

NOVOS LIGANTES DE BAIXA TEMPERATURA PARA MISTURAS BETUMINOSAS SEMIQUENTES

Teresa Carvalho¹; Vicente Pérez²; María González³; María del Mar Colás⁴:

¹Cepsa Portuguesa, Avenida Columbano Bordalo Pinheiro, n.º 108 - 3º 1070-067 Lisboa, Portugal

email: teresa.carvalho@cepsa.com

²Cepsa Comercial Petróleo, Departamento Técnico de Asfaltos, Carretera de Daganzo M-100 km. 5.5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España.

email: vicente.perez@cepsa.com

³Cepsa Comercial Petróleo, Departamento Técnico de Asfaltos, Carretera de Daganzo M-100 km. 5.5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España.

email: maria.gonzalez@cepsa.com

⁴Cepsa Comercial Petróleo, Departamento Técnico de Asfaltos, Carretera de Daganzo M-100 km. 5.5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España.

email: marimar.colas@cepsa.com

Sumário

Neste trabalho é apresentado um estudo no tema das misturas semiquentes utilizando ligantes de todas as tipologias, desde os convencionais e modificados até aos modificados e melhorados com borracha. Estes ligantes foram expressamente desenvolvidos para a sua manipulação a temperaturas abaixo dos 140 °C, sendo o seu desempenho comparado com os seus homólogos utilizados em misturas a quente. Para tal, foram consideradas dois tipos de misturas (das mais comuns na construção de pavimentos) e foi efetuada a avaliação da influência da temperatura aquando do fabrico da mistura, do conteúdo de betume e do esqueleto mineral nas propriedades da mistura.

Palavras-chave: betumes; baixa temperatura, borracha, misturas betuminosas semiquentes.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é, sem dúvida, uma das componentes chave que deve ser considerada quando se especificam misturas betuminosas. Este conceito inclui tanto a utilização de matérias-primas mais sustentáveis como a redução dos consumos energéticos e a durabilidade da mistura após a sua aplicação. Estes critérios de sustentabilidade estão a começar a ser implementados nos projetos de pavimentação e a tendência indica que, no futuro, formarão parte dos requisitos usuais para qualquer obra. A exemplo disso, temos o desenvolvimento das misturas denominadas MASAI (Materiais Asfálticos, Sustentáveis, Automatizados e Inteligentes), que foi introduzido, recentemente, na construção e reabilitação de estradas na Andaluzia. O principal cuidado tido, entre outros, foi exatamente na obtenção de pavimentos de elevado desempenho, a temperaturas de fabrico reduzidas e que contemplem os princípios da economia circular. Entre estes princípios destacam-se a reutilização de materiais betuminosos procedentes de pavimentos envelhecidos e de reciclagem de polímeros ou subprodutos de outras indústrias.

Até ao momento, já foram fabricadas mais de 18.500 toneladas de misturas MASAI, sendo que está a ser efetuado um seguimento do comportamento mecânico das mesmas. Não obstante, continua-se a trabalhar no desenvolvimento e otimização de ligantes betuminosos que melhor permitam a obtenção de misturas que cumpram todos os requisitos mecânicos e funcionais pretendidos.

Neste trabalho foi realizado um estudo no campo das misturas semiquentes utilizando ligantes de todos os tipos, desde os convencionais e modificados com polímeros até aos melhorados e modificados com borracha, especialmente formulados para a sua manipulação a temperaturas inferiores a 140 °C. Foram considerados dois tipos de misturas betuminosas (as mais comumente aplicadas na pavimentação) e foram avaliados diversos parâmetros, como sejam a influência da temperatura aquando do fabrico das misturas, do conteúdo de betume e do esqueleto mineral nas propriedades da mistura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram selecionados ligantes com penetrações com valores próximos de 60 (0,1 mm) e com diferentes modificadores. O objetivo foi realizar uma comparação entre misturas fabricadas com ligantes de diferentes famílias: convencionais (B), modificados com polímeros (PMB), melhorados com borracha (BBB) e modificados com borracha (BBM) nas suas condições ótimas a quente e misturas fabricadas a temperaturas reduzidas com ligantes especificamente desenvolvidos para este fim (ligantes BT). Os ligantes de referência que se consideraram foram: B 50/70, PMB (45/80-60), BBB 50/70 e BBM 50/70. Foram desenvolvidas formulações para estes ligantes especialmente adaptadas para permitir uma redução da temperatura até os 140 °C, dando lugar aos ligantes BT correspondentes: B 50/70 BT, PMB (45/80-60) BT, BBB 50/70 BT e BBM 50/70 BT. Os ligantes BBB e BBM foram formulados utilizando pó de borracha proveniente de pneus usados como modificador, através de um processo de incorporação por via húmida.

