



2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

QIC2016

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

AVALIAÇÃO DA LIGAÇÃO ENTRE CAMADAS DE PAVIMENTOS COM O ENSAIO DE LEUTNER MODIFICADO

Ana Cristina Freire

Engenheira Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av.do Brasil, 101, 1750-066 Lisboa, acfreire@lnec.pt

Luís Quaresma

Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica; lmq@fct.unl.pt

Carla Gil

Aluna de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica; carlaandradegil@gmail.com

Resumo

A ligação entre camadas constitui um dos aspetos essenciais no desempenho dos pavimentos, contribuindo para a capacidade que estes têm de funcionar como um todo. A consideração do grau de ligação entre camadas tem influência na forma como o pavimento é modelado e no seu comportamento durante a vida útil.

Os ensaios laboratoriais mais utilizados para avaliar as condições de ligação entre camadas betuminosas são os métodos de corte direto, sendo o método mais comum o ensaio de Leutner modificado.

O valor mínimo para a força de corte entre camadas não está regulamentado a nível nacional, não existindo, em geral, nos Cadernos de Encargos referência a esta característica. Neste estudo apresentam-se os resultados obtidos com a realização do ensaio de Leutner modificado para diferentes tipos de grelhas e diferentes condições de aplicação, permitindo propor valores de referência para a tensão de corte entre camadas, como meio de controlo de qualidade da sua aplicação.

Palavras-chave: Pavimentos / Sistemas de antirreflexão de fendas / Ensaio de Leutner modificado

Introdução

A ligação entre as camadas de um pavimento constitui um dos aspetos essenciais no seu desempenho, contribuindo para a capacidade que estes têm de funcionar como um todo. A consideração do grau de ligação entre camadas tem influência na forma como o pavimento é modelado e no seu comportamento durante a vida útil.

Quando um pavimento se apresenta degradado à superfície, e tendo como objetivo uma gestão de recursos eficaz e sustentável tanto a nível ambiental como económico, deverá ser promovida a sua recuperação e consequente reabilitação. Habitualmente é realizada a remoção das camadas superiores, geralmente constituídas por misturas betuminosas, e posterior substituição por novas camadas. A descontinuidade gerada com esta reabilitação carece de especial cuidado, para que as fissuras existentes nas camadas antigas, do pavimento degradado, não se propaguem para as camadas novas, sobrejacentes.

Na reabilitação de pavimentos fendilhados, é usual e recomendável a aplicação de sistemas de antirreflexão de fendas na interface entre as camadas existentes e a camada nova. Estes sistemas de reforço têm como objetivo final o aumento da vida útil com a consequente redução dos custos de manutenção, e podem ser de vários materiais, nomeadamente, geotêxteis impregnados em ligantes betuminosos, geogrelhas (produzidas com material polimérico), grelhas de fibra de vidro ou de fibras de carbono, grelhas metálicas, entre outros.

Dentro das técnicas referidas refere-se a aplicação de grelhas de reforço na reabilitação de pavimentos, com o objetivo de limitar a propagação de fendas, sendo que, quer pela sua adequação aos mecanismos de rotura apresentados pelo pavimento, quer pela facilidade com que pode ser aplicada em obra, esta técnica constitui uma das respostas mais correntes às situações em que é necessária a reabilitação de pavimentos.

Contudo, apesar da eficácia apresentada por esta técnica de reforço, é necessário garantir o desempenho e a durabilidade do pavimento, devendo ser dada especial importância à ligação entre as camadas contíguas a esta solução.

Presentemente os ensaios laboratoriais mais utilizados para avaliar as condições de ligação entre camadas betuminosas são os métodos de corte direto, sendo o método mais comum o ensaio de *Leutner* modificado.

Atualmente, o valor mínimo para a força de corte entre camadas não está regulamentado a nível nacional, não existindo, de modo geral, nos Cadernos de Encargos referência a esta característica.

