

IAG286-01-2013
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE BITÚMENES ENVEJECIDOS
MODIFICADOS CON REJUVENECEDORES
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BETUMES ENVELHECIDOS
MODIFICADOS COM REJUVENESCEDORES

Liliana Abreu
Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Guimarães, Portugal
id4217@alunos.uminho.pt

Joel R.M. Oliveira
Universidade do Minho, Centro do Território Ambiente e Construção
Guimarães, Portugal
joliveira@civil.uminho.pt

Hugo M.R.D. Silva
Universidade do Minho, Centro do Território Ambiente e Construção
Guimarães, Portugal
hugo@civil.uminho.pt

Daniela Palha
Elevo Group
Porto, Portugal
daniela.palha@elevogroup.com

Paulo Fonseca
Elevo Group
Porto, Portugal
paulo.fonseca@elevogroup.com

Vitor Gomes
Elevo Group
Porto, Portugal
vitor.gomes@elevogroup.com

Paulo Pereira
Universidade do Minho, Centro do Território Ambiente e Construção
Guimarães, Portugal
ppereira@civil.uminho.pt

Resumen

En la actualidad, la necesidad de tornar más sostenible todo lo que nos rodea ha llevado a otorgar mayor preocupación para innovar y desarrollar nuevas técnicas para utilizar los recursos naturales de manera más eficiente. En el dominio de los firmes, esta preocupación se ha asociado desde hace algunos años a la reciclaje de material fresado, independientemente de la técnica utilizada. Teniendo en cuenta las limitaciones que se pueden encontrar cuando se

trata de asfalto reciclado, en este estudio se discute con mayor profundidad la necesidad de uso de rejuvenecimiento. Para entender cómo se comportan los bitúmenes cuando se adiciona un aditivo de rejuvenecimiento, en este trabajo se analiza cuatro aditivos diferentes, basadas en lo mismo betún inicial. Por lo tanto, se llevan a cabo pruebas convencionales para caracterizar bitúmenes (penetración, punto de ablandamiento y viscosidad dinámica a varias temperaturas) y pruebas de reología con el fin de evaluar el comportamiento de asfalto rejuvenecido en diferentes condiciones de aplicación de la carga, en comparación con un betún nuevo convencional.

Resumo

Atualmente a necessidade de tornar mais sustentável tudo aquilo que nos rodeia tem conduzido a uma maior preocupação em inovar e desenvolver novas técnicas que permitam utilizar os recursos naturais de uma forma mais eficiente. Na área dos pavimentos esta preocupação esteve durante alguns anos associada à reciclagem de material fresado (MF), independentemente da técnica utilizada. Tendo em atenção as limitações que podem ser encontradas quando se tratam de misturas betuminosas recicladas (MBRs), neste estudo é abordada de forma mais profunda a necessidade de utilização de rejuvenescedores. No sentido de compreender a forma como os betumes se comportam quando lhes é adicionado um rejuvenescedor, neste trabalho são analisados quatro aditivos distintos, tendo por base o mesmo betume inicial. Assim, são realizados ensaios de caracterização corrente de betumes (penetração, ponto de amolecimento e viscosidade dinâmica a várias temperaturas) e ensaios de caracterização reológica de modo a avaliar o comportamento do betume rejuvenescido em diferentes condições de aplicação de carga, por comparação com um betume convencional novo.

INTRODUÇÃO

A preocupação constante em fomentar a sustentabilidade tem levado a que a indústria de pavimentação tente encontrar soluções para o material que é retirado dos pavimentos em mau estado de conservação. Quanto às soluções encontradas, estas passam essencialmente pela reutilização e reciclagem do MF. No que diz respeito à reutilização esta consiste em incorporar MF em camadas granulares, onde os componentes das misturas não desempenham as mesmas funções que as desempenhadas até então, já no que respeita à reciclagem, os componentes da mistura desempenham as mesmas funções que anteriormente uma vez que esta passa pela incorporação do MF em novas misturas betuminosas (MB) (EAPA, 2005).

Relativamente à reciclagem de MF, existem várias questões que podem ser levantadas, desde logo a forma como deve ser tratado o material antes de ser introduzido nas misturas de modo a que se consiga reduzir ao máximo a questão da heterogeneidade do material (Aravind e Das, 2007, Colbert e You, 2012, Oliveira *et al.*, 2012). Além desta primeira questão o facto do betume presente no MF se encontrar envelhecido, implica um maior cuidado na formulação e produção de MBRs, podendo mesmo levar à necessidade de aplicação de rejuvenescedores. Nesse sentido é importante ter em consideração que o processo de envelhecimento é composto por quatro fases distintas: oxidação, evaporação, exsudação e endurecimento (Karlsson e Isacsson, 2006).

No entanto e uma vez que é necessário conhecer a forma como se comporta o betume aquando do processo de envelhecimento e de regeneração, têm sido feitos alguns estudos neste sentido (Costa e Correia, 2013). Ainda neste âmbito e de forma a perceber quais os possíveis rejuvenescedores que podem ser utilizados com resultados satisfatórios, têm sido feitos inúmeros estudos, que testam desde a incorporação de resíduos (Abreu *et al.*, 2013, Asli *et al.*, 2012), à incorporação de óleos de origem vegetal (Cuadri *et al.*, 2013, Souza, 2012), sem no entanto esquecer os aditivos comerciais (Jamshidi *et al.*, 2013Jamshidi *et al.*, 2013, Sengoz e Oylumluoglu, 2013).

Neste estudo em concreto serão analisados três rejuvenescedores comerciais de duas companhias distintas e um aditivo não comercial que é reconhecido como tendo propriedades que conduzem ao rejuvenescimento do betume de origem vegetal. O principal objetivo do estudo é concluir qual o melhor aditivo a adicionar a uma MBR, tendo em atenção não unicamente as características finais das misturas mas igualmente o que trará mais vantagens ao nível económico. No sentido de alcançar esse objetivo, e uma vez que o processo de recuperação de betume do MF é bastante demorado será ainda necessário proceder ao envelhecimento de um betume convencional de modo a que este seja equivalente ao betume recuperado do material fresado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais Usados

Material Fresado

Relativamente ao material fresado este é o resultado da fresagem da camada superficial de um pavimento de uma autoestrada, que foi armazenado pela empresa MonteAdriano. Ao ser unicamente fresada uma camada do pavimento pretende-se garantir uma maior homogeneidade no MF, de modo a contribuir para melhorar o controlo na produção das misturas betuminosas recicladas. De referir que este material encontra-se armazenado em pilhas diferentes, uma vez que este MF é na própria empresa separado entre fração fina e grossa através de um classificador com malhas de 10 e 18mm.

Betumes convencionais

Para este estudo, serão utilizados dois betumes convencionais que têm no entanto durezas totalmente distintas, e que irão desempenhar igualmente funções distintas. O betume mais duro (betume 10/20), será utilizado para simular o betume recuperado do MF, sendo que anteriormente ao processo de rejuvenescimento terá de ser submetido a um processo de envelhecimento que será detalhado em seguida.

Além do betume com maior dureza, será utilizado um betume 70/100, que permite amolecer o betume presente no MF. Serão ainda tidas em consideração as características do betume 35/50, que é o betume mais usual na pavimentação em Portugal, uma vez que se pretende que o betume final obtido tenha características idênticas aos betumes convencionais usados no nosso país.

Aditivos

Um dos aditivos utilizados é um óleo de origem vegetal, e será referido como rej.A, de modo a simplificar a apresentação de dados. Os restantes três são rejuvenescedores comerciais. O rej.B é referido pela empresa que o comercializa como sendo antioxidante, plastificante, rejuvenescedor, hidratante, diluente e dispersante. Os rej.C e rej.D são ambos da mesma empresa sendo que esta refere que a maior diferença entre ambos se centra na sua contribuição para a redução da sensibilidade à água (Figura 1).