As características dos ligantes BT são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Características dos ligantes de baixa temperatura (BT)

Característica	Norma ensaio	B 50/70 BT	BBB 50/70 BT	PMB (45/80-60) BT	BBM 50/70 BT
Penetração (dmm)	EN 1426	56	62	65	45
Temp. de amolecimento (°C)	EN 1427	50	55,7	62,2	66
Recuperação elástica (%)		--	40	85	63
Viscosidade Brookfield:	EN 13302				
η @135°C (mPa)		700	905	1150	4092
η @150°C (mPa)		240	520	392	1800
η @175°C (mPa)		80	180	190	450
Estabilidade ao armazenamento:	EN 13399				
Δ penetração (dmm)		--	8	1	4
Δ Temp. de amolecimento (°C)		--	4	0,2	5

Estes quatro betumes BT, bem como os seus análogos para misturas a quente foram os utilizados no fabrico de misturas betuminosas do tipo AC 22 do grupo Betão Betuminoso [EN 13104-2] e BBTM 11B do grupo das misturas betuminosas para camadas muito delgadas [EN 13108-2], a diferentes temperaturas (130, 150 e 165 °C para os BBB, e 130, 150 e 170 °C para os BBM), partindo das fórmulas de trabalho desenvolvidas para as misturas betuminosas a quente com os betumes convencionais B 50/70 para as AC 22 e o PMB (45/80-60) para as BBTM 11B (Quadro 2).

Quadro 2. Materiais utilizados no fabrico das misturas betuminosas estudadas

	AC 22 referência	AC 22 50/70 BT	AC 22 BBB 50/70 BT	BBTM 11B referência	BBTM 11B PMB (45/80-60) BT	BBTM 11B BBM 50/70 BT
Teor de ligante (% sobre peso da mistura)	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0
Tipologia do ligante de utilizado	B 50/70	B 50/70 BT	BBB 50/70 BT	PMB 45/80-60	PMB (45/80-60) BT	BBM 50/70 BT
Agregado grosso	6/12 mm calcário; 12/18 mm calcário; 18/24 mm calcário	6/12 mm calcário; 12/18 mm calcário; 18/24 mm calcário	6/12 mm calcário; 12/18 mm calcário; 18/24 mm calcário	6/12 mm ofítico	6/12 mm ofítico	6/12 mm ofítico
Agregado fino	0/6 mm calcário	0/6 mm calcário	0/6 mm calcário	0/4 mm calcário	0/4 mm calcário	0/4 mm calcário
Fíler	Recuperação	Recuperação	Recuperação	Carbonato Cálcico	Carbonato Cálcico	Carbonato Cálcico

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as curvas granulométricas dos esqueletos minerais utilizadas em cada uma das tipologias de misturas AC 22 e BBTM 11B, durante o estudo de desenvolvimento dos ligantes. De salientar que, na altura de formular as misturas BBTM 11B, decidiu-se optar por curvas granulométricas na zona inferior do fuso, com o objetivo de obter uma mistura mais aberta (dentro dos limites estabelecidos para as BBTM 11B) de forma a que as suas características fossem o mais adversas possíveis para fabricá-las a baixas temperaturas (as misturas descontínuas de camadas de espessura reduzida, com elevado conteúdo de vazios são misturas que arrefecem com maior rapidez, são menos trabalháveis e são mais vulneráveis à ação da água no caso de amassaduras deficientes). Desta forma, pretendeu-se demonstrar que, se se consegue fabricar misturas com bom desempenho sob estas condições, podendo sofrer qualquer outro conjunto de condições mais desfavoráveis.

