

MODIFICAÇÃO DE BETUMES COM ADITIVOS LÍQUIDOS PARA APLICAÇÃO EM PAÍSES TROPICAIS

Daniela Palha¹, Paulo Fonseca², Hugo M.R.D. Silva³ e Paulo Pereira⁴

¹ Elevo Group, Rua Monte dos Burgos nº 470/492 1º, 4250-311 Porto, Portugal

email: daniela.palha@elevogroup.com

² Elevo Group, Rua Monte dos Burgos nº 470/492 1º, 4250-311 Porto, Portugal

³ Universidade do Minho, CTAC, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

⁴ Universidade do Minho, CTAC, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

Sumário

A modificação de betumes é uma das soluções mais utilizadas na pavimentação, sobretudo em países com climas quentes, pois permite minimizar problemas tais como o fendilhamento, o envelhecimento do betume, e em especial as deformações permanentes. Este trabalho visa estudar uma solução para modificação do betume de modo a contornar os problemas acima indicados do betume puro existente nesses países. Para isso foram utilizados dois aditivos líquidos, SBR líquido e ácido polifosfórico (PPA), e foram estudadas diferentes percentagens de adição dos mesmos em betumes puros, de modo a selecionar o aditivo com mais potencial e a percentagem em que devia ser incorporado.

Palavras-chave: Países tropicais; Aditivos líquidos; Ácido polifosfórico (PPA); Modificação de betumes; Caracterização de betumes

1 INTRODUÇÃO

A procura de uma melhor qualidade de vida, aliada a uma quebra nos recursos financeiros do nosso país, levou a que a área da construção em Portugal fosse obrigada a expandir o seu negócio, sobretudo para mercados internacionais. As empresas da área da construção, incluindo as empresas do setor rodoviário, começaram por isso a exercer as suas atividades em países sobretudo menos desenvolvidos, cuja localização coincide muitas vezes com regiões de clima tropical.

Ao contrário do que se verifica em Portugal, as condições climáticas nos países tropicais (temperaturas altas e clima húmido) bem como os diferentes materiais de construção e solos de fundação disponíveis, levam a que seja necessário estudar soluções de pavimentação inovadoras, mais adaptadas aos volumes de tráfego verificados nas principais obras realizadas nesses países.

A modificação de betumes, de forma a melhorar as suas propriedades, tem vindo a ser objeto de um constante e crescente interesse. Embora o betume esteja presente numa quantidade muito reduzida numa mistura betuminosa, em relação aos agregados, são as propriedades deste que mais afetam diretamente o comportamento da mistura final. Por isso, utilizam-se aditivos ou modificadores que melhoram as suas propriedades [1, 2].

As misturas betuminosas com betume modificado surgem da necessidade de minimizar os principais problemas das misturas betuminosas (deformação permanente, fendilhamento, suscetibilidade térmica e envelhecimento do betume) e ainda de melhorar a drenabilidade superficial, bem como a redução de ruído proveniente da superfície de rolamento [3, 4].

Os aditivos mais utilizados na modificação de betumes são os polímeros. Algumas das principais razões que levam à utilização de polímeros na modificação das misturas são sobretudo: obtenção de pavimentos mais flexíveis a temperaturas mais baixas e mais rígidos a temperaturas elevadas, aumento da estabilidade e rigidez das misturas, melhoria da resistência à abrasão e à fadiga das misturas, redução das espessuras das camadas e

dos custos ao longo da vida dos pavimentos e melhoria da resistência do betume à oxidação e ao envelhecimento [5]. De facto, alguns autores [4, 6, 7] defendem que a sua introdução nas misturas betuminosas diminui a suscetibilidade térmica e a deformação permanente, aumenta a resistência ao fendilhamento e a gama de temperaturas de serviço, para além do aumento da durabilidade do betume.

Segundo G.D. Airey [8] os polímeros incham devido à absorção de alguns componentes do betume base (principalmente em algumas frações leves encontradas nos maltenos). Por este motivo a eficácia dos aditivos modificadores é mais perceptível em betumes com maior grau de penetração.

Algumas das soluções de modificação nos países tropicais podem passar pela utilização de aditivos líquidos, com maior facilidade de manuseamento para que possam ser adicionados em linha em centrais de fabrico de misturas betuminosas com características diversificadas, uma vez que não se sabe ao certo o tipo de centrais que vai ser possível utilizar nestes países. No presente trabalho serão utilizados dois aditivos líquidos, nomeadamente o SBR líquido e o ácido polifosfórico (PPA).

Quando o PPA é usado em betumes modificados com polímeros, além de conduzir a uma melhoria de desempenho do betume não modificado, potencia o efeito do polímero usado na modificação do betume. Este efeito, por sua vez, permite uma redução no teor de polímero a utilizar, conduzindo a vantagens adicionais como: melhor estabilidade ao armazenamento, melhores condições de manuseamento a altas temperaturas e diminuição dos custos de produção [9].

