados em Portugal (betumes designados no presente estudo, Ref.1 e Ref.2) e outros três fornecidos pela CEPSA (designação comercial Elaster BM-3C) que consideram diferentes percentagens de aditivo promotor de adesividade (sem aditivização, aditivização convencionalmente utilizada pela CEPSA em Portugal, sobreaditivado relativamente a este último). O aditivo promotor de adesividade utilizado no presente estudo consiste num produto à base de polímeros orgânicos, obtidos através de um processo original de síntese sem recorrer a diluentes ou dissolventes. A seleção do aditivo teve em consideração as seguintes premissas: permitir a produção de um ligante estável ao armazenamento, com alto desempenho e ser ambientalmente sustentável.
- No que concerne à mistura betuminosa utilizada para avaliar a sensibilidade à água, considerou-se um betão betuminoso rugoso do tipo AC14 surf PMB 45/80-65 (BBr), habitualmente aplicado como camada de desgaste na rede de autoestradas da BRISA estando diretamente sujeito à ação da água. As misturas betuminosas avaliadas foram fabricadas com uma percentagem ótima de ligante betuminoso igual a 5,0 %, tendo-se apenas variado a natureza dos agregados grossos e finos (granodioritos e granitos).

No Quadro 1 são sintetizados os materiais estudados no presente estudo, sendo na Fig. 1 apresentadas as curvas granulométricas da mistura de agregados utilizadas para fabrico das misturas betuminosas, bem como os respetivos limites gerais do fuso granulométrico para uma mistura com agregados de dimensão nominal máxima de 14 mm (EN 13108-1).

Quadro 1. Materiais estudados

Identificação dos materiais	Tipo de aditivização	Afinidade entre agregados e ligante betuminoso e sensibilidade à água			
		Fornecedor do ligante	Tipo de ligante	Tipo de agregados	Tipo de mistura betuminosa
Ref.1	Convencional*	-	PMB 45/80-65	Granodioritos (agregados grossos e finos) e fíler comercial	AC14 surf PMB 45/80-65 (BBr)
Ref.2	Convencional*	-			
Sem aditivo	Sem aditivização	CEPSA			
Com aditivo	Promotor de adesividade	CEPSA			
Extra aditivo	Sobreaditivado	CEPSA			
Ref.1	Convencional*	-		Granitos (agregados grossos e finos) e fíler comercial	
Ref.2	Convencional*	-			
Sem aditivo	Sem aditivização	CEPSA			
Com aditivo	Promotor de adesividade	CEPSA			
Extra aditivo	Sobreaditivado	CEPSA			

* Sem informação sobre a incorporação/teor de aditivo promotor de adesividade

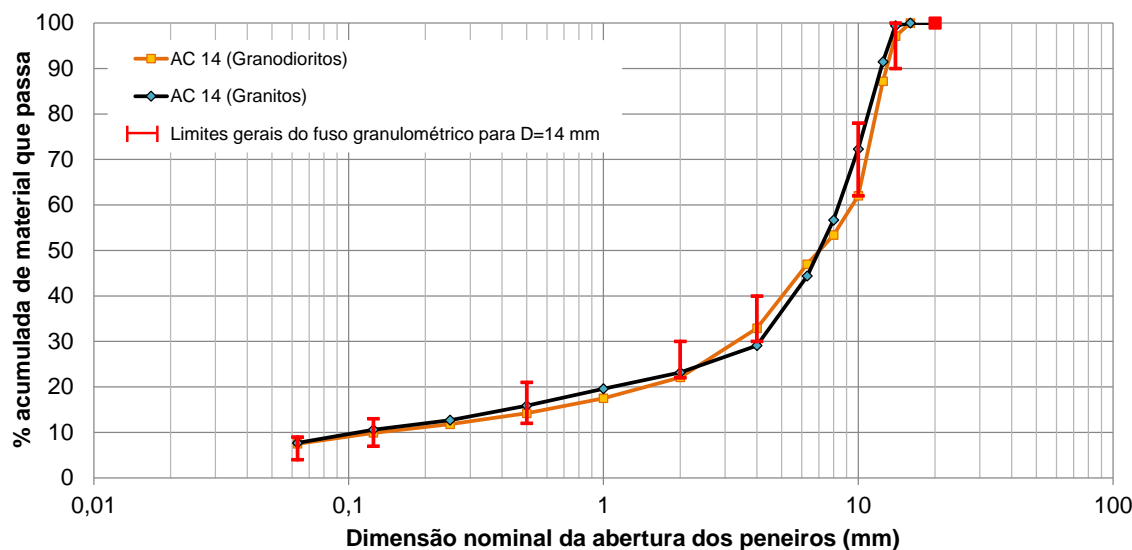


Fig. 1. Curva granulométrica da mistura de agregados da AC 14 (Granodioritos e Granitos)