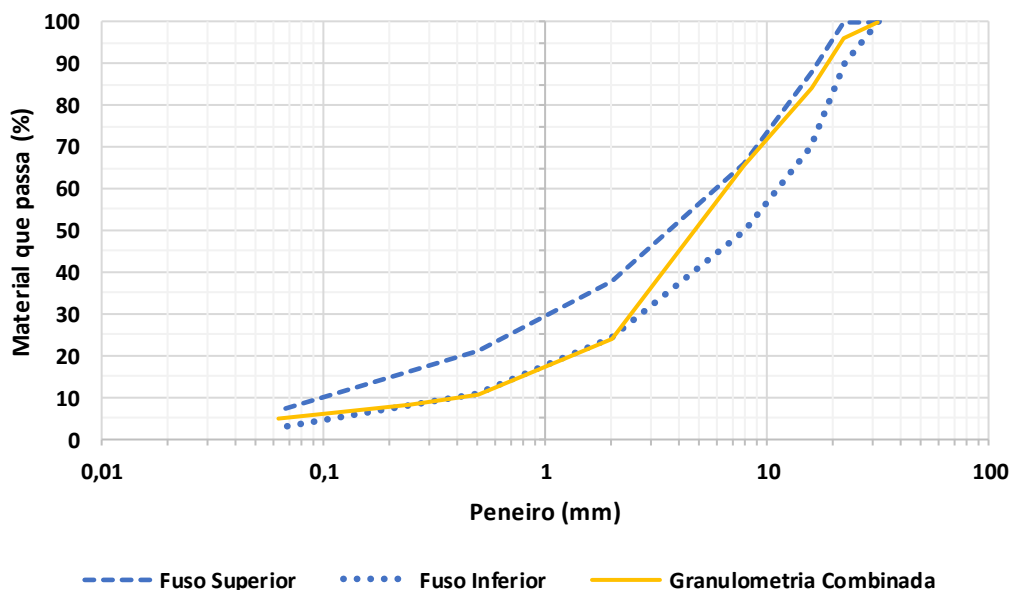


Fig.1. Curva granulométrica das misturas AC 22 objeto de estudo

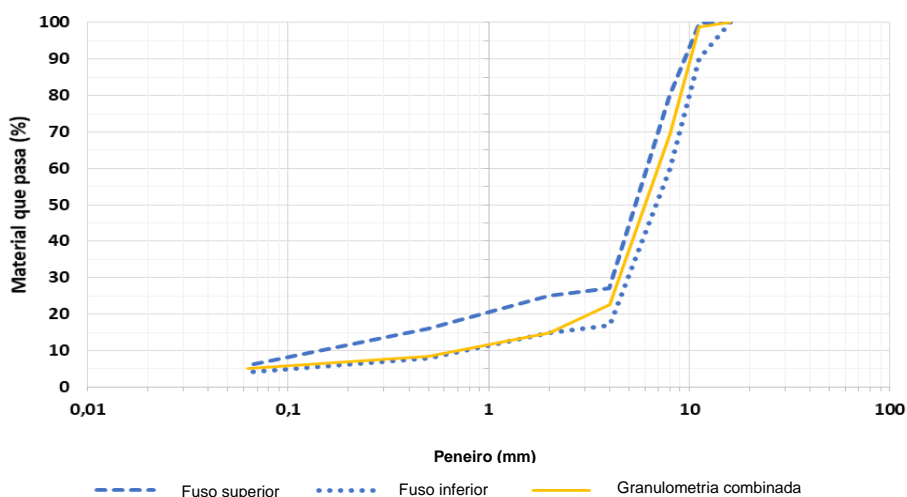


Fig.2. Curva granulométrica das misturas BBTM 11B objeto de estudo

2.1 Plano de ensaios

As misturas betuminosas estudadas foram submetidas aos seguintes ensaios:

a) Baridade e conteúdo de vazios (segundo a EN 12697-5, EN 12697-6 e EN 12697-8). Com cada uma das misturas objeto de estudo foram fabricados provetes do tipo Marshall de 101,6 mm de diâmetro compactados com 75 golpes por face no caso das misturas AC 22 e 50 golpes por face no caso das misturas BBTM 11B, sendo posteriormente ensaiada a sua densidade aparente (EN 12697-6) utilizando o Procedimento B Superfície saturada seca nas misturas AC 22 e o Procedimento D Geométrico nas misturas BBTM 11B. Assim sendo, foi determinada a densidade máxima das misturas fabricadas utilizando o picnómetro segundo o Procedimento A Volumétrico (EN 12697-5). Com os dados de ambas as densidades (aparente e máxima), foi determinado o volume de vazios dos materiais estudados segundo a norma EN 12697-8.

b) Sensibilidade à água (segundo a EN 12697-12). Adicionalmente, com cada uma das misturas objeto de estudo foram fabricados 6 provetes de 101,6 mm de diâmetro com o compactador Marshall aplicando 50 golpes

por face, para a realização do ensaio de Sensibilidade à água. Para tal, os provetes foram acondicionados dividindo-os em dois grupos de 3, um seco e outro húmido. O grupo seco, foi armazenado à temperatura ambiente de laboratório compreendida entre 20 ± 5 °C, enquanto que o grupo húmido foi colocado em vácuo até obter uma pressão de $6,7 \pm 0,3$ kPa durante 30 ± 5 minutos, ao que após de deixou em condições de imersão a 40 °C durante 72 horas. Posteriormente efetuou-se a rotura à tração indireta de cada um dos provetes (tanto do grupo seco, como do grupo húmido), a uma temperatura de 15 °C, depois de uma submissão prévia de climatização destas durante 120 minutos à dita temperatura. Os resultados do ensaio são expressos em função da resistência conservada dos provetes obtidas após dividir as resistências dos provetes húmidas e das secas (ITSR, %).