O presente trabalho tem como principal objetivo a modificação de um betume puro representativo do material habitualmente existente nos países tropicais, de modo a melhorar as suas propriedades para o uso pretendido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo são definidos os materiais e métodos experimentais usados ao longo do trabalho aqui apresentado, bem como os procedimentos para a produção dos ligantes betuminosos.

No que concerne aos materiais (subcapítulo 2.1), estes são enumerados e justificados quanto à sua utilização para a modificação do betume. No Subcapítulo 2.2 refere-se todo o processo de preparação dos diferentes ligantes modificados, nomeadamente as percentagens de cada modificador, nomenclatura dos ligantes, misturador utilizado, temperatura e tempo de digestão. Para além disso, este subcapítulo também contempla a descrição de todos os ensaios de caracterização realizados ao betume convencional e betumes modificados.

2.1 Materiais utilizados

O estudo apresentado baseia-se essencialmente na modificação de betumes. Como tal, os materiais selecionados foram um betume base com elevada penetração (cerca de 100 dmm), um betume convencional (50/70) e dois tipos de modificadores. Os modificadores selecionados foram o ácido polifosfórico (PPA) e um copolímero líquido de borracha de estireno butadieno (SBR) com propriedades elastómeras.

A escolha destes aditivos recaiu sobretudo no facto de serem aditivos líquidos e, portanto, com maior facilidade de manuseamento para que possam ser adicionados em linha em centrais de fabrico de misturas betuminosas com características diversificadas, pela incerteza na definição do tipo de centrais a utilizar nestes países.

No que diz respeito aos betumes, os dois betumes referidos foram utilizados em fases distintas deste estudo. Numa primeira fase utilizou-se o betume com penetração mais elevada (cerca de 100 dmm), pois tratando-se de um betume mais mole, é possível perceber melhor a eficácia dos aditivos usados. Na segunda fase, e já após a seleção do aditivo que conferiu as propriedades pretendidas ao betume final, utilizou-se o betume convencional 50/70, por se tratar de um betume mais corrente na pavimentação rodoviária a nível mundial e que é representativo dos betumes mais vezes encontrados nos países tropicais.

2.2 Métodos de ensaio

Para facilitar a apresentação dos resultados obtidos ao longo deste trabalho, a Tabela 1 apresenta a nomenclatura atribuída aos ligantes realizados, com as respetivas percentagens de cada modificador.

Quadro 1. Tipo e percentagem de modificador e respetiva nomenclatura

Betume	Tipo de agente modificador	Quantidade de modificador	Nomenclatura
Betume base com elevada penetração (100 dmm)	SBR	0,0 %	B100
		0,5 %	B100_0.5SBR
		1,0 %	B100_1SBR
		3,0 %	B100_3SBR
		5,0 %	B100_5SBR
	PPA	1,0 %	B100_1PPA
		2,0 %	B100_2PPA
		PPA + SBR	1,0 % + 3,0 %
Betume convencional (50/70)	PPA	0,0 %	B50
		1,0 %	B50_1PPA
		1,5 %	B50_1.5PPA
		2,0 %	B50_2PPA
		3,0 %	B50_3PPA

A forma de preparação dos diversos betumes modificados foi a seguinte: os betumes puros foram previamente aquecidos a 150 °C e quando estes se encontravam a uma temperatura estabilizada foi-lhes adicionado o respetivo aditivo (na percentagem correspondente) utilizando um agitador de baixa velocidade de agitação (cerca de 250 rpm), durante um período de 10 minutos. O reduzido tempo de interação e o baixo nível de agitação aplicado pretende simular as condições reais que se prevê existirem ao transpor este estudo para uma central betuminosa, na qual o aditivo deverá ser misturado em linha no fluxo de betume.

A caracterização dos betumes puros e dos betumes modificados produzidos é realizada através de um conjunto de ensaios que avaliam o seu comportamento a várias temperaturas. Os ensaios de caracterização realizados são descritos em seguida.

O ensaio de penetração, de acordo com a norma EN 1426, consiste na penetração de uma agulha de 100 g numa amostra de betume, durante 5 segundos, a uma temperatura de 25 °C. O valor de penetração é dado pela distância que a agulha penetrou no betume, em décimos de milímetro. Este ensaio permite determinar a consistência do betume, bem como obter a sua classificação mais usual para temperaturas de serviço, nomeadamente a 25 °C.

O ensaio de resiliência (penetração e recuperação), segundo a norma EN 13880-3, consiste na aplicação de uma deformação de 10 mm numa amostra de betume a uma temperatura de 25 °C, através de uma esfera de metal com 17 mm de diâmetro, a uma taxa de 1 mm/s. Depois de essa deformação ser imposta, é medida a recuperação elástica da amostra, após um intervalo de 20 segundos sem carga, através da redução percentual da penetração. Este ensaio permite obter a recuperação elástica que o betume modificado possui após a aplicação de uma carga à temperatura de serviço. Os betumes com maiores recuperações elásticas apresentam, por consequência, menores deformações permanentes ao fim de cada ciclo de carga.