A similaridade das curvas granulométricas definidas neste estudo (Fig. 1) tem como intuito mitigar o efeito da utilização de diferentes granulometrias no comportamento da mistura betuminosa na sensibilidade à água. De acordo com as curvas granulométricas e estudo de formulação *Marshall* foram definidas as seguintes fórmulas de trabalho para as misturas betuminosas (Quadro 2).

Quadro 2. Fórmulas de trabalho para as misturas betuminosas de referência

Identificação dos materiais	Identificação das misturas betuminosas	
	Granodioritos	Granitos
Fração 10/14 mm	39,0 %	-
Fração 8/14 mm	-	58,0
Fração 4/10 mm	24,7 %	11,4 %
Fração 0/4 mm	25,7 %	20,0 %
Fíler comercial	5,7 %	5,7 %
Ligante betuminoso	5,0 %	5,0 %

2.2 Metodologia

Para desenvolvimento do presente estudo definiu-se o seguinte programa experimental:

- Caracterização dos ligantes betuminosos através da avaliação da penetração com agulha a 25 °C (EN 1426), temperatura de amolecimento (EN 1427), recuperação elástica a 25 °C (EN 13398) e estabilidade ao armazenamento (EN 13399).
- Avaliação da afinidade entre os agregados e ligante betuminoso através da norma EN 12697-11 (método A), segundo o método das garrafas rotativas (método habitualmente utilizado em Portugal) e que permite avaliar visualmente a percentagem da superfície das partículas de agregado grosso revestida pelo ligante após rotação mecânica da mistura na presença de água.
- Avaliação da sensibilidade à água das misturas betuminosas através da norma EN 12697-12 (método A), com avaliação da resistência conservada a tração indireta segundo a norma EN 12697-23 para uma temperatura de 15 °C. Os provetes cilíndricos foram divididos em dois grupos, um grupo condicionado a uma temperatura de 20 °C e outro a vácuo e imerso em água a 40 °C, ambos durante um período de 72 horas. As misturas betuminosas foram compactadas com o compactador de impacto (50 pancadas por topo) segundo a norma EN 12697-30.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do comportamento do ligante betuminoso

No Quadro 3 e na Fig. 2 apresentam-se os resultados da caracterização dos ligantes betuminosos referentes à penetração, temperatura de amolecimento, recuperação elástica e estabilidade ao armazenamento.

Quadro 3. Caracterização dos ligantes betuminosos

Identificação dos materiais	Penetração (0,1 mm)	Temperatura de amolecimento (°C)	Recuperação elástica (%)	Estabilidade ao armazenamento	
				Varição da penetração (0,1 mm)	Varição da temperatura de amolecimento (°C)
Ref.1	53	68,0	88	0,1	1,0
Ref.2	52	69,6	87	1,0	0,6
Sem aditivo	46	68,4	84	2,1	0,4
Com aditivo	48	72,6	88	0,2	0,0
Extra aditivo	49	69,0	89	1,2	0,8