No presente estudo apresentam-se os resultados obtidos com a realização do ensaio de *Leutner* modificado para diferentes tipos de grelhas, de fibra de vidro e de fibra de carbono, e diferentes condições de aplicação, tendo como objetivo contribuir para a definição de valores de referência para a tensão de corte entre camadas, como meio de controlo de qualidade da sua aplicação

Apresentação dos casos de estudo

Foi desenvolvido um estudo para avaliação da ligação entre as camadas de dois pavimentos reabilitados, identificados como obra A e obra B, através da realização do ensaio de corte pelo método de *Leutner* modificado conforme preconizado no Appendix A.1 do *Manual of Contract Documents for Highway Works, SERIES 900 Road pavements – bituminous bound materials, 954 (08/08) Method for Laboratory Determination of Interface Properties Using the Modified Leutner Shear Test*. Anota-se que este método de ensaio consta também do prEN 12697-45 - *Bituminous mixtures – Test methods –Part 48: Interlayer bonding*. Para o estudo realizado foram ensaiadas amostras recolhidas em campo (GIL, C., 2015).

As obras selecionadas compreendiam a aplicação de dois tipos diferentes de grelhas pré-impregnadas com betume – uma grelha de fibra de vidro e uma grelha de fibra de carbono –. As grelhas selecionadas foram aplicadas nas obras A e B, respetivamente.

A aplicação das grelhas foi efetuada mecanicamente na obra A e manualmente na obra B. Foram também ensaiados provetes colhidos do pavimento, sem aplicação de grelha, constituindo as condições de referência.

Na Figura 1 ilustra-se a estrutura dos pavimentos objeto de estudo. No Quadro 1 apresentam-se as características da emulsão betuminosa aplicada nos pavimentos estudados.

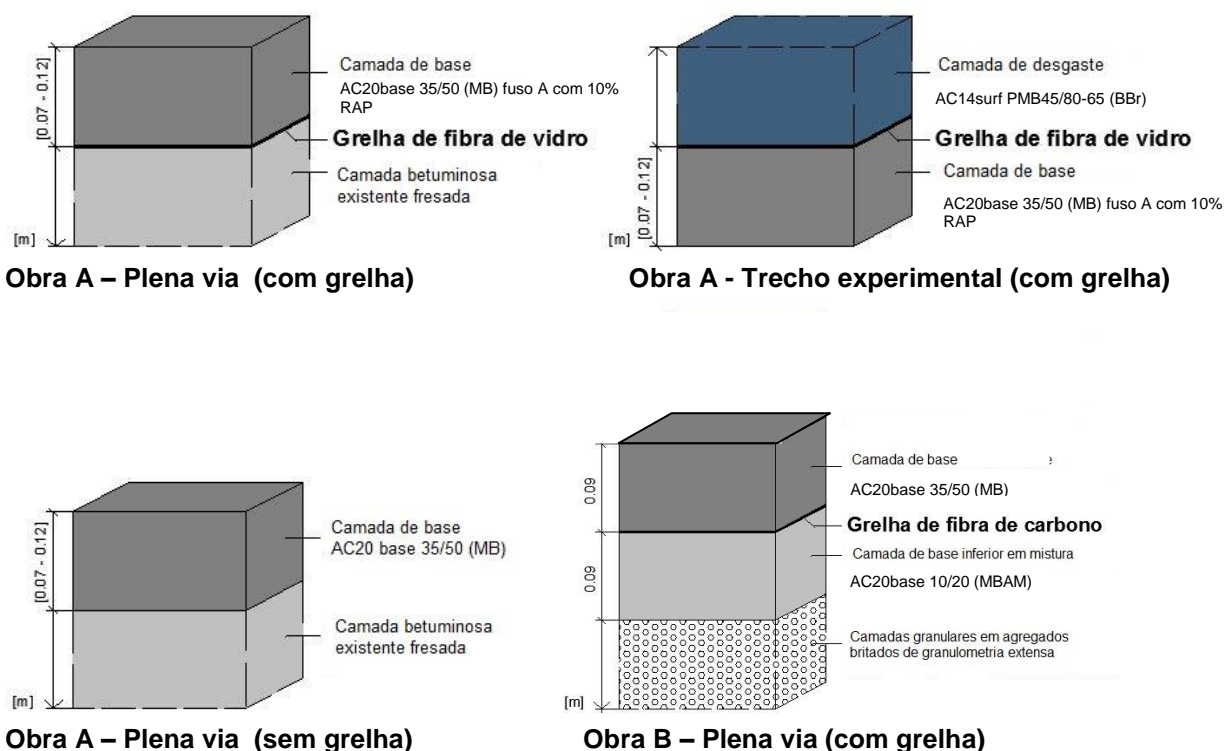


Figura 1: Estrutura dos pavimentos reabilitados (adaptado de GIL, C., 2015)