O ensaio de determinação da temperatura de amolecimento indica a temperatura à qual o betume sofre uma mudança de fase que reduz rapidamente a sua resistência à deformação, ou seja, quando o betume começa a tornar-se líquido. Assim, este ensaio dá a indicação da melhoria à suscetibilidade térmica do betume, permitindo avaliar essa melhoria nos vários betumes modificados em estudo neste trabalho. Segundo a norma EN 1427, o ensaio de determinação da temperatura de amolecimento, realizado através do método do anel e bola, consiste na colocação de uma amostra de betume em dois anéis, que após arrefecerem são colocados num recipiente com um líquido, água ou glicerina (o último para temperaturas de anel e bola superiores a 80 °C). Em seguida, uma bola

de aço com aproximadamente 3,5 g de peso é colocada em cima de cada amostra e o líquido é aquecido a uma taxa de 5 °C/min até o betume se tornar mais fluido e a bola atingir a base do prato. A temperatura a que a bola atinge a base do prato corresponde à temperatura de amolecimento do betume em estudo.

O ensaio de viscosidade dinâmica possibilita a determinação da resistência à deformação diferencial do betume a temperaturas de ensaio mais elevadas, quando a viscosidade do betume é suficientemente baixa para se realizar a mistura e compactação, que são processos essenciais para um correto comportamento futuro da mistura betuminosa. Segundo a norma EN 13302, o viscosímetro rotacional determina a viscosidade do betume através da medição do torque necessário para que um determinado *spindle* mantenha constante a sua velocidade rotacional em contacto com o betume, dentro dum recipiente cilíndrico ligeiramente mais largo do que o *spindle*. Esta viscosidade é medida a várias temperaturas previamente estipuladas (neste trabalho fez-se medições dos 100 °C aos 180 °C, com acréscimos de 10 °C).

Finalmente, o ensaio reológico foi utilizado para caracterizar o comportamento viscoelástico do betume convencional e modificado a temperaturas de serviço baixas, intermédias e elevadas, fornecendo características intrínsecas do material, tais como o módulo de rigidez e o ângulo de fase, para várias condições de carga (temperatura e frequência). Aliado a isso, este ensaio ainda pode dar uma indicação da resistência do betume à deformação permanente e ao fendilhamento.

Para determinar as propriedades reológicas dos betumes em serviço numa gama de temperaturas médias e elevadas (40 °C a 90 °C), no presente trabalho utilizou-se o reómetro dinâmico de corte (em terminologia anglo-saxónica *dynamic shear rheometer* ou DSR), de acordo com as normas AASHTO TP5, ASTM D7175 e EN 14770. Este equipamento permite caracterizar o comportamento viscoelástico do betume, quantificando o módulo de corte complexo (G^*) e o ângulo de fase (δ) do betume a diversas temperaturas, para uma frequência de 10 rad/s (1,60 Hz). O ensaio com o equipamento DSR é realizado numa amostra de betume entre dois pratos paralelos do equipamento, sendo o inferior fixo e o superior com capacidade de rodar em torno do seu eixo vertical. O prato superior, ao submeter a amostra de betume a um esforço de corte, através de um movimento oscilatório e com extensão controlada (que deve ser definida de forma a garantir o comportamento linear do betume), permite a determinação das características reológicas do betume já referidas.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Como foi referido anteriormente, este trabalho subdivide-se em duas fases distintas. Numa primeira fase, procedeu-se à modificação do betume de maior penetração, que por ser um betume mole ajuda a perceber melhor a eficácia dos aditivos, ou seja, é mais visível a modificação neste tipo de betumes. A modificação deste betume foi feita com base na incorporação de diferentes percentagens dos aditivos no betume, quer em separado quer em simultâneo. Nesta fase foi possível seleccionar o aditivo que demonstrou o melhor comportamento face aos resultados pretendidos.

Na segunda fase do trabalho, estudou-se um betume puro habitualmente aplicado dos países em análise (50/70) e a sua modificação com diferentes percentagens do aditivo seleccionado na primeira fase. Por fim, após caracterização, seleccionou-se a percentagem ótima do aditivo escolhido, de modo a contornar os problemas de deformação permanente já referidos do betume puro existente nesses países.

Assim, os resultados serão apresentados separadamente, tendo em conta as duas fases de estudo.