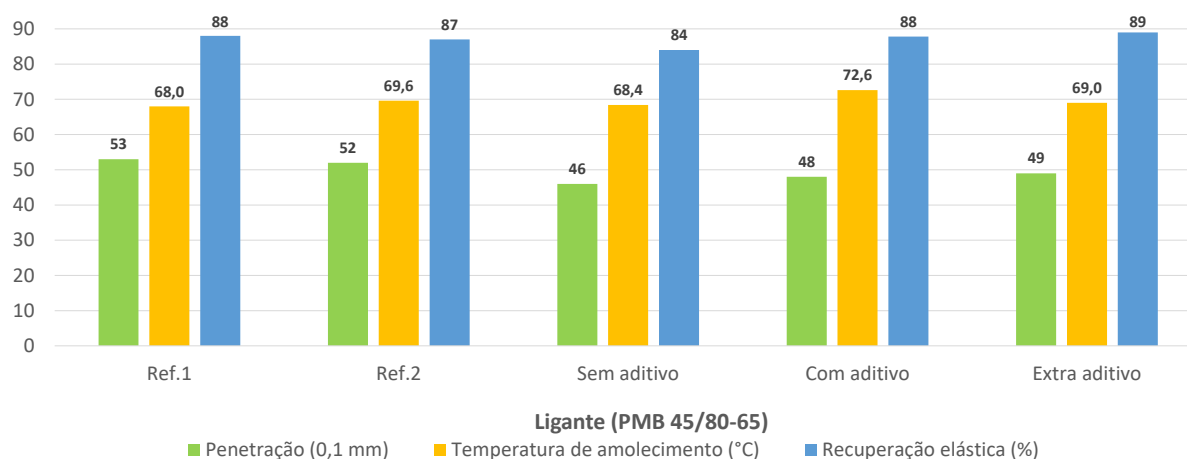


Fig. 2. Características dos ligantes betuminosos com e sem aditivo promotor de adesividade

De acordo com o Quadro 3 e Fig. 2 é possível observar:

- De uma forma genérica que a incorporação do aditivo para promoção da adesividade considerado no estudo não influencia de forma significativa o comportamento dos ligantes betuminosos para as diferentes propriedades avaliadas relativamente aos ligantes betuminosos denominados Ref.1 e Ref.2, nomeadamente a estabilidade ao armazenamento.
- Relativamente às variações observadas, referir que se constata uma ligeira redução na penetração dos ligantes betuminosos fornecidos pela CEPSA com e sem aditivo promotor de adesividade, sendo o valor da temperatura de amolecimento similar para os diversos ligantes à exceção da amostra “Com aditivo” que apresenta um valor ligeiramente superior, o qual pode contribuir para um melhor comportamento à deformação permanente quando incorporado numa mistura betuminosa.

3.2 Afinidade entre agregados e ligante betuminoso

No Quadro 4 apresentam-se os resultados da afinidade entre os agregados (granodioríticos e graníticos) e os ligantes betuminosos para 6 horas e 24 horas, os quais se representam graficamente na Fig. 3 apenas para 24 horas.

Quadro 4. Afinidade entre agregados e os ligantes betuminosos (6 e 24 horas)

Identificação dos materiais	Tipo de Betume	Tipo de agregados	Percentagem de agregados revestidos com ligante (%)	
			6 horas	24 horas
Ref.1	PMB 45/80-65	Granodioritos	100	75
Ref.2			70	35
Sem aditivo			100	55
Com aditivo			100	80
Extra aditivo			100	80
Ref.1		Granitos	80	45
Ref.2			95	35
Sem aditivo			100	70
Com aditivo			100	80
Extra aditivo			100	80