c) Ensaio de rigidez (segundo a EN 12697-26, anexo C). Adicionalmente, outros três provetes do tipo Marshall (de 101,6 mm de diâmetro e compactados a 50 golpes por face) foram fabricados com cada uma das misturas objeto de estudo para a realização do ensaio de rigidez a 20 °C. O ensaio consistiu na determinação do módulo de rigidez a partir da aplicação de uma série de 15 impulsos de carga controlada à tração indireta (em forma de meio seno), de 3 segundos de duração. Os 10 primeiros impulsos foram de acondicionamento para permitir que o equipamento se ajustasse à magnitude da carga e à sua duração, e os 5 impulsos seguintes serviram para determinar o módulo de rigidez da mistura, sendo este a média obtida dos 5 impulsos. Uma vez determinado o dito valor, os provetes foram girados e foi determinado o módulo do diâmetro perpendicular, devendo estar compreendido entre 80% e 110% do primeiro, caso contrário o ensaio seria considerado não válido. O valor final do módulo de rigidez de cada provete é correspondente com a média obtida de ambos os diâmetros, e o da mistura com a média obtida da rigidez de cada um dos provetes.

d) Ensaio triaxial (segundo a EN 12697-25, Método B). Uma vez realizado o estudo de rigidez, os 3 provetes de cada mistura foram utilizados para avaliar a sua resistência a deformações plásticas através do ensaio triaxial. Este método de ensaio consistiu na aplicação combinada, a temperatura constante de 60 °C, de uma carga de confinamento (por volta dos 120 kPa) e outra axial cíclica sinusoidal desfasada na origem de valor (de cerca de 300 kPa), sob uma frequência de 3 Hz durante 10.000 ciclos de carga. Os parâmetros de fluência (pendente da curva de deformação no patamar de crescimento estável do ensaio) e a deformação permanente (deformação acumulada pelo provete após os 10000 ciclos de carga) de cada mistura foram determinados como a média dos valores obtidos para cada par de provetes ensaiados.

3 ANÁLISE E RESULTADOS

3.1. Misturas betuminosas AC 22

Observa-se que a redução da temperatura com a qual foram fabricadas as misturas AC 22 com os ligantes BT permite uma trabalhabilidade adequada da mistura, bem como cumprir os requisitos de desempenho das mesmas.

Em relação à resistência à tração indireta e sensibilidade à água, observa-se que um incremento de 10% no teor em ligante não afeta negativamente as resistências destas misturas, sendo que parece melhorar a resistência conservada destes materiais (Figuras 3 e 4).

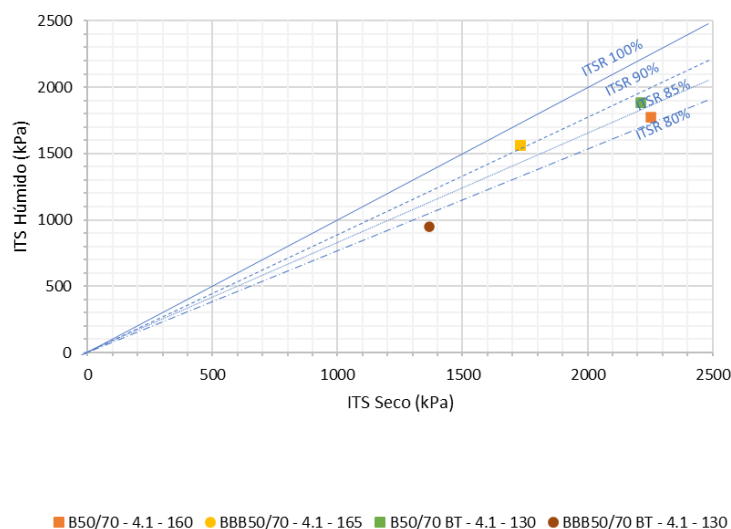


Fig.3. Resistência conservada. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,1%