3.1 Resultados obtidos na primeira fase do estudo (selecção do aditivo)

Os resultados do ensaio de penetração a 25 °C feito aos betumes estudados na primeira fase do estudo são apresentados na Fig.1. Os resultados mostram que o aditivo SBR não conferiu ao betume base as propriedades pretendidas. Esperava-se que ocorresse uma diminuição do valor da penetração à medida que a percentagem deste aumentasse no betume e o que se verificou foi exatamente o oposto. Já quando se modificou o betume puro com o aditivo PPA este modificador já apresentou as características esperadas, isto é, quando se adicionou 1 % de PPA ao betume puro o valor da penetração baixou e quando se aumentou a percentagem de PPA, o decréscimo no valor da penetração continuou a verificar-se.

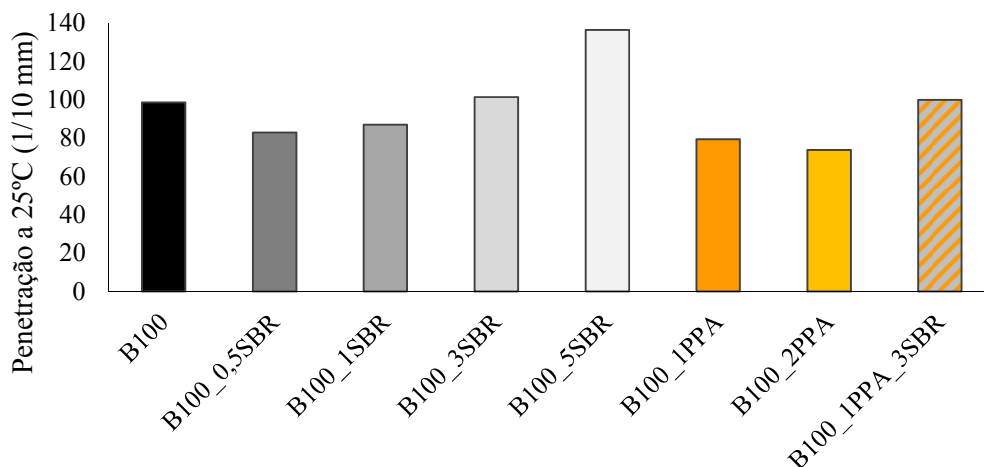


Fig.1. Penetração a 25 °C do betume base e dos betumes modificados com SBR e PPA

Quando se testou a junção dos dois aditivos, verificou-se que ocorreu novamente um aumento no valor da penetração. Assim, mais uma vez se comprova que o aditivo SBR estudado não consegue modificar o comportamento do betume no sentido pretendido neste trabalho.

No que respeita ao ensaio de avaliação da temperatura de amolecimento, voltou a verificar-se que o modificador SBR não confere aos betumes modificados as características pretendidas (Fig.2). De facto, para as percentagens 0.5% e 3 % de SBR verifica-se que a temperatura de amolecimento apresenta um ligeiro aumento. Contudo, o mesmo já não se verifica para as percentagens 1 % e 5 % deste modificador SBR. Desta forma, concluiu-se que o SBR apresenta uma variação de comportamento mais difícil de controlar, o que não é desejável.

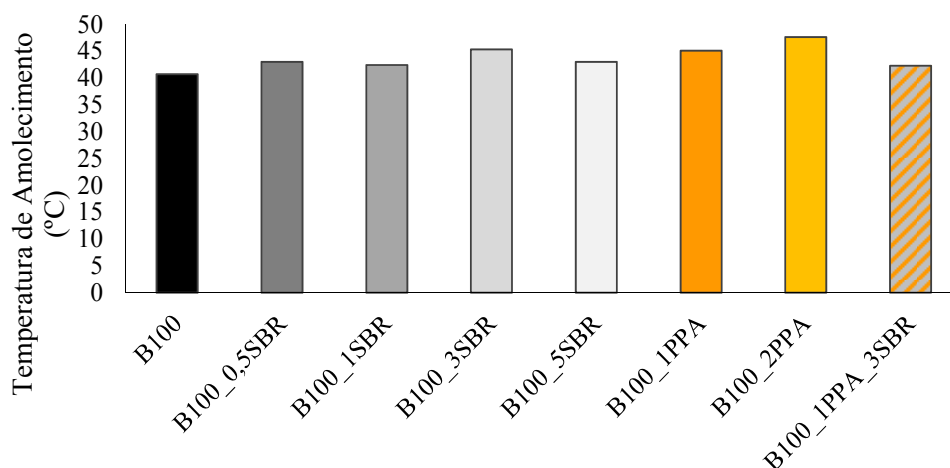


Fig.2. Temperatura de amolecimento do betume base e dos betumes modificados com SBR e PPA

Mais uma vez, o aditivo PPA apresenta as propriedades pretendidas, isto é, à medida que a quantidade de PPA aumenta, a temperatura de amolecimento também aumenta. Por último, quando se testou a modificação do betume puro com 1 % de PPA e 3 % de SBR, a temperatura de amolecimento sofreu um decréscimo (por comparação com o betume modificado apenas com 1 % de PPA). Este resultado voltou a confirmar que o SBR estudado não é indicado para a obtenção de um betume modificado mais resistente às deformações permanentes, para ser usado num pavimento em países tropicais.