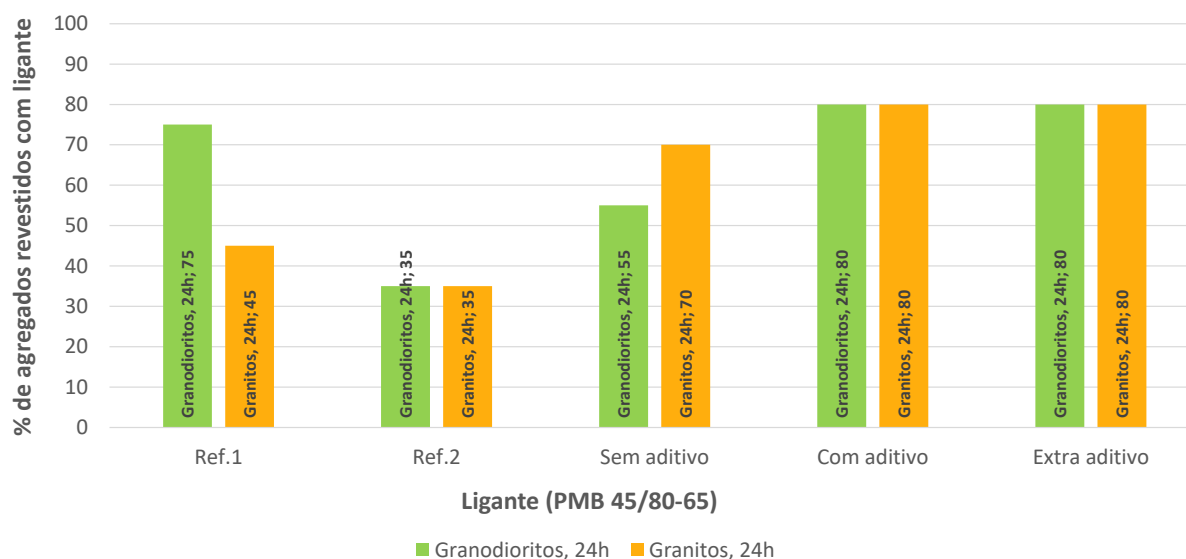


Fig. 3. Afinidade entre os agregados e o ligante betuminoso para 24 horas (granodioritos e granitos)

Segundo os resultados apresentados no Quadro 4 e na Fig. 3 verifica-se:

- Um incremento da afinidade para os diversos ligantes fornecidos pela CEPESA, relativamente aos ligantes denominados Ref.1 e Ref.2, em especial para os ligantes com aditivo “Com aditivo” e “Extra aditivo” para 6 e 24 horas de ensaio.
- Os ligantes com aditivo promotor de adesividade (“Com aditivo” e “Extra aditivo”) são relativamente insensíveis à natureza dos agregados no que concerne à afinidade comparativamente aos restantes ligantes.
- Não se constata uma tendência específica do comportamento à afinidade em função da natureza do agregado.
- Um comportamento similar ou inferior da afinidade para os agregados graníticos no caso dos ligantes Ref.1 e Ref.2.

3.3 Sensibilidade à água das misturas betuminosas

Na Fig. 4 à Fig. 6 são apresentados os resultados da avaliação da sensibilidade à água das misturas AC14 surf PMB 45/80-65 (BBr).

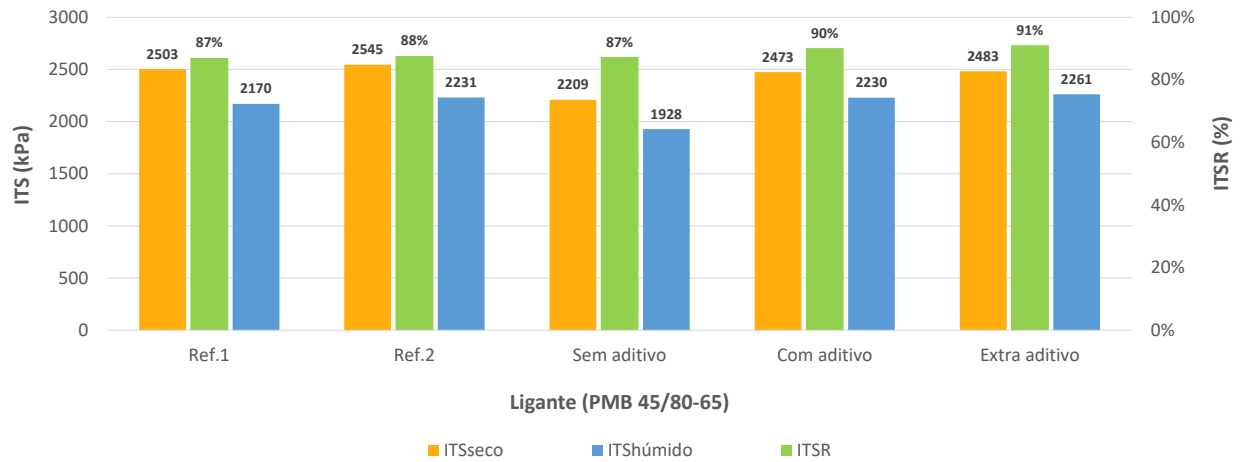


Fig. 4. Sensibilidade à água das misturas betuminosas para 72 horas (granodioritos)