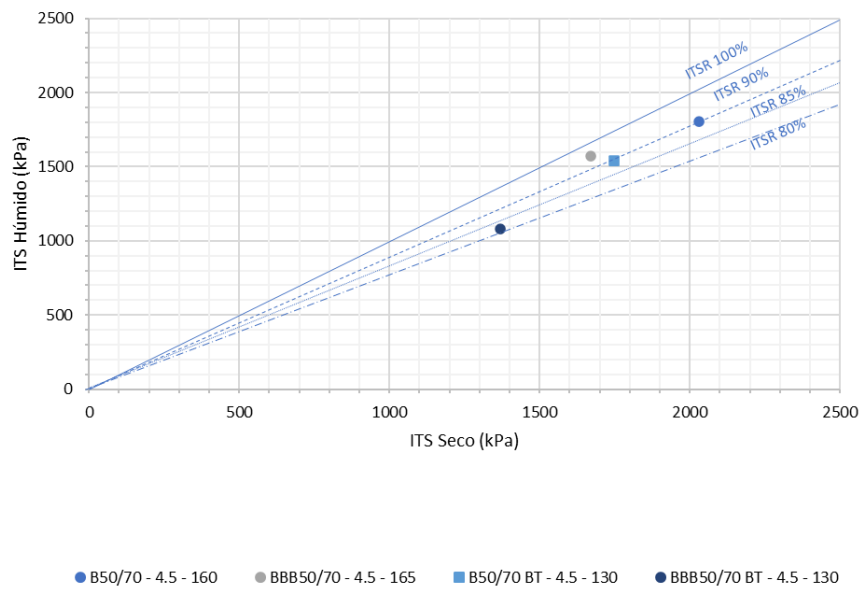


Fig.4. Resistência conservada. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,5%

A redução da temperatura conduz a misturas com uma rigidez menor, no entanto não se observa uma variação significativa na resistência a deformações plásticas das misturas, para nenhum dos teores de ligante estudados (Figuras 5 e 6) e os resultados obtidos das misturas fabricadas a menor temperatura são considerados bons (<3% no ensaio triaxial).

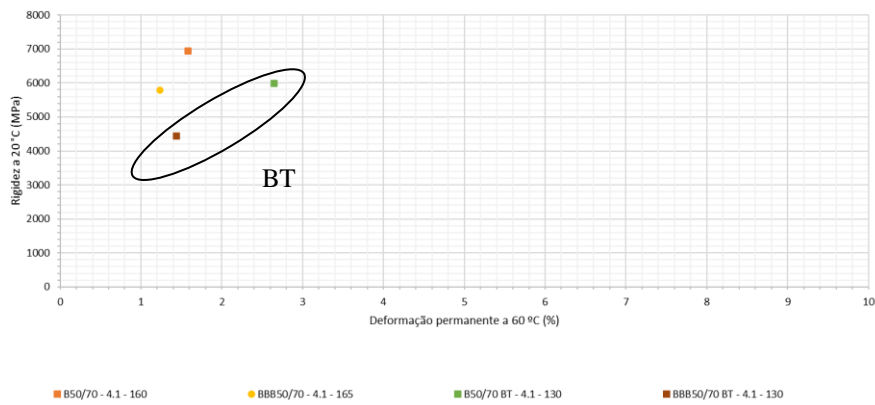


Fig.5. Rigidez vs deformação permanente. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,1%

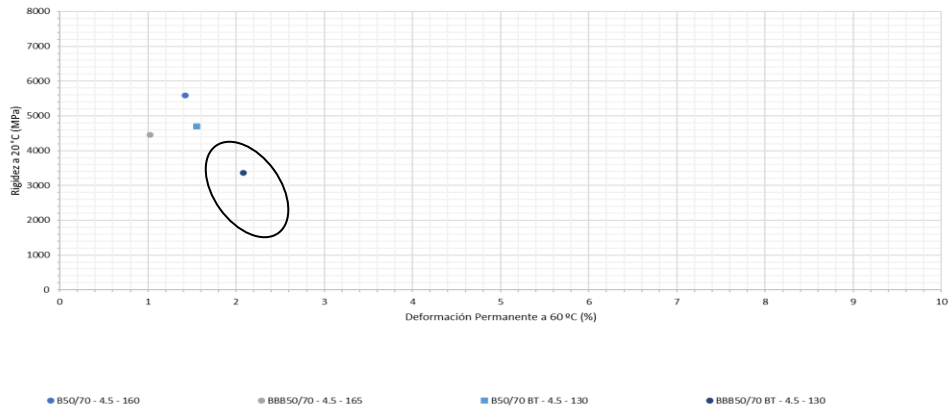


Fig.6. Rigidez vs deformação permanente. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,5%

A análise do volume de vazios e da densidade das misturas AC22, fabricadas com distintos tipos e teores de ligante (Figuras 7 e 8) evidencia que estes parâmetros não são os mais adequados para definir a formulação das misturas, uma vez que não apresentam uma correlação com as propriedades analisadas anteriormente.