Relativamente ao ensaio de resiliência, nesta fase do estudo, o betume puro B100 e os betumes B100 modificados com SBR não apresentaram resiliência. Dos betumes B100 modificados com 1 % e 2 % de PPA, apenas o betume com 2 % de PPA apresentou 3 % de resiliência. O betume modificado com ambos os aditivos (SBR e PPA) também não apresentou nenhuma resiliência. Estes resultados iniciais voltam a confirmar que o aditivo PPA tem vantagens sobre o SBR para a aplicação pretendida.

Ainda nesta primeira fase do trabalho foi realizado o ensaio de viscosidade dinâmica aos betumes modificados e cujos resultados se encontram na Fig.3. Pela análise dos resultados obtidos é possível verificar que no geral todos os betumes apresentam viscosidade superior ao betume base B100 na gama de temperaturas analisadas (100 °C a 180 °C). No que respeita ao modificador SBR, a diferença de viscosidades em relação ao betume base só é mais notória para as percentagens 3 % e 5 %. Ao utilizar 0.5 % e 1 % deste modificador, os betumes quase não sofrem alteração na viscosidade em comparação ao betume base. O aumento de viscosidade para percentagens de 3 % e 5 % de SBR levam a que a variação da viscosidade com a temperatura apresente uma evolução ligeiramente inesperada, com flutuações em relação à evolução apresentada pelo betume base.

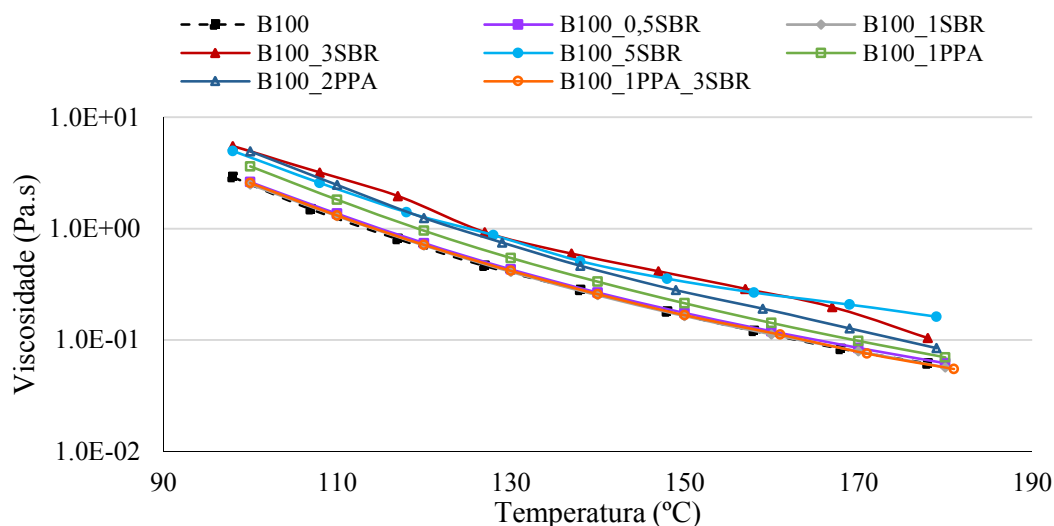


Fig.3. Viscosidade do betume base e dos betumes modificados com SBR e PPA

Ao avaliar os betumes modificados com PPA observou-se que estes apresentam uma viscosidade superior ao betume base para ambas as percentagens em análise, e verifica-se que quanto maior é a quantidade de PPA, maior é a viscosidade do betume modificado.

Esta primeira fase do estudo permitiu perceber o comportamento e a eficácia dos dois modificadores utilizados, ajudando assim a selecionar o modificador que confere ao betume puro as propriedades pretendidas para o betume final. Assim, face aos resultados obtidos nos ensaios descritos, o modificador selecionado foi o PPA, sendo a segunda parte do estudo apresentada apenas com este aditivo modificador.

3.2 Resultados obtidos na segunda fase do estudo (modificação com PPA)

Na segunda fase do estudo, e já após a seleção do aditivo, o estudo foi feito com o betume convencional 50/70 e com várias percentagens de PPA (aditivo selecionado após a primeira fase deste estudo). Os resultados do ensaio de penetração encontram-se na Fig.4. Os resultados obtidos confirmam as conclusões obtidas na primeira fase deste estudo, ou seja, o modificador PPA diminui o valor da penetração do betume puro à medida que a quantidade de modificador aumenta. Também é possível verificar que o betume convencional (que se considera ser da classe 50/70) cumpre os limites estabelecidos para esta classe (entre 50 e 70 dmm). Ainda neste ensaio, foi possível verificar que todas as percentagens de PPA estudadas para a modificação do betume convencional 50/70 cumprem os valores estabelecidos para a classe 35/50 (tal como se pretendia).

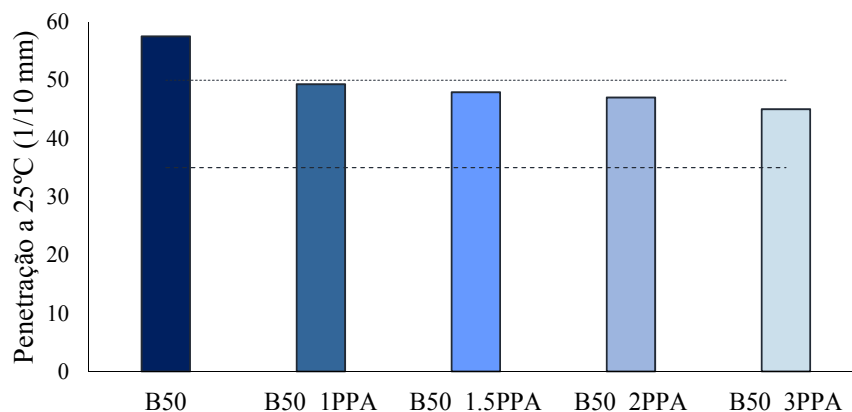


Fig.4. Penetração a 25 °C do betume convencional 50/70 e dos betumes modificados com PPA

Também se verifica que o betume tradicional 50/70 cumpre os requisitos de temperatura anel e bola exigidos para esse tipo de ligante (entre 46 °C e 54 °C), embora o seu ponto de amolecimento seja claramente mais baixo do que o observado para os betumes modificados (Fig.5). Tendo em conta os valores limite exigidos para um betume da classe 35/50, verifica-se que apenas as percentagens 2 % e 3 % de PPA cumprem esses valores limite.

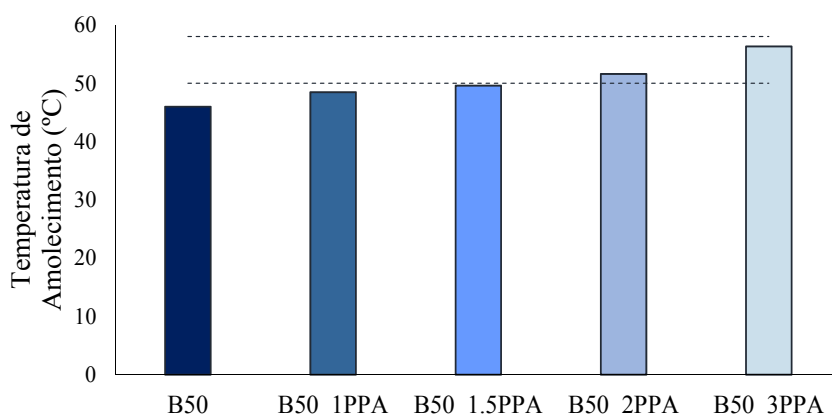


Fig.5. Temperatura de amolecimento do betume convencional 50/70 e dos betumes modificados com PPA

Em suma, e tendo em conta os resultados obtidos, tanto em termos de penetração como de temperatura de amolecimento, as percentagens que cumprem os limites estabelecidos para a classe 35/50 são 2 % e 3 % de PPA. Assim, tendo em consideração a escolha economicamente mais viável, e uma vez que cumpriu os limites que eram pretendidos, selecionou-se 2 % como a percentagem ideal de PPA a usar na continuação deste trabalho (estudo reológico) e para posterior produção de misturas betuminosas.

Nesta fase do estudo os betumes modificados com diferentes quantidades PPA já apresentaram valores de resiliência ligeiramente mais altos como consequência do betume base não ser tão mole como na primeira fase do estudo (Fig.6). De facto, embora o betume convencional (50/70) não apresente resiliência, verifica-se que à medida que a quantidade de PPA aumenta, a resiliência do betume modificado também aumenta de forma contínua, entre 2 % (para 1 % de PPA) e 10% (para 3 % de PPA). Desta análise é possível concluir que os betumes modificados com PPA apresentam um melhor comportamento elástico e, como tal, deverão apresentar boa resistência à deformação permanente e uma menor acumulação de dano após cada aplicação de carga, o que pode também implicar um melhor desempenho à fadiga (a estudar futuramente).

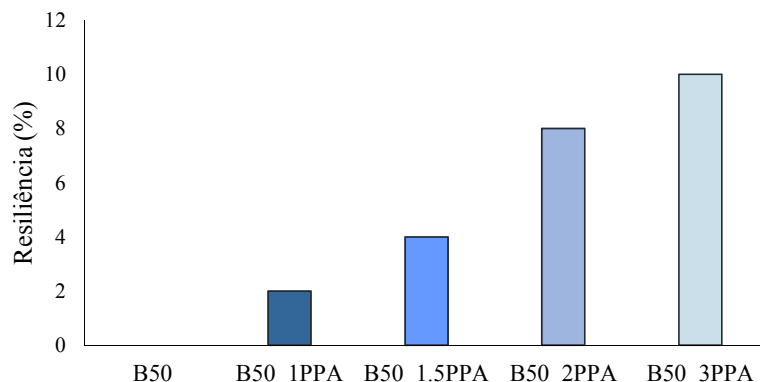


Fig.6. Resiliência do betume convencional 50/70 e dos betumes modificados com PPA

No que respeita ao ensaio de viscosidade dinâmica efetuado aos betumes modificados com PPA e ao betume convencional 50/70 na segunda fase deste estudo, os resultados são apresentados na Fig.7.