Figura 1: Aspeto dos rejuvenescedores utilizados para o estudo, da esquerda para a direita, rej.A, rej.B, rej.C e rej.D

Caraterização do material fresado

No que respeita à caracterização do MF, para este estudo é essencial conhecer a percentagem de betume presente no MF, para isto foi utilizado o método indicado na norma EN 12697-39, que tem por base a incineração do ligante. Além disso é essencial proceder à recuperação do betume de modo a possibilitar a caracterização do mesmo.

Quanto à caracterização do betume, esta será feita pela caracterização base, com recurso a ensaios de penetração (EN 1426), ponto de amolecimento “anel e bola” (EN 1427) e viscosidade dinâmica (EN 13302). Além destes ensaios e de modo a determinar as propriedades reológicas dos betumes em serviço numa gama alargada de temperaturas (20 a 90 °C), 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.

Processo de envelhecimento do betume

Relativamente ao processo de envelhecimento, e sabendo que seria necessário determinar o tempo necessário para que o betume 10/20 permite-se obter características idênticas ao betume recuperado. Optou-se por colocar num evaporador rotativo um balão com 1000 g +/-5 g, à temperatura de 163 °C e com uma rotação de 20 rpm (Figura 2).

Neste caso serão testados tempos distintos para o envelhecimento do betume 10/20, sendo que após o processo de envelhecimento o betume é caracterizado com recurso à metodologia utilizada para o betume recuperado do MF.



Figura 2: Processo de envelhecimento do betume no rotovapor

Processo de aditivação e caracterização dos betumes

O processo de rejuvenescimento do betume tem como objetivo tornar o betume presente na mistura final idêntico a um betume convencional. Neste estudo optou-se por considerar que o betume final deveria ter características idênticas ao betume 35/50.

No que respeita ao processo de aditivação, e tendo em atenção a percentagem de betume presente no MF bem como a percentagem ideal para a mistura betuminosa final (considerando que o teor ótimo é de 5,0% de ligante), começou-se por misturar primeiramente o betume envelhecido com o betume 70/100, e após esta base se encontrar a 160 °C, é adicionado o aditivo. Aguarda-se até que a mistura atinga o 160 °C, contando-se 10 minutos com temperatura constante, a uma velocidade de 230 rpm de modo a que a mistura seja o mais homogênea possível.

Após serem produzidos os diversos betumes com percentagens distintas de aditivos, faz-se a caracterização destes, da mesma forma que foi feita para o betume recuperado.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Caracterização do material fresado

No que respeita à caracterização do MF, e uma vez que para este estudo é pouco importante a caracterização granulométrica do mesmo, serão apenas apresentados os resultados de teor em ligante presente no MF e as características do betume recuperado.

No que respeita ao teor em ligante presente no material fresado, a fração fina, apresenta uma percentagem de 6,0% enquanto a fração grossa apresenta uma percentagem de 4,0%. Tal como seria de esperar a fração fina apresenta um teor em betume superior, visto que apresenta igualmente uma maior superfície específica. Quanto aos resultados obtidos por parte da caracterização básica dos betumes recuperados (Figura 3), é possível verificar que o betume presente na fração fina se encontra menos envelhecido que o presente na fração grossa, facto que pode ser explicado pela maior exposição do betume, presente na fração grossa, ao ar.

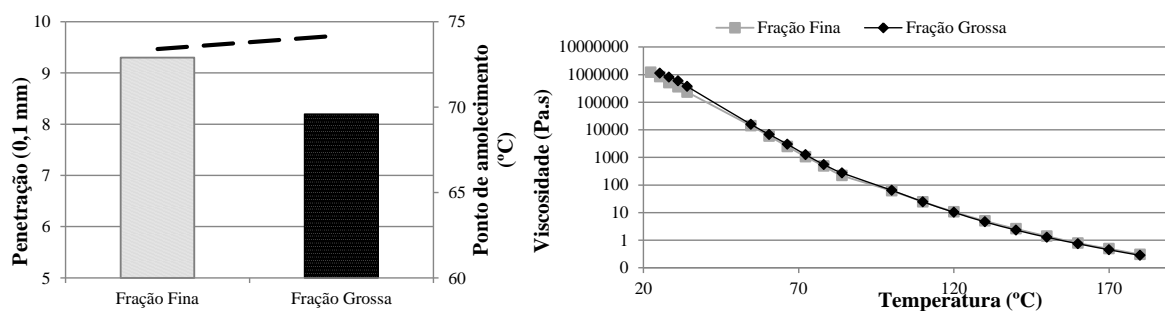


Figura 3: Resultados de penetração, anel e bola e viscosidade dinâmica dos betumes recuperados

Já no que diz respeito as características reológicas dos betumes (Figura 4) são apresentados o módulo de corte complexo (G^*), ângulo de fase (δ) e $G^*/\sin\delta$ (valor utilizado para definir o grau PG dos betumes). Estes permitem confirmar os resultados obtidos na caracterização básica realizada anteriormente, demonstrando que o betume presente na fração grossa é o mais envelhecido.

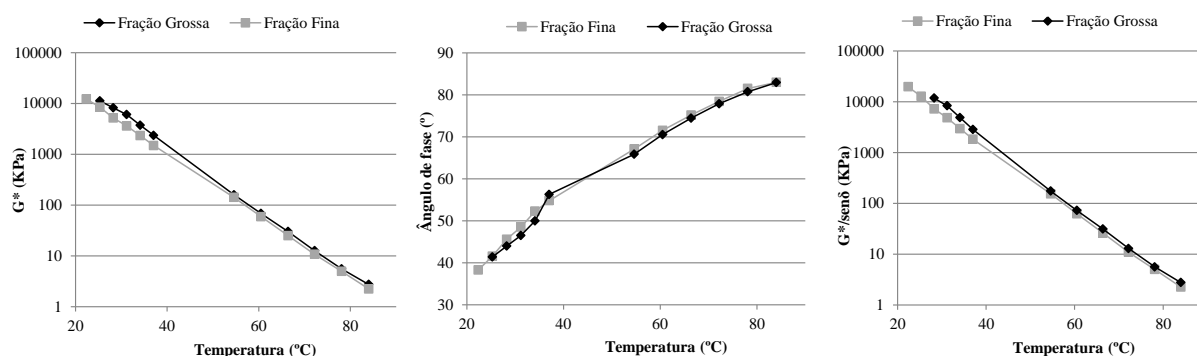


Figura 4: Características reológicas dos betumes recuperados das frações fina e grossa

Processo de envelhecimento

O processo de envelhecimento do betume foi inicialmente feito para os tempos de envelhecimento de 9 e 23 horas, sendo que se concluiu que o ideal seria um envelhecimento de 15 horas, sabendo-se desde logo que o valor de anel e bola seria superior ao limite normalizado. Olhando para os resultados (Figura 5), é possível verificar que existem fases distintas no que respeita ao envelhecimento do betume e que é claramente visível pela inclinação obtida entre os pontos de envelhecimento. Analisando ainda os resultados obtidos, é de salientar o facto do envelhecimento do betume em termos de penetração entrar em patamar o que não se verifica para o ponto de amolecimento.

De referir que com 15 horas de envelhecimento se conseguiu que o betume tivesse uma penetração entre os valores da fração fina e grossa, tal como seria de esperar caso se fizesse a recuperação do betume da totalidade do fresado, já o mesmo não acontece no que respeita ao ponto de amolecimento.

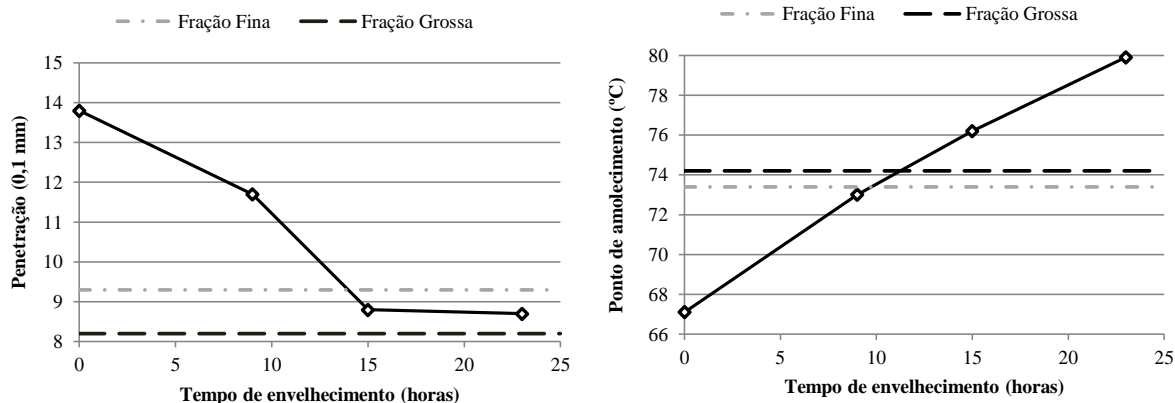


Figura 5: Resultados de penetração e anel e bola de acordo com o tempo de envelhecimento

Quanto a análise reológica e à viscosidade dinâmica estas estão sintetizadas na Figura 6.

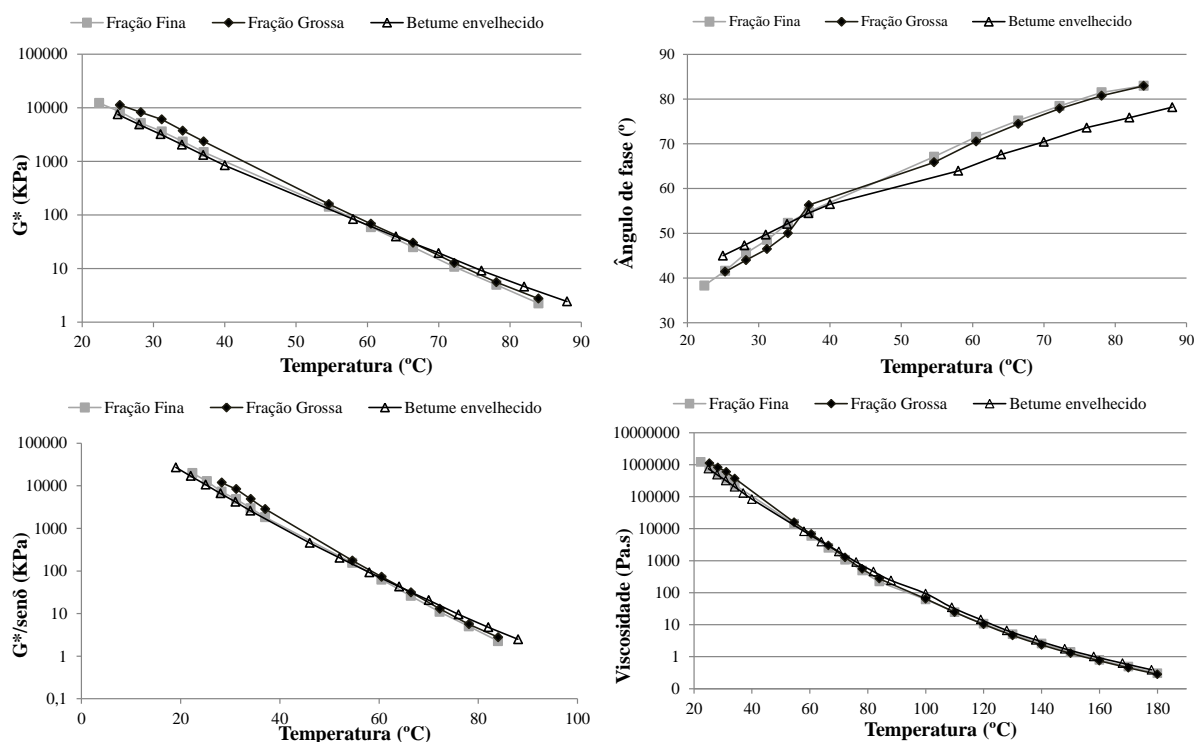


Figura 6: Características reológicas e viscosidade dinâmica do betume envelhecido 15 horas em comparação com os betumes recuperados

Analisando os resultados obtidos é possível verificar que o comportamento do betume envelhecido é semelhante ao dos betumes recuperados. Relativamente ao grau PG este é de 88°C para os três betumes em análise.

Rejuvenescimento dos betumes

No que respeita ao rejuvenescimento de betumes, numa primeira fase estudaram-se os betumes sem adição de aditivos, com 30 e 50% de betume envelhecido e 70 a 50% de betume “Novo” 70/100, tendo-se concluído que apenas para 50% de betume envelhecido existe a

necessidade de recorrer a rejuvenescedores, tendo-se testado percentagens distintas para os diferentes rejuvenescedores, sendo as características de penetração e ponto de amolecimento apresentadas na Figura 7 (a linha horizontal corresponde aos resultados do betume convencional 35/50).

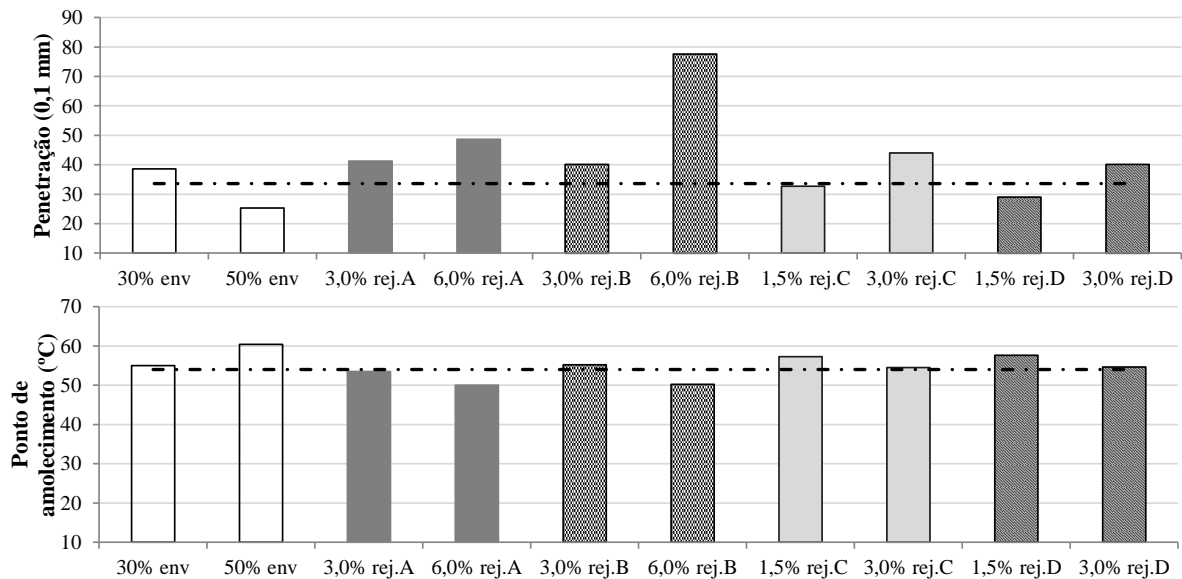


Figura 7: Penetração e ponto de amolecimento dos betumes aditivados

Após a análise de resultados optou-se por utilizar 2,0% de aditivo, sendo os resultados da caracterização básica apresentados na Figura 8. Analisando esses resultados é possível concluir que os quatro rejuvenescedores estudados permitem obter características idênticas entre si.