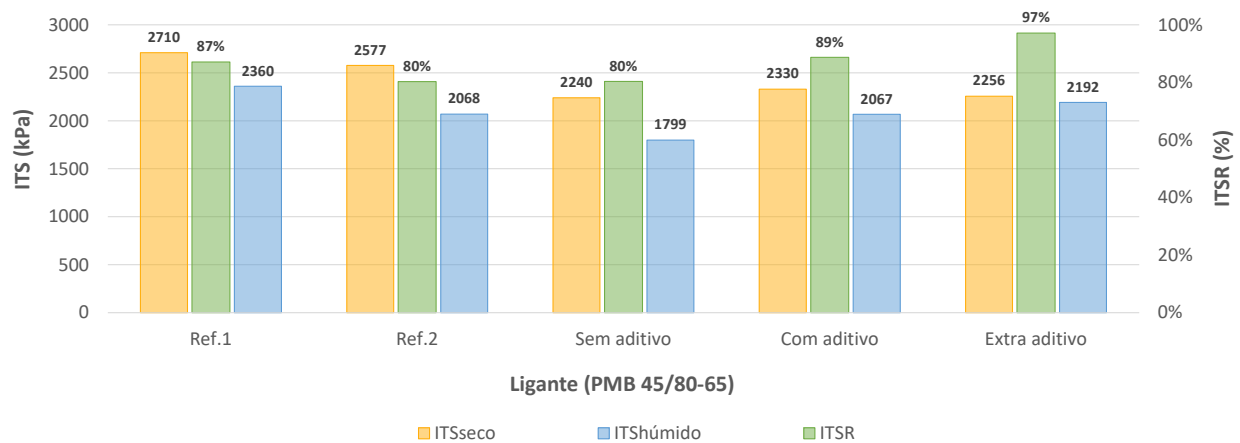


Fig. 5. Sensibilidade à água das misturas betuminosas para 72 horas (granitos)

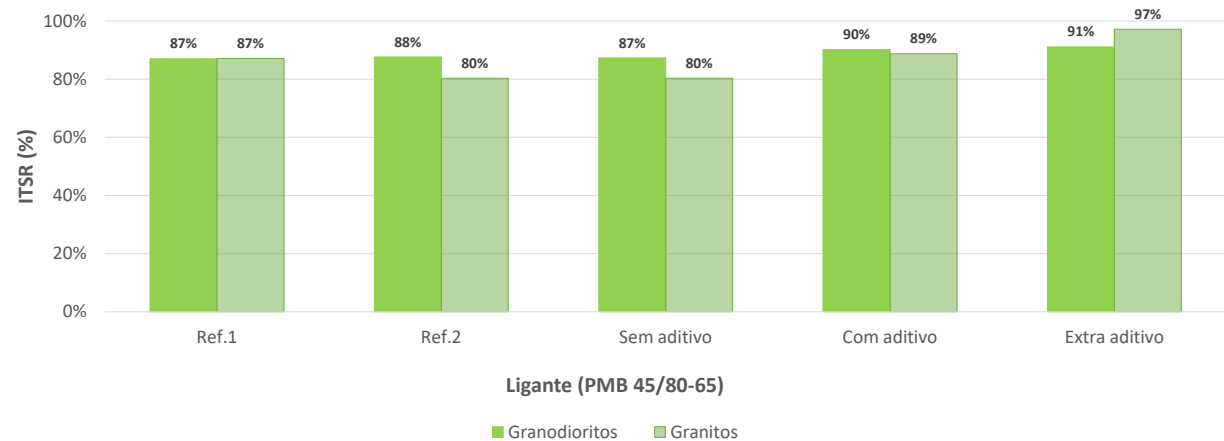


Fig. 6. Resistência conservada a tração indireta das misturas betuminosas para 72 horas (granodioritos e granitos)

Os resultados apresentados na Fig. 4 à Fig. 6 permitem constatar:

- A utilização de aditivo promotor de adesividade (“Com aditivo” e em especial o “Extra aditivo”) contribuiu para um incremento da resistência à ação da água, traduzida através do ITSR, relativamente aos ligantes Ref.1 e Ref.2 para ambas as naturezas de agregados utilizadas.
- A utilização de aditivo promotor de adesividade permite obter valores de resistência à tração indireta (ITS) similares para os granodioritos, sendo inferiores para os granitos relativamente aos ligantes Ref.1 e Ref.2.
- No caso do ligante sem aditivo apresenta valores de resistência à tração indireta (ITS) inferiores para ambas as naturezas de agregado relativamente aos restantes ligantes avaliados.
- Adicionalmente quando considerada a resistência conservada à tração indireta (ITSR), o ligante sem aditivo apresenta um comportamento similar aos ligantes Ref.1 e Ref.2 para os granodioritos e semelhante ao ligante Ref.2 e inferior ao ligante Ref.1 para os granitos.