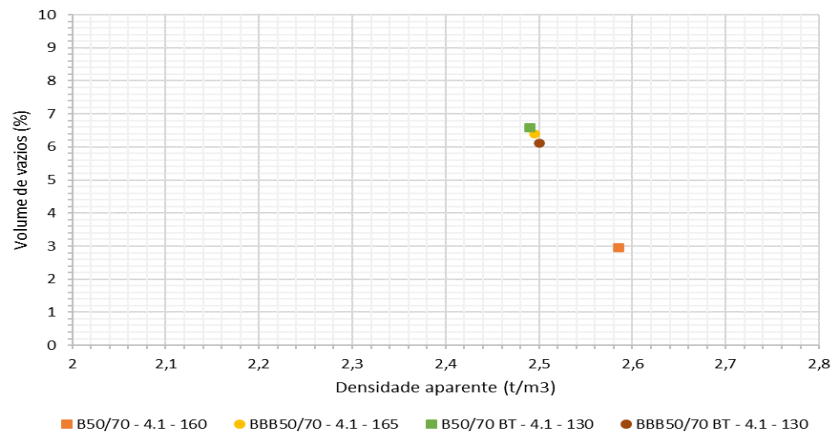


Fig.7. Volume de vazios vs densidade aparente. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,1%

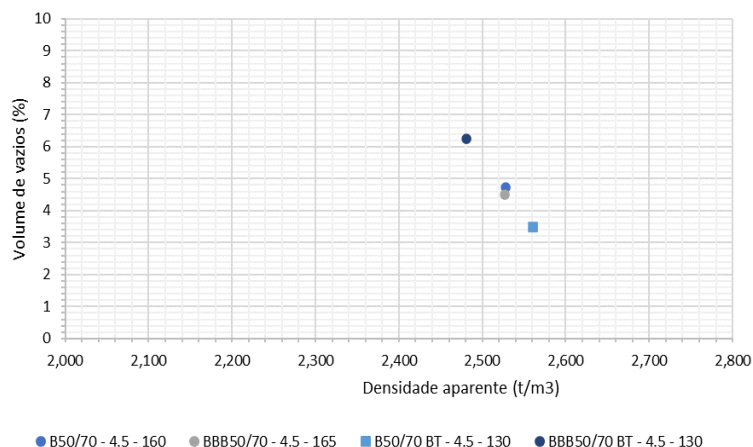


Fig.8. Volume de vazios vs densidade aparente. Misturas AC 22. Teor de ligante: 4,5%

3.2. Misturas BBTM 11B

Tal como no caso das misturas AC 22, observa-se que a redução da temperatura com a qual se fabricaram as misturas BBTM 11B utilizando ligantes BT permite uma trabalhabilidade adequada da mistura, bem como cumprir os requisitos de desempenho das mesmas.

Nas Figuras 9 e 10 observa-se que:

- Incrementar o teor de betume, permite aumentar a resistência à tração indireta e conservada das misturas.
- As misturas, utilizando o ligante incorporando borracha, apresentam uma resistência à tração indireta menor que as misturas utilizando betume modificado com polímeros do tipo SBS.
- As misturas fabricadas com ligantes BT oferecem uma resposta mecânica muito semelhante às misturas fabricadas com ligantes tradicionais a quente.

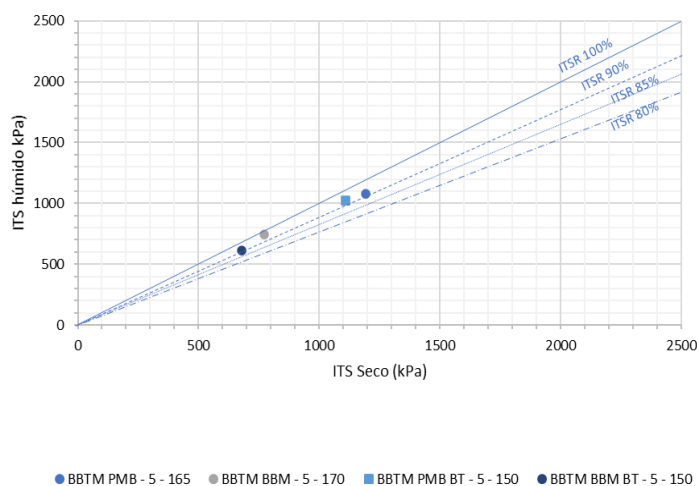


Fig.9. Resistência conservada. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5%

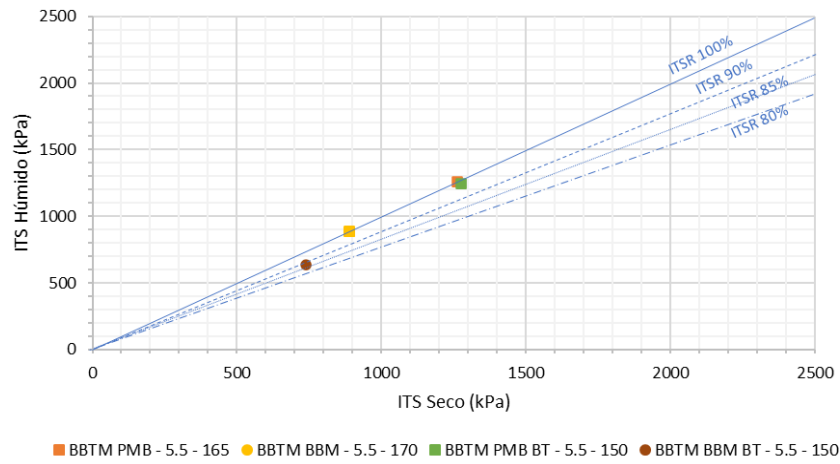


Fig.10. Resistência conservada. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5,5%