Quadro 1: Síntese das características da rega de colagem aplicada

Característica	Obra A			Obra B
	Plena via (com grelha)	Trecho experimental (com grelha)	Plena via (sem grelha)	Plena via (com grelha)
Rega de colagem	Emulsão betuminosa catiónica, de rotura rápida, termo-aderente, modificada com polímeros C60BP4			
Taxa de aplicação da rega de colagem (g/m ²)	450	350	500	400

Metodologia de avaliação da ligação entre camadas betuminosas pelo ensaio de Leutner modificado

O ensaio de *Leutner* modificado consiste na aplicação de um deslocamento constante ao longo de um plano coincidente com a interface definida entre duas camadas ligadas. O ensaio é efetuado em provetes cilíndricos, e requer o aparelho de Leutner, que consiste numa peça metálica capaz de prender o provete e de lhe aplicar uma força de corte. O aparelho de Leutner pode ser colocado numa prensa idêntica à utilizada no ensaio Marshall. Este ensaio tem um carácter destrutivo (MARCELINO, P. *et al.*, 2013).

No ensaio de Leutner não são aplicadas forças normais à superfície do provete, reduzindo a complexidade da sua aplicação podendo este ser utilizado como um ensaio de rotina. Contudo, esta simplificação na definição das cargas aplicadas, faz com que o ensaio acabe por não simular exatamente o tipo de solitação a que a interface entre camadas é sujeita no pavimento (SUTANTO, M., 2009).

O ensaio de Leutner modificado permite efetuar a avaliação da resistência ao corte de camadas ligadas, com ou sem a incorporação de elementos retardadores da propagação de fendas, conforme apresentado em diversos estudos (SUTANTO, M., 2009), (CHOI, Y. *et al.*, 2005), (PLUG, C., 2010).

O equipamento de ensaio usado para a sua realização é constituído por um dispositivo metálico que permite a aplicação de uma tensão de corte em provetes cilíndricos. Este dispositivo é constituído por um corpo metálico principal, bipartido, sendo que na parte inferior é fixado o sistema de suporte dos provetes, bem como metade do anel que aplica a tensão de corte. A metade superior do anel está ligada à metade superior do corpo principal, que apresenta um movimento vertical libertado (MARCELINO, P. *et al.*, 2013).

Este dispositivo metálico é colocado numa prensa com capacidade de aplicar um deslocamento vertical de $50,0 \pm 2$ mm/minuto e uma carga vertical máxima superior a 50 kN.

O controlo do equipamento bem como a aquisição dos resultados é efetuado em suporte informático, permitindo a visualização da força aplicada e do deslocamento, durante a realização do ensaio.

Na Figura 1 apresenta-se o aspeto do equipamento utilizado no ensaio de Leutner modificado, colocado na máquina de ensaio bem como de um provete em ensaio.



Figura 2: Aspeto do equipamento utilizado no ensaio de *Leutner* modificado e de provete em ensaio

O ensaio é realizado sobre tarolos com cerca de 150 mm de diâmetro, a uma temperatura de $20,0 \pm 0,5$ °C, após condicionamento dos tarolos àquela temperatura durante 5 horas.

Os provetes de ensaio provenientes do campo foram colhidos do pavimento por sondagem à rotação.

Os tarolos ensaiados foram, após a realização do ensaio de *Leutner* modificado, objeto de inspeção visual, nomeadamente no que respeita ao aspeto da interface e à identificação da presença de emulsão betuminosa e de grelha, quando aplicável.

Na Figura 3 apresenta-se o aspeto de um provete após ensaio bem como da interface existente entre as duas camadas onde se pode observar a existência de grelha bem como da emulsão betuminosa aplicada.