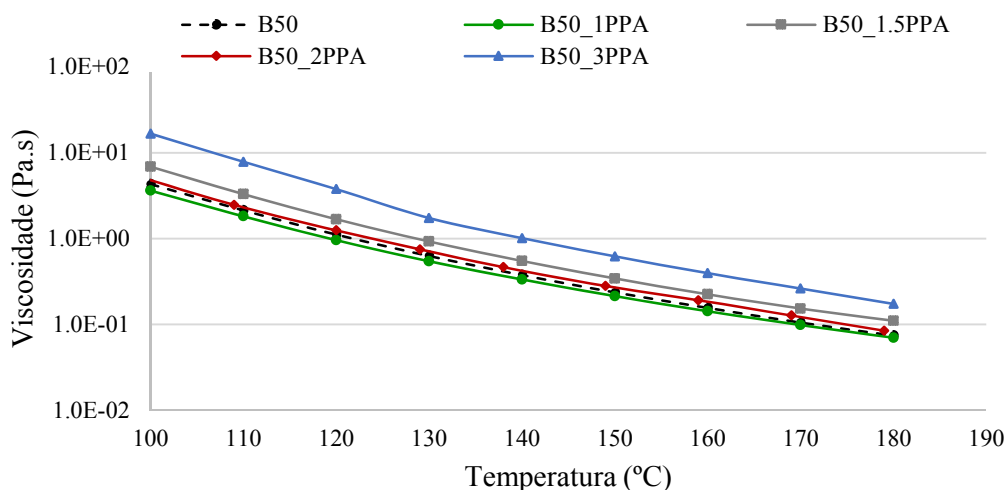


Fig.7. Viscosidade do betume convencional 50/70 e dos betumes modificados com PPA

Da análise dos resultados é possível concluir que os betumes modificados apresentaram no geral uma viscosidade maior do que o betume convencional 50/70, à exceção da percentagem mais baixa (1 %) que apresentou uma viscosidade ligeiramente abaixo do betume convencional. O betume modificado com a percentagem mais alta (3 %) é aquele que apresenta maior viscosidade. Além disso, continua a verificar-se que a forma da curva que relaciona a viscosidade com a temperatura dos vários betumes modificados com PPA é bastante semelhante à do betume base 50/70, o que demonstra que o PPA não altera muito a suscetibilidade térmica do betume nesta gama de temperaturas de ensaio. Os resultados permitem ainda concluir que a seleção de 2 % de PPA como solução final de modificação do betume 50/70 também é suportada pelos resultados de viscosidade, pois origina um aumento de viscosidade inferior ao observado quando se utiliza 3 % de PPA, o que é uma vantagem para produzir as misturas a menores temperaturas.

O ensaio de reologia foi o ultimo a ser realizado neste estudo e foi apenas efetuado para o betume convencional 50/70 e para a solução de modificação final escolhida com base nos resultados obtidos nas duas fases deste estudo, ou seja, betume convencional modificado com 2 % de PPA. Os resultados desses ensaios, nomeadamente o módulo de rigidez e o ângulo de fase a diferentes temperaturas, são apresentados na Fig.8.

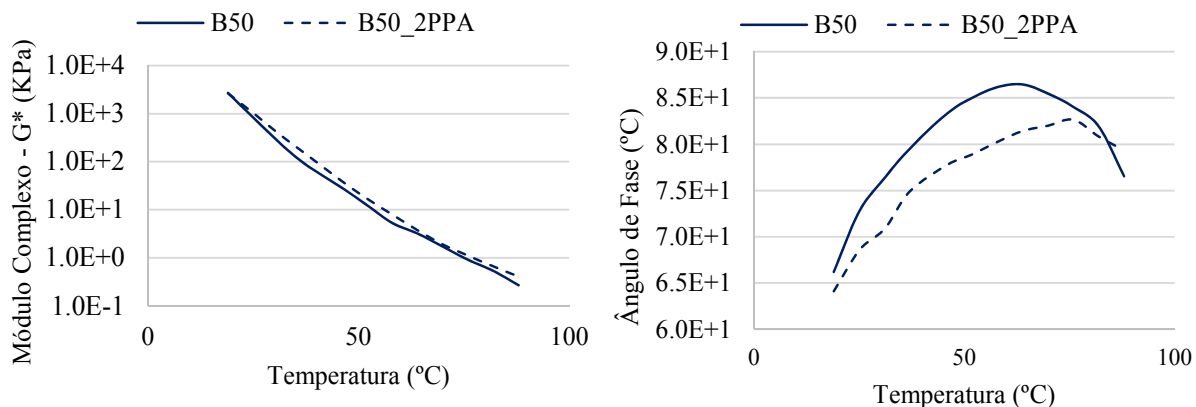


Fig.8. Módulo complexo e ângulo de fase dos betumes convencional 50/70 e modificado com 2 % de PPA