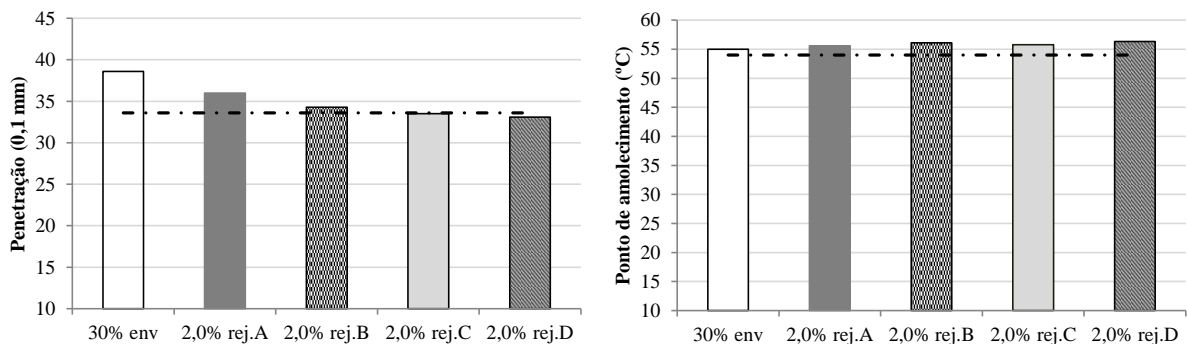


Figura 8: Penetração e ponto de amolecimento dos betumes aditivados com a percentagem considerada ótima

No que respeita às características reológicas estas estão sintetizadas na Figura 9. Analisando os resultados é possível concluir que os rejuvenescedores provocam idêntica alteração ao betume envelhecido. Relativamente ao PG dos diversos betumes este é de 70°C.

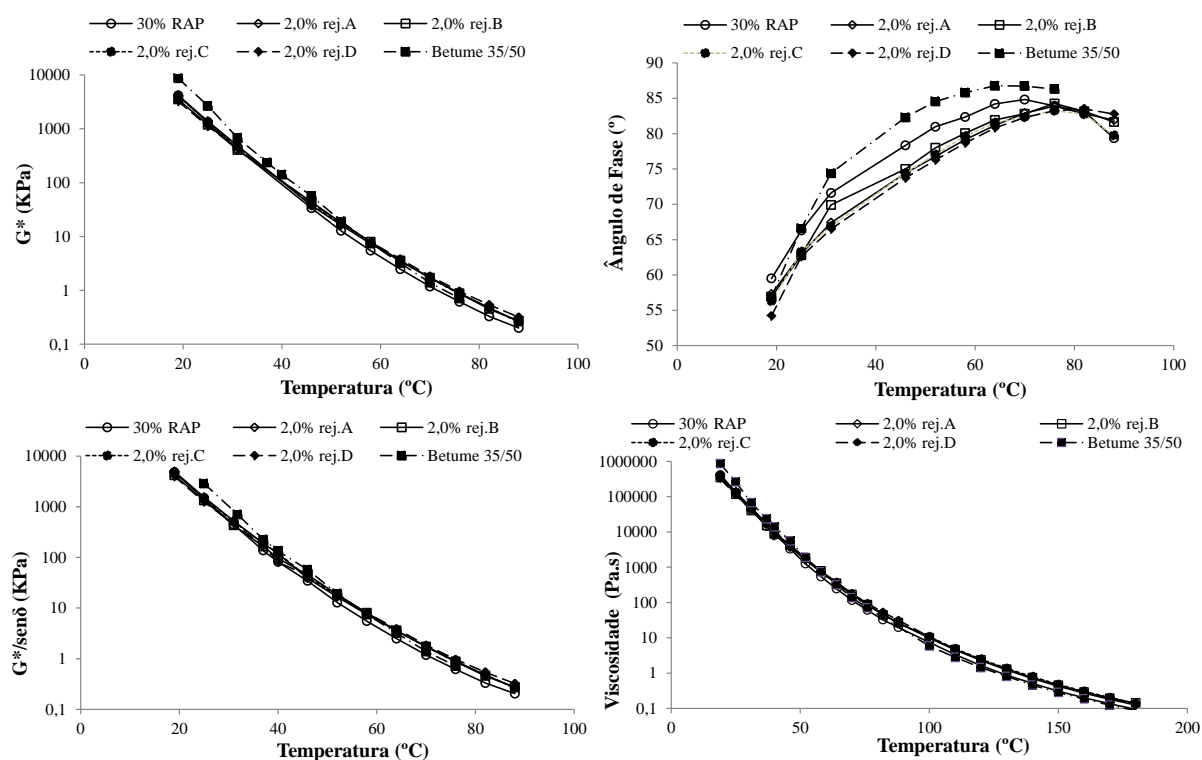


Figura 9: Características reológicas e viscosidade dinâmica dos betumes com a percentagem ótima de rejuvenescedor

CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que os quatro rejuvenescedores estudados modificam de forma muito idêntica os betumes. No entanto, convém salvaguardar que o mesmo poderá não acontecer quando estes aditivos são avaliados quando incorporados em misturas betuminosas recicladas. Tendo em atenção a origem dos rejuvenescedores estudados, é bastante interessante o facto de um óleo de origem vegetal permitir resultados idênticos a rejuvenescedores que são normalmente processados quimicamente.

Com base nos resultados deste trabalho, serão realizados estudos adicionais que passam pela produção e caracterização mecânica de MBRs, produzidas com betumes rejuvenescidos, que permitam concluir qual o melhor aditivo, complementados por estudos de envelhecimento dos ligantes, de forma a perceber como estes se irão comportar a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às empresas Galp e Betominho, Sociedade de Construções S.A., do grupo MonteAdriano, pelo fornecimento dos ligantes e do material fresado. Este trabalho foi financiado pelo QREN, no âmbito do projeto Eficiência Energética e Ambiental das Misturas Betuminosas e Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa (QREN-SI 090528), atribuído à empresa Betominho, Sociedade de Construções S.A., do grupo MonteAdriano, com a colaboração da Universidade do Minho. Agradece-se ainda à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento atribuído através da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/85448/2012.

REFERÊNCIAS

- Abreu, L.P.F., Oliveira, J.R.M., Silva, H.M.R.D. (2013). FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE LIGANTES NUMA MISTURA BETUMINOSA COM UMA TAXA DE RECICLAGEM ELEVADA, *7º Congresso Rodoviário Português*, Lisboa.
- Aravind, K., Das, A. (2007). Pavement design with central plant hot-mix recycled asphalt mixes, *Construction and Building Materials*, Vol. 21 (5), pp. 928-936.
- Asli, H., Ahmadiania, E., Zargar, M., Karim, M.R. (2012). Investigation on physical properties of waste cooking oil – Rejuvenated bitumen binder, *Construction and Building Materials*, Vol. 37 (0), pp. 398-405.
- Colbert, B., You, Z. (2012). The determination of mechanical performance of laboratory produced hot mix asphalt mixtures using controlled RAP and virgin aggregate size fractions, *Construction and Building Materials*, Vol. 26 (1), pp. 655-662.
- Costa, M.S.d., Correia, D.A. (2013). RECICLAGEM A QUENTE EM CENTRAL DE MISTURAS BETUMINOSAS NA PERSPETIVA DA REGENERAÇÃO DO BETUME, *7º Congresso Rodoviário Português* Lisboa.
- Cuadri, A.A., García-Morales, M., Navarro, F.J., Partal, P. (2013). Isocyanate-functionalized castor oil as a novel bitumen modifier, *Chemical Engineering Science*, Vol. 97 (0), pp. 320-327.
- EAPA, E.A.P.A. (2005). *Industry Statement on the recycling of asphalt mixes and use of waste of asphalt pavements.*, European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium.
- Jamshidi, A., Hamzah, M.O., You, Z. (2013). Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art, *Construction and Building Materials*, Vol. 38 (0), pp. 530-553.
- Karlsson, R., Isacsson, U. (2006). Material-related aspects of asphalt recycling - State-of-the-art, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18 (1), pp. 81-92.
- Oliveira, J.R.M., Silva, H.M.R.D., Abreu, L.P.F., Pereira, P.A.A. (2012). Effect of Different Production Conditions on the Quality of Hot Recycled Asphalt Mixtures, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53 (0), pp. 266-275.
- Sengoz, B., Oylumluoglu, J. (2013). Utilization of recycled asphalt concrete with different warm mix asphalt additives prepared with different penetration grades bitumen, *Construction and Building Materials*, Vol. 45 (0), pp. 173-183.
- Souza, L.J.S.d. (2012). *Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas com Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado com Óleo de Mamona.*, UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Campina Grande – Paraíba.