Para este tipo de misturas, não se observam alterações relevantes na rigidez nem nas deformações permanentes com a redução da temperatura permitida pelos ligantes BT (Figuras 11 y 12), independentemente do teor de ligante estudado.

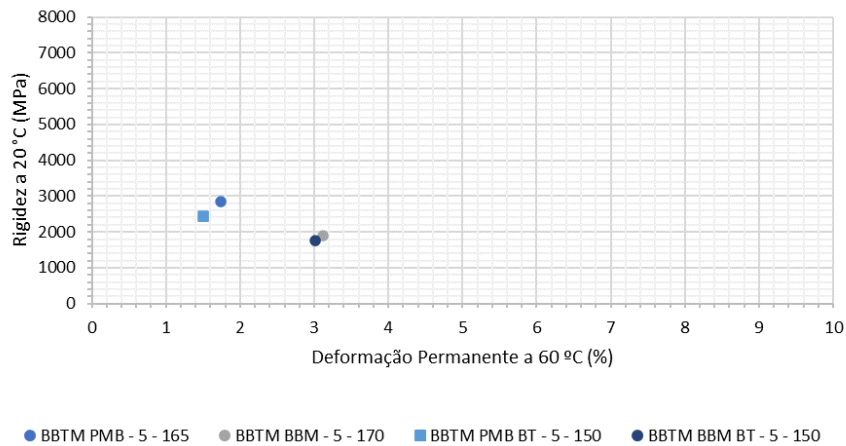


Fig.11. Rigidez vs deformação permanente. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5%

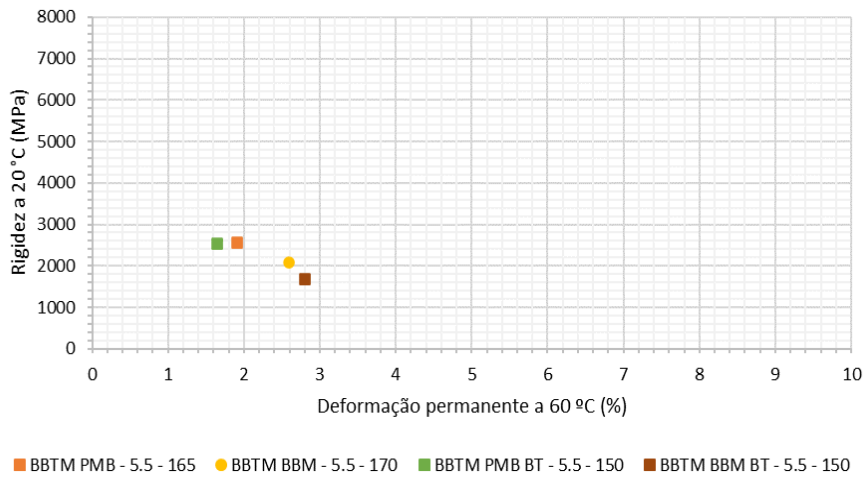


Fig.12. Rigidez vs deformação permanente. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5,5%

A análise do volume de vazios e densidade das misturas BBTM 11B fabricadas com distintos tipos e teor de ligante (Figuras 13 e 14) evidencia uma influência ténue nestes parâmetros, no entanto, as misturas fabricadas com betumes modificados com polímeros apresentam uma maior densidade e um menor volume de vazios, tanto no caso de ligantes tradicionais como no caso dos ligantes BT.