Figura 3: Aspeto do provete após ensaio e da interface entre camadas

Apresentação e análise de resultados

Apresentam-se no Quadro 2 os resultados obtidos, com a realização do ensaio de *Leutner* modificado, para as amostras ensaiadas colhidas na Obra A, bem como alguns dados estatísticos relativos ao conjunto de provetes ensaiados.

Quadro 2: Resultados do ensaio de *Leutner* modificado – Obra A

Identificação		$F_{m\acute{a}x}$	$\tau_{m\acute{a}x}$	$\delta_{m\acute{a}x}$	k
Obra A		(kN)	(MPa)	(mm)	(MPa/mm)
Plena via (sem grelha)	Tarolo				
	BC1	41,2	2,10	3,3	0,64
	BC2	39,0	1,99	3,7	0,54
	BC3	33,2	1,69	3,2	0,53
	BC4	36,1	1,84	3,4	0,54
	BC5	44,6	2,27	3,8	0,60
	Valor médio	38,8	2,0	3,5	0,6
Desvio-padrão	4,42	0,23	0,26	0,05	
COV (%)	11,39	11,39	7,44	8,26	
Plena via (com grelha)	B1	35,9	1,83	3,6	0,51
	B2	30,4	1,55	3,4	0,46
	B3	29,2	1,49	2,6	0,57
	B4	34,5	1,76	2,8	0,63
	B5	35,3	1,80	3,3	0,55
	Valor médio	33,1	1,7	3,1	0,5
	Desvio-padrão	3,05	0,16	0,42	0,07
COV (%)	9,22	9,22	13,44	12,00	
Trecho experimental (com grelha)	C1	37,9	1,93	2,1	0,92
	C2	43,6	2,22	3,8	0,59
	C3	52,3	2,67	3,9	0,68
	C4	43,6	2,22	3,3	0,67
	Valor médio	44,4	2,3	3,3	0,7
Desvio-padrão	5,94	0,30	0,83	0,14	
COV (%)	13,40	13,40	25,23	20,04	

LEGENDA:

$F_{m\acute{a}x}$ - força de corte máxima, na interface entre camadas (kN); $\tau_{m\acute{a}x}$ - máxima tensão de corte, na interface entre camadas (MPa); $\delta_{m\acute{a}x}$ - deslocamento na interface entre camadas aquando da rotura por corte (mm); k - módulo de rigidez em ensaio de corte (MPa/mm); COV – Coeficiente de Variação.

Apresentam-se no Quadro 3 os resultados referentes aos ensaios das amostras da Obra B, e alguns dados estatísticos relativos ao conjunto de provetes ensaiados.

Quadro 3: Resultados do ensaio de *Leutner* modificado – Obra B

Identificação		$F_{m\acute{a}x}$	$\tau_{m\acute{a}x}$	$\delta_{m\acute{a}x}$	k
Obra B	Tarolo	(kN)	(MPa)	(mm)	(MPa/mm)
	ALS1	28,8	1,47	2,6	0,56
	ALS2	11,6	0,59	1,3	0,46
	ALS3	21,6	1,10	1,9	0,58
	ALS4	27,6	1,41	1,9	0,74
Plena via (com grelha)	ALS6	25,4	1,30	2,3	0,56
	ALS7	21,8	1,11	2,2	0,51
	ALS8	14,8	0,76	2	0,38
	Valor médio	21,7	1,1	2,0	0,5
	Desvio-padrão	6,44	0,33	0,41	0,11
	COV (%)	29,7	30,0	20,5	22,0

LEGENDA:

$F_{m\acute{a}x}$ - força de corte máxima, na interface entre camadas (kN); $\tau_{m\acute{a}x}$ - máxima tensão de corte, na interface entre camadas (MPa); $\delta_{m\acute{a}x}$ - deslocamento na interface entre camadas aquando da rotura por corte (mm); k - módulo de rigidez em ensaio de corte (MPa/mm); COV – Coeficiente de Variação.