Em complemento na Fig. 7 e na Fig. 8 é apresentada a relação entre a resistência conservada a tração indireta (ITSR) e a afinidade entre agregados grossos e o ligante betuminoso, assim como com a porosidade das misturas betuminosas, respetivamente.

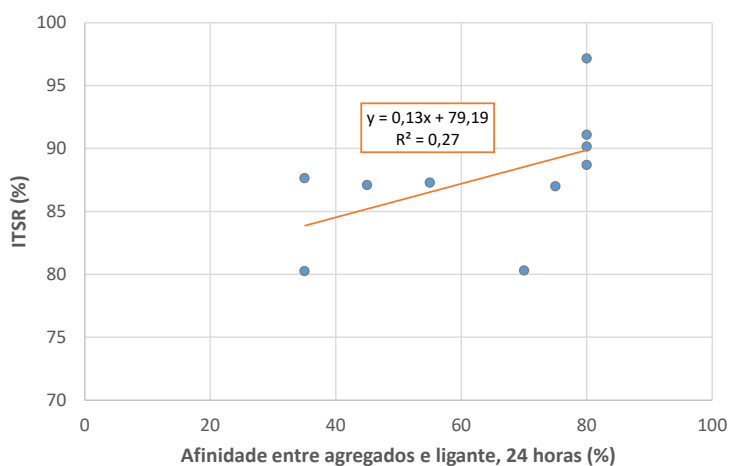


Fig. 7. Relação entre a resistência conservada a tração indireta e afinidade entre agregados grossos e o ligante betuminoso

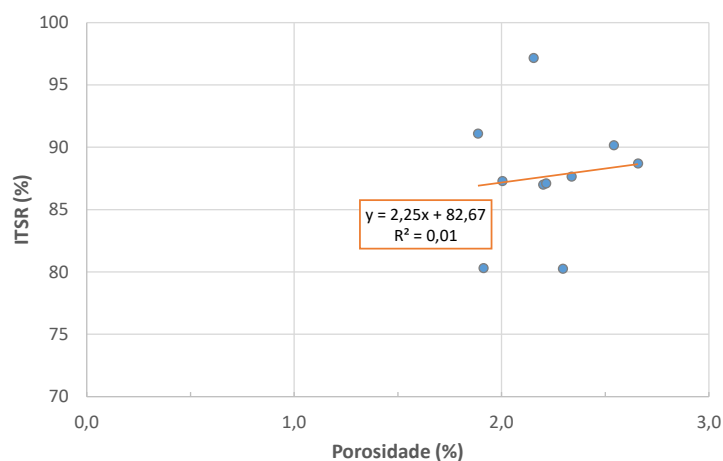


Fig. 8. Relação entre a resistência conservada a tração indireta e a porosidade das misturas betuminosas

Os resultados apresentados na Fig. 7 e na Fig. 8 permitem constatar:

- A resistência conservada à tração indireta (ITSR) não apresenta uma relação direta com a afinidade entre agregados grossos e o ligante betuminoso, assim como com a porosidade das misturas betuminosas. Tal resulta do valor de ITSR ser igualmente dependente de outros fatores, como seja o arranjo estrutural pétreo da mistura betuminosa e quantidade de ligante betuminoso utilizado. Todavia, é possível observar uma tendência para um aumento do valor de ITSR para um aumento da afinidade entre agregados grossos e o ligante betuminoso.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo aborda a avaliação da influência da utilização de um aditivo promotor de adesividade utilizado à base de polímeros orgânicos no comportamento dos ligantes betuminosos, afinidade entre agregados e ligante e sensibilidade à água.

Como contributo para a promoção da utilização de materiais mais sustentáveis na pavimentação rodoviária, os resultados obtidos neste estudo permitiram obter as seguintes conclusões principais:

- (i) A incorporação do aditivo estudado para promoção da adesividade não influencia de forma significativa o comportamento dos ligantes betuminosos para as diferentes propriedades avaliadas relativamente aos ligantes betuminosos designados de referência, nomeadamente a estabilidade ao armazenamento.
- (ii) Verifica-se nos ligantes betuminosos especificamente preparados para este estudo, com doseamento conhecido de aditivo, um incremento da afinidade entre agregado/betume para os dois tipos de agregados envolvidos no estudo, sendo mais visível no caso do granodiorito.
- (iii) No que se refere à sensibilidade à água, o seu desempenho é incrementado sempre que se utiliza aditivo promotor de adesividade, sendo mais visível o incremento para o agregado granítico.
- (iv) A resistência conservada à tração indireta (ITSR) não apresentou uma relação direta com a afinidade entre agregados grossos e o ligante betuminoso, assim como com a porosidade das misturas betuminosas.
- (v) Os ensaios correntemente utilizados a nível Europeu para caracterização dos ligantes poderão ser complementados com novos ensaios baseados no desempenho, por forma a aferir convenientemente a influência de novos aditivos e/ou ligantes desenvolvidos no âmbito da economia circular.
- (vi) As conclusões retiradas neste trabalho referem-se especificamente aos materiais utilizados, nomeadamente aos agregados utilizados e tipo de aditivo selecionado, sendo que seria de todo o interesse alargar o estudo a outros materiais.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à BRISA e CEPSA o apoio à realização dos ensaios e fornecimento de materiais, respetivamente.

6 REFERÊNCIAS

1. Airey, G. D., & Choi, Y. K. (2002). State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *International Journal of Road Materials and Pavement Design*, 3 (4) 355-372.
2. Andrade, R. M. A. (2015). Caracterização laboratorial de misturas betuminosas com incorporação de agregado siderúrgico inerte para construção (ASIC). Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa.

3. Batista, F. A., & Antunes, M. L. (2009). Ensaios de comparação interlaboratorial para avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas compactada. *Relatório LNEC 181/2009-NIRA/DT, Proc. 0702/01/17243*, Lisboa, junho de 2009, 28p.
4. Batista, F. A., Antunes, M. L., Teixeira, A., Ferreira, C., Guimarães, C., Gomes, V., & Gomes, L. (2011). Estudo da sensibilidade à água de misturas betuminosas. XVI Congresso Ibero-LatinoAmericano do Asfalto, Rio de Janeiro, Brasil, 20-25 de novembro de 2011.
5. Comissão Europeia (2020). Um novo plano de ação para a economia circular, para uma europa mais limpa e competitiva. Comissão Europeia, Bruxelas.
6. Costa, L. M. B., Peralta, J., Oliveira, J. R. M., & Silva, H. M. R. D. (2017). A new life for Cross-linked plastic waste as aggregates and binder modifier for asphalt mixtures. *Applied Sciences*, 7, 603, 16p.
7. Fernandes, S. R. M., Silva, H. M. R. D., & Oliveira, J. R. M. (2018). Developing enhanced modified bitumens with waste engine oil products combined with polymers. *Construction and Building Materials*, 160 (2018) 714-724.
8. Gaudenzi, E., Canestrari, F., Lu, X., & Cardone, F. (2021). Performance assessment of asphalt mixture produced with a bio-based bitumen. *Materials*, 14, 918, 13p.
9. Maria, J. R., Domingues, D., Miranda, H. M. B., & Antunes, V. (2022). Pavimentos sustentáveis com incorporação de plásticos reciclados. 10.º Congresso Rodoferroviário Português, Lisboa, Portugal, 5-7 de julho de 2022.
10. Miranda, H. M. B. (2016). Misturas betuminosas de alto desempenho do tipo Stone Mastic Asphalt – Formulação, Fabrico, Aplicação e Desempenho. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 425 p.
11. Parlamento Europeu (2022). Website: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20210128STO96607/como-alcancar-a-economia-circular-na-ue-ate-2050>
12. Picado-Santos, L. G., Capitão, S. D., & Neves, J. M. C. (2020). Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*. 247 (2020) 118577, 13p.
13. Zumanis, M., & Mallick, R. B. (2015). Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art. *International Journal of Pavement Engineering*. 16 (1), 33-55.