Analisando os resultados obtidos para o módulo complexo dos betumes em estudo é possível verificar que o betume modificado com 2 % de PPA apresenta um valor de G^* um pouco mais elevado que o betume convencional, embora essa variação não seja muito significativa. Em relação ao ângulo de fase, o betume modificado apresenta valores claramente inferiores ao betume convencional para uma gama de temperaturas entre os 20 °C e os 80 °C, tornando-se muito mais clara a modificação do betume.

Esta análise permite concluir que o betume modificado é mais rígido e mais elástico em comparação com o betume convencional, o que demonstra que poderá ser uma solução que dá fortes garantias de um bom desempenho em países com condições climáticas mais exigentes, tais como os países tropicais em análise. Além disso, esse desempenho foi verificado numa gama de temperaturas de serviço muito alargada, que vão desde os 20 °C até aos 80 °C já referidos, o que evidentemente consegue abranger as diversas condições climáticas verificadas nesses países.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho era desenvolver betumes alternativos ao betume puro tradicional (50/70) tipicamente utilizado nos países tropicais, que conseguissem ter um melhor desempenho nas condições particulares existentes nesses países, e em especial uma maior resistência às deformações permanentes em climas mais quentes.

Numa primeira fase deste estudo, e após serem testadas diferentes percentagens de dois aditivos modificadores, nomeadamente SBR líquido e PPA, foi possível selecionar o aditivo que conferiu ao betume as propriedades pretendidas para utilização em países com climas tropicais, nomeadamente o aditivo PPA.

Na segunda fase deste estudo foi possível concluir que o betume convencional 50/70 cumpre os requisitos exigidos para esse tipo de ligante a utilizar na camada de desgaste convencional para as estruturas do pavimento com esta solução. Ainda nesta fase, as soluções estudadas com diferentes percentagens do aditivo selecionado (PPA), permitiram concluir que a percentagem ideal deste aditivo a adicionar ao betume base é 2 %, pois com esta percentagem o betume final modificado consegue apresentar características que se assemelham mais às de um betume da classe 35/50, sendo por isso mais resistente às deformações permanentes.

5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por fundos QREN, através da ANI, no âmbito do projeto Tropical-Pav – “Soluções de Pavimentação Rodoviária para Climas Tropicais”, num consórcio constituído por duas empresas e quatro entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN), nomeadamente Elevo Grupo, Mota-Engil Engenharia e Construção, Instituto Superior Técnico, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra e Universidade do Minho.

6 REFERÊNCIAS

1. P. Ahmedzade, The investigation and comparison effects of SBS and SBS with new reactive terpolymer on the rheological properties of bitumen, *Construction and Building Materials*, 38 285-291, 2013.
2. D. Arslan, M. Gürü, M. Kürşat Çubuk, M. Çubuk, Improvement of bitumen and bituminous mixtures performances by triethylene glycol based synthetic polyboron, *Construction and Building Materials*, 25 (10) 3863-3868, 2011.
3. F. Branco, P. Pereira, L.P. Santos, *Pavimentos Rodoviários*, Almedina, Coimbra, 2006.
4. C. Fuentes-Audén, J.A. Sandoval, A. Jerez, F.J. Navarro, F.J. Martínez-Boza, P. Partal, C. Gallegos, Evaluation of thermal and mechanical properties of recycled polyethylene modified bitumen, *Polymer Testing*, 27 (8) 1005-1012, 2008.
5. Y. Becker, M.P. Méndez, Y. Rodríguez, Polymer Modified Asphalt, *Vision Tecnológica* (1) 39-50, 2001.
6. M. García-Morales, P. Partal, F.J. Navarro, F. Martínez-Boza, C. Gallegos, N. González, O. González, M.E. Muñoz, Viscous properties and microstructure of recycled eva modified bitumen, *Fuel*, 83 (1) 31-38, 2004.
7. Z.N. Kalantar, M.R. Karim, A. Mahrez, A review of using waste and virgin polymer in pavement, *Construction and Building Materials*, 33 55-62, 2012.
8. G.D. Airey, Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens, *Construction and Building Materials*, 16 (8) 473-487, 2002.
9. G.L. Baumgardner, Why and How of Polyphosphoric Acid Modification – An Industry Perspective, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 79 663-678, 2010.