A análise comparativa dos resultados obtidos para os provetes ensaiados com e sem a introdução da grelha de reforço, para o mesmo tipo de pavimento (Obra A – plena via), permite constatar que houve uma redução da resistência ao corte entre a camada betuminosa sobrejacente e a camada subjacente à grelha aplicada (expressa pela força de corte máxima na interface entre camadas), avaliada pelo ensaio de *Leutner* modificado, aquando da introdução da grelha. Para o caso da Obra A – trecho experimental verificou-se um aumento dos valores obtidos no ensaio de *Leutner* modificado. Nota-se que estes tarolos foram colhidos num trecho experimental construído especialmente para este estudo, sob condições controladas.

Os resultados obtidos no estudo desenvolvido são coerentes com os estudos conduzidos por Partl & Raab (RAAB C., PARTL, M., 2004). Neste estudo (RAAB C., PARTL, M., 2004), um dos aspetos estudados foi o efeito da introdução de grelhas de reforço de diferentes materiais, sendo a fibra de vidro um dos materiais considerados nas propriedades de ligação da interface em pavimentos antigos de betão, reforçados com asfalto e uma camada intermédia em material betuminoso. Verificou-se que nos casos em que houve recurso a reforço com grelhas ocorreu uma redução da resistência da interface a forças de corte, quando comparado com os casos em que não houve introdução de qualquer grelha.

Os resultados obtidos para os provetes da Obra B são inferiores aos da obra A, considerando-se que terão resultado de nesta obra (Obra B) a grelha de carbono ter sido aplicada manualmente.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de *Leutner* modificado, para as duas obras em apreço, agrupados por intervalos de frequência da força de corte, permitindo assim analisar comparativamente os resultados obtidos e identificar quais os intervalos a considerar.

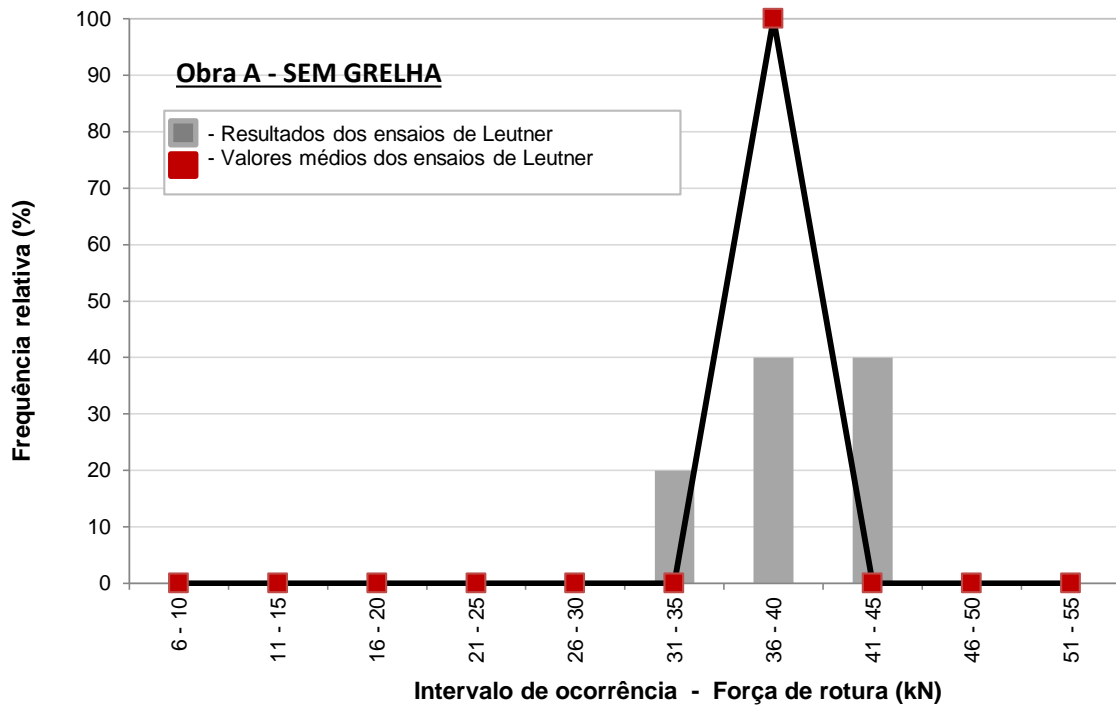


Figura 4: Frequência da força de rotura- Obra A - sem grelha

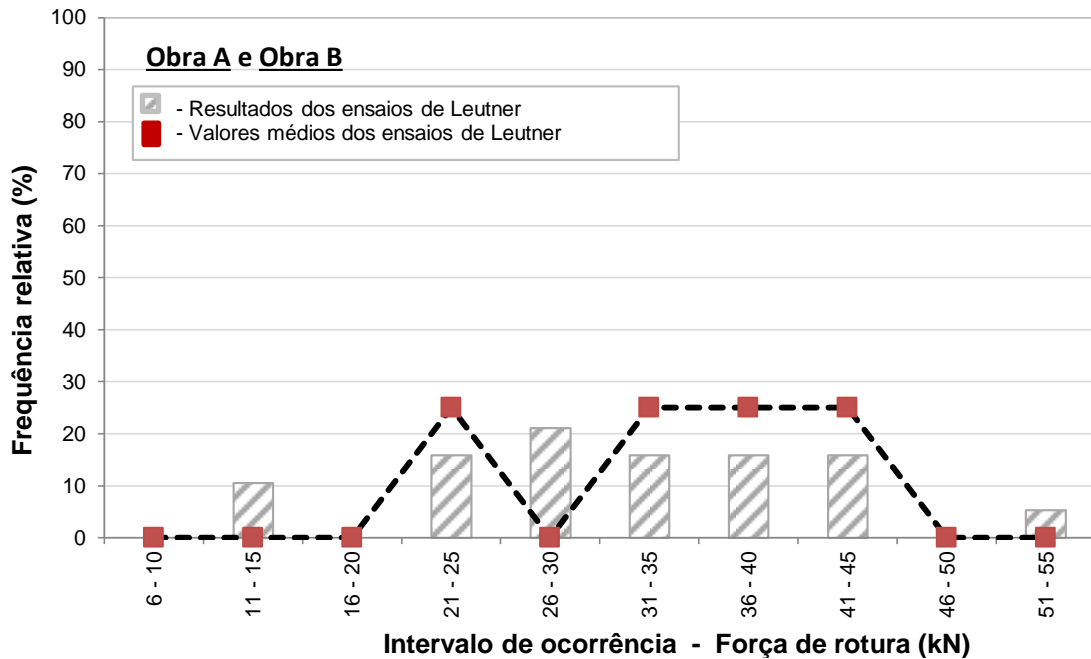


Figura 5: Frequência da força de rotura- Obras A e B

Da análise da Figura 4, relativa aos provetes da Obra A – sem grelha - observa-se que a força de rotura varia entre 31 kN e 45 kN, apresentando um valor médio no intervalo entre 36 kN e 40 kN.

No que respeita à análise apresentada na Figura 5, com inclusão de todos os resultados obtidos nos ensaios de *Leutner* modificado realizados sobre as amostras obtidas Obras A e B, com e sem aplicação de grelha, observa-se que 90% dos resultados são superiores a 21 kN.

Atualmente não existem valores mínimos de referência, aplicáveis ao nosso país, para a tensão de corte na ligação entre camadas de um pavimento. Considera-se que um controle deste parâmetro, em obra e ao longo do ciclo de vida da infraestrutura, permitiria prever a ocorrência de degradações inesperadas e precoces do pavimento, que afetaram a estruturas multicamada de diversos modos.

Apresenta-se no Quadro 4 uma síntese dos valores recomendados por SUTANTO (2009) e pelas normas Suíça (SN 640 430:2013) e Alemã (ZTV Asphalt –StB 07:2007), expressos em termos da força de corte e da tensão de corte.

Quadro 4:- Síntese dos valores recomendados pela bibliografia para força e, tensão de corte mínimas

Característica	Norma Suíça SN 640 430	Norma Alemã ZTV Asphalt – StB 07	SUTANTO, M. (2009)
Força de corte mínima na ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização (kN)	15	15	18
Força de corte mínima na ligação entre restantes camadas de base (kN)	12	12	9
Tensão de corte mínima na ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização (kN)	0,9	0,9	10
Tensão de corte mínima na ligação entre restantes camadas de base (kN)	0,7	0,7	0,5

Analisando as recomendações apresentadas no Quadro 4, pode observar-se que SUTANTO (2009) é mais exigente em termos da ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização quando comparado com os valores propostos nas normas Suíça (SN 640 430) e Alemã (ZTV Asphalt – StB 07), mas menos exigente no que concerne à ligação das restantes camadas de base. Refere-se que os valores propostos por SUTANTO (2009) são o resultado de um estudo realizado no Reino Unido refletindo a realidade daquele país. Contudo os valores apresentados são concordantes com os valores propostos para a Alemanha e para a Suíça (RAAB, C., PARTL, M., 1999), (STÖCKERT, U., 2001).

Para o presente estudo, dado que os valores da força de corte obtida em ensaio de corte pelo método de Leutner modificado são superiores ou iguais a 12 kN, considera-se que estes cumprem o proposto no Quadro 4.

Considerações finais

Os resultados apresentados referem-se a um estudo cujo objetivo era efetuar uma análise comparativa do comportamento da superfície de ligação entre camadas ligadas de pavimentos, com ou sem a introdução de um elemento limitador da propagação de fendas, neste caso grelhas de fibra de vidro ou de carbono, através do ensaio de *Leutner* modificado, com a quantificação da força e da tensão de corte.

Refira-se que se considera que seria do maior interesse aumentar a dimensão da amostra estudada, de modo a minimizar o valor do desvio padrão obtido, bem como o ensaio de outros tipos de grelha

de reforço, com diferentes características e com diferentes tipos e dosagens da emulsão betuminosa aplicada.

Da análise dos resultados obtidos é possível observar uma redução do valor da força de corte da interface de ligação entre as camadas ligadas, aquando da introdução da grelha. Considera-se no entanto que esta situação resulta da introdução de um elemento cujas características de deformabilidade são distintas dos materiais constituintes das camadas dos pavimentos, e cuja função é a de limitar a propagação das fendas existentes na camada subjacente à camada superior.

Considera-se ainda que poderão ser vários os parâmetros que influenciam o comportamento da interface entre as camadas, nomeadamente as características das misturas betuminosas adjacentes, da emulsão betuminosa aplicada, da grelha, bem como as suas condições de aplicação.

Com o desenvolvimento e apresentação deste estudo paramétrico pretendeu-se contribuir para o estabelecimento de parâmetros de referência que possam vir a ser aplicáveis à maioria das soluções de reforço estrutural de pavimentos e/ou de limitação de propagação de fendas que têm vindo a ser desenvolvidas no nosso país, através da realização de um ensaio laboratorial de fácil execução e que permite avaliar o desempenho da ligação entre camadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), e às empresas BRISA, Auto-Estradas de Portugal, ANA- Aeroportos de Portugal e S&P *Clever Reinforcement Iberica* pelo apoio no desenvolvimento deste estudo com a disponibilização dos equipamentos de ensaio bem como dos materiais e respetivas aplicações em campo.

Referências bibliográficas

CHOI, Y. *et al.* 2005 - **Bond between asphalt layers**, Project Report to the UK Highways Agency, Nottingham.

GIL, C., 2015 – **Estudo da ligação entre camadas betuminosas de pavimentos flexíveis**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

MARCELINO, P. *et al.*, 2013 – **Avaliação da interface entre camadas ligadas com aplicação de grelhas de reforço de pavimentos pelo método de Leutner**. 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, LNEC, 10 a 12 de abril de 2013.

PLUG, C., De BONDT, A., 2010 - **Adhesion of reinforcement grids in asphalt overlays**, 5th World Congress on Emulsions, Lyon.

RILEM, 2013 - **Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials, State-of-the-Art**. Report of the RILEM Technical committee 206-ATB, Part I, M. *et al* Editors, Springer.

RAAB, C., PARTL, M., 1999 - **Shear adhesion between top layers of fresh asphalt pavements in Switzerland**, 7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, Victoria Falls.

RAAB, C., PARTL, M., 2004 - **Interlayer shear performance: experience with different pavement structures**, 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna.

STÖCKERT, U., 2001 – **Prüfung und bewertungshintergrund, stäÙe und autobahn**, 2001.

SUTANTO, M., 2009 - **Assessment of bond between asphalt layers**, University of Nottingham, Nottingham.