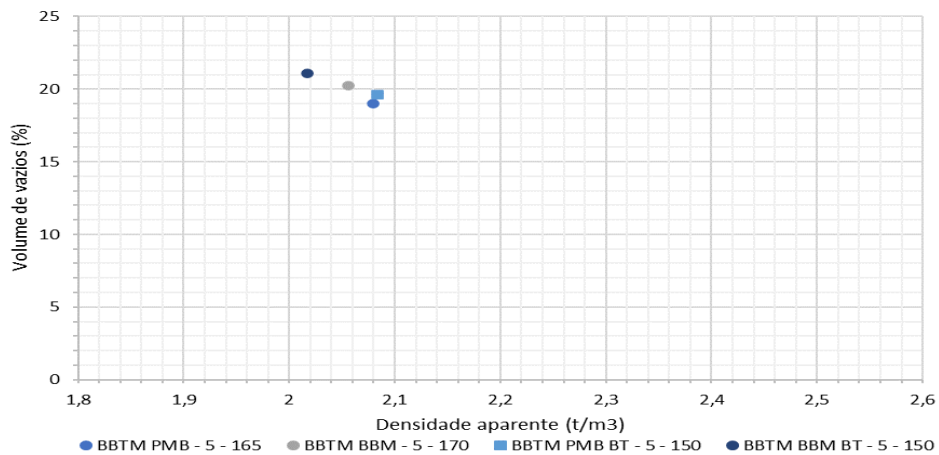


Fig.13. Volume de vazios vs baridade aparente. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5%

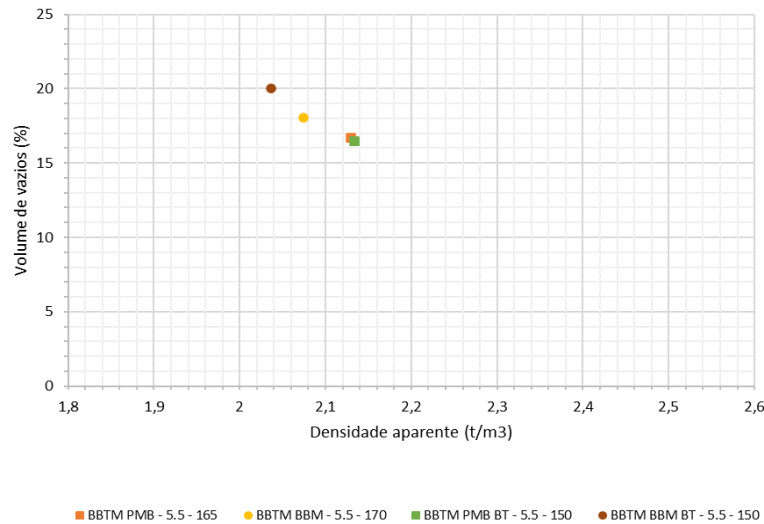


Fig.14. Volume de vazios vs baridade aparente. Misturas BBTM 11B. Teor de ligante: 5,5%

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, podemos dizer que se desenvolveu uma gama de betumes, que inclui desde os betumes de penetração até aos betumes modificados com polímeros e melhorados e modificados com borracha, adequados para o fabrico de misturas a temperaturas iguais ou inferiores a 140 °C.

Este trabalho, no qual foram avaliadas mais de 58 misturas betuminosas, permite obter as seguintes conclusões:

- O volume de vazios e densidade podem não ser os parâmetros de controlo adequados na avaliação das misturas, por não serem suficientemente sensíveis às descidas da temperatura de fabrico de até 40 °C relativamente às temperaturas habituais para misturas a quente. Obtiveram-se valores de rigidez e de resistência conservada muito menores, a temperaturas baixas, onde se tinham alcançado, densidades e volumes de vazios semelhantes. Este motivo deverá ser tido em conta quando se considerar a densidade em obra como índice de qualidade das misturas.
- Do mesmo modo, a resistência conservada na sensibilidade à água pode não ser um parâmetro ótimo por si só. Foi comprovado que, nalguns casos, uma mistura podia apresentar resistências à tração indireta maiores tanto a seco como a húmido que outra e, no entanto, apresentar relações de ITSR menores.
- As misturas a baixa temperatura, como em geral quaisquer outras, requerem uma formulação específica, considerando as temperaturas de trabalho a que se vão fabricar e compactar, de forma que se possa otimizar o seu desempenho, e que os seus teores de ligante e granulometrias conduzam aos melhores resultados. Como tal, podem ser necessários e benéficos, ajustes em ambos (teor de ligante e granulometria), relativamente às misturas convencionais de referência, para assegurar o melhor desempenho possível.
- Este trabalho é um trabalho de continuação, onde nos propomos efetuar uma melhoria do desempenho destes ligantes e misturas, através da incorporação de novos modificadores sustentáveis e métodos de ensaio mais avançados, que permitam obter materiais betuminosos ótimos para a próxima geração de estradas.

5 REFERÊNCIAS

1. EN 16659:2015 Bitumen and Bituminous Binders - Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT)
2. EN 12697-26:2018 annex C. Bituminous mixtures - Test methods - Part 26: Stiffness
3. EN 12697-25:2016, Method B. Bituminous mixtures - Test methods - Part 25: Cyclic compression test Triaxial cyclic compression test.
4. EN 12697-12:2018. Bituminous mixtures - Test methods - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens