

Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas mornas através de ensaios de tração indireta

Mechanical performance evaluation of warm mix asphalt through indirect traction tests

Luana Schuster(1); Francisco Dalla Rosa(2); Tadeu De Cezaro Junior(3)

1 Universidade de Passo Fundo – UPF, Brasil.

E-mail: luana.tschuster@gmail.com

2 Universidade de Passo Fundo – UPF, Brasil.

E-mail: dallarosa@upf.br

3 Universidade de Passo Fundo – UPF, Brasil.

E-mail: decezaro@upf.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 5, n. 2, p. 54-67, Jul.-Dez. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Janeiro 31, 2018; Aceito: Outubro 24, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i2.2434>

Endereço correspondente / Correspondence address
Avenida Primavera, nº 1246, Centro, Gentil-RS, Brasil

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*
Editora: Luciana de Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise comparativa, através de ensaios de tração indireta, dos efeitos da redução da temperatura de produção e de compactação de misturas asfálticas mornas – a partir da incorporação de aditivo químico surfactante – frente a uma mistura asfáltica convencional. Com base na elaboração do projeto de dosagem de uma mistura asfáltica de referência, foi confeccionada uma mistura controle (MDC), a uma temperatura fixa, e, em seguida, compactada sob três faixas de temperatura distintas. Da mesma forma, na elaboração da mistura asfáltica morna (MAM), fixou-se a temperatura de produção, observando uma redução de 10°C em relação à mistura convencional, e, posteriormente, cinco variações na temperatura de compactação (T1-T5). Na análise da resistência à tração indireta, ambas misturas apresentaram sensibilidade às variações de temperatura propostas, reduzindo os valores de resistência à medida em que a temperatura de compactação decaía. Entretanto, quando incorporado o aditivo surfactante à mistura (MAM), obteve-se significativo ganho na resistência à tração por compressão diametral, resultado em valores superiores de resistência para a mistura asfáltica morna, em todas as faixas de temperatura consideradas.

Palavras-chave: Misturas asfálticas mornas. Tração por compressão diametral. Compactação. Aditivo surfactant.

Abstract

This work presents a comparative analysis, through indirect tensile tests, of the effects at production and compaction reduction on the temperature of warm mix asphalt - since the chemical surfactant additive incorporation - in front of a conventional asphalt mixture. Based on the mix design of a reference asphalt mixture, a control mixture was made at a fixed temperature and then compacted under three different temperature ranges. Likewise, in the warm mix asphalt preparation, the production temperature was set, observing a 10° C reduction in relation to the conventional mixture, and, later, five variations in the compaction temperature. In the analysis of the indirect tensile strength, both mixtures showed sensitivity to the proposed temperature variations, reducing the resistance values as the compaction temperature decreases. However, when the surfactant additive was added to the mixture, a significant increase in the diametral compression tensile strength was obtained, resulting in higher resistance values for the warm mix asphalt in all the temperature ranges considered.

Keywords: Warm mix asphalt. Indirect tensile test. Surfactant additive.

1 Introdução

Devido a sua elevada temperatura de usinagem, entre 150 a 170 graus, as misturas asfálticas a quente provocam alta emissão de gases poluentes, prejudiciais tanto à saúde ocupacional quanto ao meio ambiente, além de demandar elevado consumo energético (RUBIO *et al.*, 2011). Somado a isto, altas temperaturas de aquecimento ocasionam o envelhecimento acelerado do ligante asfáltico em função da perda de componentes voláteis e à reação química do asfalto com o oxigênio do ar, ou seja, a oxidação da mistura (LIU; GLOVER, 2015). Esse processo acaba por provocar redução na resistência à fadiga, além de aumentar a suscetibilidade da mistura à ocorrência precoce de trincas.

Por outro lado, o uso de baixas temperaturas de usinagem e compactação pode não garantir o perfeito recobrimento dos agregados pelo ligante asfáltico, comprometendo o desempenho da mistura. Esses fatores motivaram o estudo de concretos asfálticos com temperaturas intermediárias, a fim de garantir melhor desempenho das misturas e contribuir com as questões ambientais.

De acordo com a *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP), no Projeto 09-43, o objetivo das misturas mornas consiste em produzir misturas com resistência, durabilidade e desempenho características às misturas convencionais, utilizando menores temperaturas. Além dos benefícios ambientais e à saúde, provenientes da redução de temperatura, as misturas mornas ainda promovem menor consumo de combustíveis, reduzem o envelhecimento do ligante asfáltico e possibilitam maiores distâncias de transporte da mistura, bem como a compactação a menores temperaturas que as misturas tradicionalmente utilizadas (D'ANGELO *et al.*, 2008; VAITKUS *et al.*, 2016).

Para que se obtenha uma redução da temperatura de produção e compactação de misturas asfálticas, sem decréscimo no desempenho destas em comparação às misturas convencionais, empregam-se, atualmente, mecanismos como aditivos de origem orgânica, aditivos químicos surfactantes e/ou processos de espumejo de asfalto, podendo ser adicionados diretamente ao ligante ou durante o processo de mistura (MOTTA, 2011). Estes processos tendem a reduzir a viscosidade do ligante asfáltico, o que permite a cobertura completa dos agregados pétreos sem que para isso sejam necessárias elevadas temperaturas de usinagem (MELLO, 2012; OTTO, 2009). Devido à diminuição da viscosidade do ligante, as misturas mornas podem atuar como facilitadores no processo de compactação, pois permitem incremento na sua respectiva trabalhabilidade (KRISTJANSDOTTIR, 2006).

A nível nacional, embora exista uma minuta de norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT para misturas asfálticas mornas com uso de aditivo surfactante, datando de agosto de 2016, ainda não há uma normativa

específica vigente. Este fator acaba por inibir o uso desta tecnologia, fazendo com que engenheiros e construtoras acabem optando por utilizar misturas asfálticas convencionais, mesmo frente aos benefícios obtidos pelo uso de misturas mornas.

Este trabalho, por sua vez, visa contribuir com o conhecimento acerca do potencial de redução na temperatura de compactação de misturas asfálticas através da avaliação do desempenho mecânico de corpos de prova moldados a partir de uma mistura asfáltica morna, em comparação a corpos de prova provenientes de uma mistura controle, quando variadas as temperaturas de produção e compactação; bem como verificar as alterações nas propriedades físicas da mistura por meio de ensaios normatizados.

2 Procedimentos metodológicos

O plano experimental pode ser decomposto segundo duas etapas: primeiramente, tem-se a caracterização dos materiais utilizados, realizada por meio de ensaios de granulometria, absorção e massa específica, a fim de enquadrar o material pétreo na Faixa C da Especificação de Serviço 031/2006 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, para posterior obtenção – pela Metodologia Marshall – do teor ótimo de projeto para a mistura em questão.

A segunda etapa consistiu na moldagem (DNER – ME 043/95), baseada no teor ótimo de projeto calculado, de dois tipos de misturas asfálticas: uma mistura asfáltica convencional (HMA) e uma mistura asfáltica morna (WMA) com uso de aditivo surfactante. A mistura convencional, também chamada de mistura controle (MDC), foi produzida a uma temperatura de 150°C e, em seguida, compactada em três temperaturas distintas: 160°C, 140°C e 110°C. Já a mistura morna (MAM), teve sua produção realizada a uma temperatura fixa de 140°C, no entanto, a temperatura de compactação apresentou cinco variações: 140°C, 130°C, 120°C, 110°C e 100°C. Cabe observar que, para cada variação de temperatura, foram moldados três corpos de prova, sendo estes posteriormente submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, conforme preconizado pela normativa DNIT 136/2010 que estabelece a metodologia de ensaio a ser aplicada.

Os agregados utilizados na realização dos ensaios de caracterização, produção da mistura e posterior moldagem dos corpos de prova constituíram-se por fragmentos britados de rochas de origem basáltica, extraídos na cidade de Passo Fundo, região norte do estado do Rio Grande do Sul. Empregou-se, para realização dos ensaios, material pétreo com dimensões compreendidas entre #3/4” (19 mm), #3/8” (9,0 mm) e pó de pedra (4,76 mm). Além disto, de forma a contribuir com o preenchimento dos vazios presentes na mistura, fez-se uso de areia natural extraída da região de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A fim de aumentar a adesividade da mistura, utilizou-se

Cal Hidratada do tipo CH-II (MgO 26,10%); em uma proporção equivalente a 1,5%, fixada na etapa de anteprojeto.

Obteve-se, para combinação granulométrica do projeto, 20% da mistura formada por agregados de #3/4" (19 mm), 25% para agregados de dimensão #3/8" (9 mm), 45% da mistura composta por material do tipo pó de pedra (4,76 mm), 8,5% da composição formada por areia natural e, por fim, totalizando 100% dos constituintes da mistura, tem-se a cal hidratada tipo II, em uma proporção fixada em 1,5%. A Tabela 1 apresenta o resumo desta etapa, bem como os limites normatizados para a curva granulométrica combinada do projeto de dosagem em questão.

Tabela 1. Composição granulométrica combinada

| Mistura | Diâmetro dos Grãos (mm) | Peneiras | Limite Inferior | Limite Superior | Faixa de Trabalho (+) | Faixa de Trabalho (-) |
|---------|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 100% | 25,40 | 1" | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 99,3% | 19,10 | 3/4" | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 87,4% | 12,70 | 1/2" | 80% | 100% | 94% | 80% |
| 79,9% | 9,52 | 3/8" | 70% | 90% | 87% | 73% |
| 55,6% | 4,76 | 4 | 44% | 72% | 61% | 51% |
| 30,9% | 2,00 | 10 | 22% | 50% | 36% | 26% |
| 14,4% | 0,42 | 40 | 8% | 26% | 20% | 10% |
| 6,2% | 0,18 | 80 | 4% | 16% | 9% | 4% |
| 3,4% | 0,074 | 200 | 2% | 10% | 6% | 2% |

As características físicas dos materiais utilizados foram avaliadas por meio de ensaios de laboratório e esses, por sua vez, realizados conforme as normativas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização dos materiais

| Ensaio | Norma | Resultado |
|---|------------------|------------------------|
| Massa Específica Aparente Agregado Graúdo | DNER-ME 081/98 | 2,39 g/cm ³ |
| Massa Específica Real Agregado Graúdo | DNER-ME 081/98 | 2,46 g/cm ³ |
| Absorção Agregado Graúdo | DNER-ME 081/98 | 2,70 % |
| Massa Específica Real Agregado Miúdo | DNER-ME 084/95 | 2,61 g/cm ³ |
| Massa Específica Real Agregado Miúdo | DNER-ME 194/98 | 2,62 g/cm ³ |
| Massa Específica Aparente Areia Natural | NBR NM 52:2009 | 2,44 g/cm ³ |
| Massa Específica Real Areia Natural | ABNT NBR 9776:87 | 2,62 g/cm ³ |
| Massa Específica Real Fíler | DNER-ME 085/94 | 2,53 g/cm ³ |

O ligante asfáltico aplicado para obtenção do teor ótimo de projeto e posterior moldagem dos corpos de prova das misturas com aditivo e sem aditivo caracterizou-se como concreto asfáltico de petróleo CAP 50-70. O uso desta classe de ligante foi

priorizado, pois o mesmo não contém modificadores em sua formulação, o que facilita a avaliação das propriedades do aditivo surfactante adicionado. A Tabela 3 apresenta as características ensaiadas para o CAP e os respectivos valores limites.

Tabela 3. Especificações CAP 50-70

| Ensaio CAP 50-70 | Valor normatizado | Valor ensaiado |
|--|-------------------|----------------|
| Densidade | - | 1,002 |
| Penetração – 100 g, 5s, 25°C (10 ⁻¹ mm) | 50 - 70 | 61,8 |
| Ponto de amolecimento (°C) | 46 (mín) | 48,2 |

O aditivo químico surfactante utilizado corresponde à tecnologia Evotherm^{3G}, produzido pela empresa *MeadWestvaco Asphalt Innovations*, adicionado em um teor correspondente a 0,5% do peso de ligante asfáltico contido na mistura. A Tabela 4 apresenta o resumo das características do projeto de mistura de referência, utilizado para a produção da mistura controle e, também, da mistura modificada.

Tabela 4. Propriedades da mistura de referência

| Propriedade | Valor Normatizado | Valor Utilizado |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Temperatura do ligante (°C) | máx. 177 °C | 153 °C |
| Temperatura do agregado (°C) | temp. ligante + 10 °C | 163 °C |
| Temperatura de compactação (°C) | - | 150 °C |
| Teor de ligante (%) | - | 5,80% |
| Volume de vazios | 3 a 5% | 3,82% |
| Vazios do agregado mineral | > 15 | 16,54% |
| Relação betume/vazios | 75 a 82% | 76,84% |
| Densidade aparente | - | 2,194 |
| Origem do agregado | - | Basáltica |
| Número de golpes aplicados | 75 (intenso) | 75 (intenso) |

3 Discussão dos resultados

O procedimento de moldagem dos corpos de prova seguiu o determinado pela normativa DNER – ME 043/95, utilizando como parâmetros de dosagem os valores correspondentes à mistura de referência. Conforme apresentado, para moldagem dos corpos de prova da mistura controle (MDC), fixou-se a temperatura de produção em 150 °C. Os moldes foram mantidos em estufa para, no momento da compactação, apresentarem a temperatura adequada (equivalente à do material a ser compactado). A temperatura fixada foi a temperatura de preparação da mistura, de 150°C. As variações referem-se a temperatura na qual as amostras foram compactadas. Esta, por sua vez, foi realizada em três temperaturas pré-estabelecidas: 110 °C, 140 °C e 160 °C. Nos dois primeiros casos buscou-se analisar o efeito no desempenho mecânico da mistura,

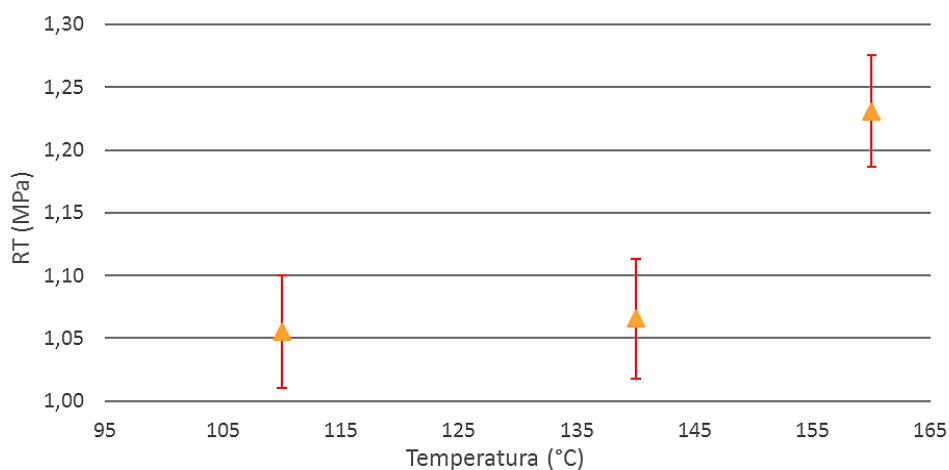
em relação à perda de calor a qual o material está exposto, por exemplo, durante o transporte da massa asfáltica da usina até o campo; ou, então, em um processo de usinagem por etapas. Já o aumento da temperatura de compactação para 160 °C, a partir de uma temperatura de produção de 150 °C procurou avaliar o efeito da elevação da temperatura da mistura acima da temperatura na qual esta foi produzida. Ambas análises são retratadas na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados médios para a mistura controle (MDC)

| Temperatura de compactação (°C) | Resistência à Tração | | Coeficiente de Variação (%) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Indireta Média (MPa) | Desvio Padrão (%) | |
| MDC-160 °C | 1,23 | 4,47 | 3,6 |
| MDC-140 °C | 1,07 | 4,76 | 4,5 |
| MDC-110 °C | 1,06 | 4,47 | 4,2 |

De acordo com a Especificação de Serviço do DNIT 031/2004, o valor mínimo de resistência à tração indireta para misturas de concreto betuminoso usinado a quente – CBUQ é 0,65 MPa. Constatou-se, por meio da análise dos valores obtidos, que à medida que a temperatura de compactação dos corpos de prova é reduzida, consequentemente verifica-se uma tendência à redução no valor da carga suportada pelo corpo de prova durante o ensaio. Os dados apresentados na Tabela 5 foram validados por meio do cálculo do desvio padrão das amostras e do coeficiente de variação apresentado pelas mesmas, possibilitando a plotagem de forma gráfica, a fim de facilitar o balanço dos resultados (Figura 1).

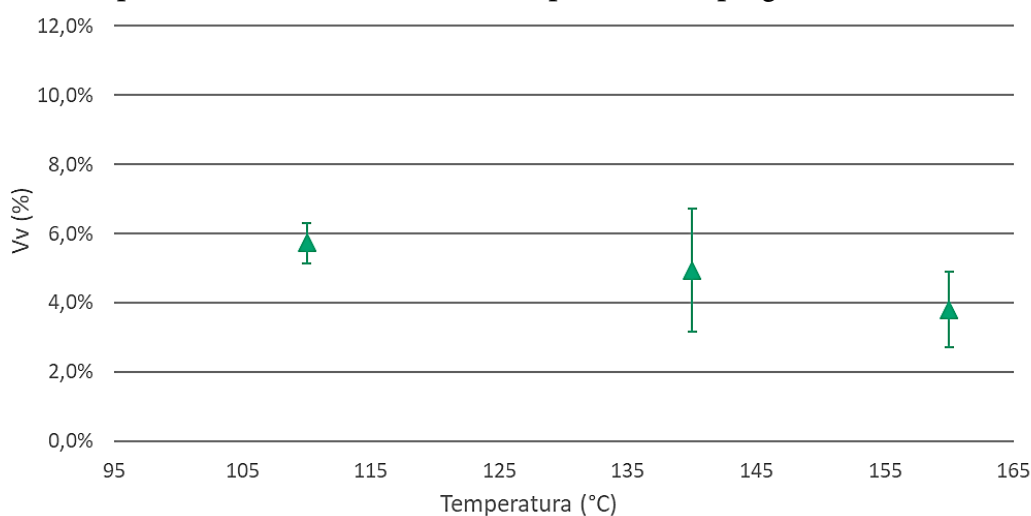
Figura 1. Análise dos resultados de resistência à tração indireta médios da mistura controle



No que tange a características como volume de vazios, observou-se o aumento gradativo dos vazios da mistura controle após a compactação da mesma à medida em

que a temperatura de ensaio decrescia. Este fator pode estar relacionado à viscosidade do ligante asfáltico, visto que esta propriedade está diretamente ligada à temperatura na qual a mistura é produzida e compactada. À medida em que as temperaturas são reduzidas, o concreto asfáltico apresenta maior densificação, que, por sua vez, intervém na trabalhabilidade (e no volume de vazios) da mistura, conforme observado na Figura 2. Entretanto, este fator pode – também – estar condicionado a um erro de execução de laboratório para uma das amostras, ocasionando uma maior dispersão no resultado (cuja verificação seria necessária, por meio de uma replicata e posterior conferência).

Figura 2. Análise do volume de vazios da mistura controle para as diferentes faixas de temperatura empregadas



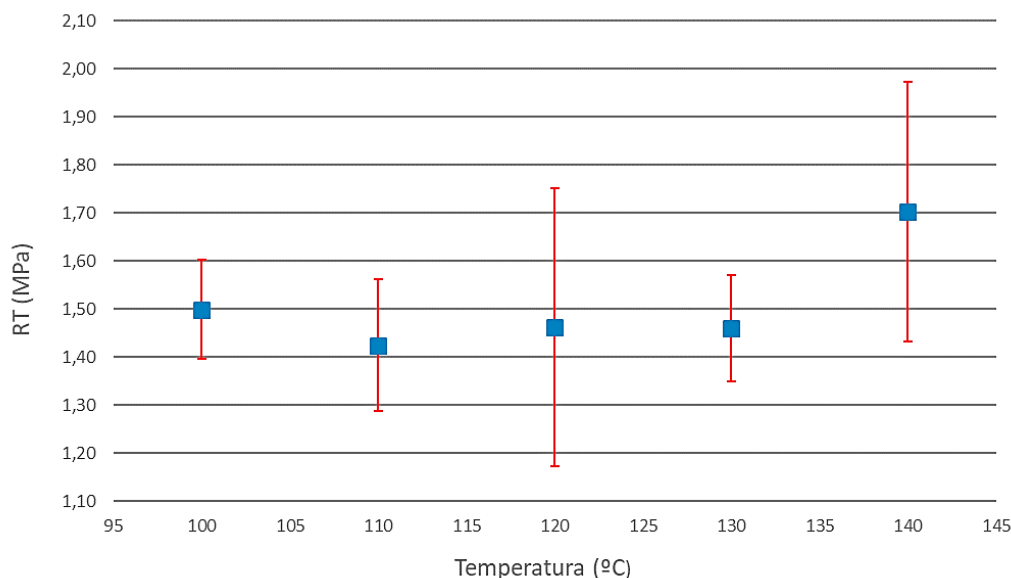
Assim como para a mistura controle, a produção dos corpos de prova referentes à mistura modificada se deu a partir de uma temperatura fixa, neste caso 140 °C. Propôs-se uma redução de 10 °C em relação à temperatura de produção da mistura asfáltica controle, com a finalidade de verificar o desempenho da mistura quando reduzidas as temperaturas características da mesma (produção e compactação). A temperatura de compactação apresentou cinco variações: 140°C, 130°C, 120°C, 110°C e 100°C.

Constata-se que, a partir do emprego de aditivo surfactante, o efeito no desempenho da mistura asfáltica provocado pela redução da temperatura da mistura tende a ser suprimido. A Tabela 6 apresenta os valores de resistência à tração por compressão diametral médios para cada faixa de temperatura ensaiada para a mistura asfáltica morna. Além disto, é apresentada também a análise estatística dos resultados, por meio do desvio padrão da amostragem e respectivo coeficiente de variação. Entretanto, para as misturas compactadas em temperaturas de 120°C e 140°C, observa-se maior dispersão dos resultados, que apresentaram valores de desvio padrão superior ao valor médio das demais amostras.

Tabela 6. Resultados de resistência à tração indireta para a mistura morna (MAM)

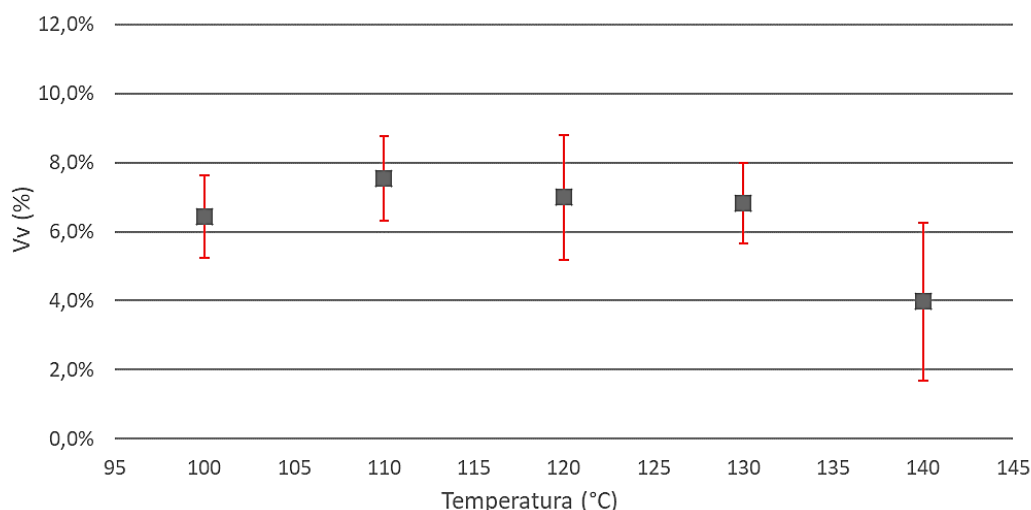
| Temperatura de compactação (°C) | Resistência à Tração | | Coeficiente de Variação (%) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Indireta Média (MPa) | Desvio Padrão (%) | |
| MAM-100 | 1,50 | 10,36 | 6,90 |
| MAM-110 | 1,42 | 13,71 | 9,60 |
| MAM-120 | 1,46 | 28,93 | 19,80 |
| MAM-130 | 1,46 | 11,07 | 7,60 |
| MAM-140 | 1,70 | 26,99 | 15,90 |

A Figura 3 evidencia os resultados relativos as cinco variações de temperatura propostas, além do intervalo (\pm) referente ao desvio padrão das amostras

Figura 3. Análise gráfica dos resultados de resistência referentes à mistura morna

No controle de volumes de vazios, ao contrário do esperado, as amostras não apresentaram comportamento uniforme em todas as faixas de temperatura. Por exemplo: para a temperatura mínima de 100 °C obteve-se um volume de vazios de 6,43% enquanto que, para uma elevação de temperatura de 10°C, constatou-se um aumento de aproximadamente 17% no volume de vazios da mistura compactada (estando a mesma 30 °C inferior a temperatura de produção). Já um aumento de 10°C em relação à temperatura de 110°C, produziu uma redução de cerca de 9% do volume de entre amostragens médias. Esta variação estaria relacionada ao processo de moldagem e compactação dos corpos de prova em laboratório bem como o controle da temperatura, e não propriamente ao emprego do aditivo surfactante, visto que este comportamento tende a reduzir gradativamente a partir da temperatura de 110 °C, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Volume de vazios referente às faixas de temperatura médias ensaiadas para a mistura asfáltica morna

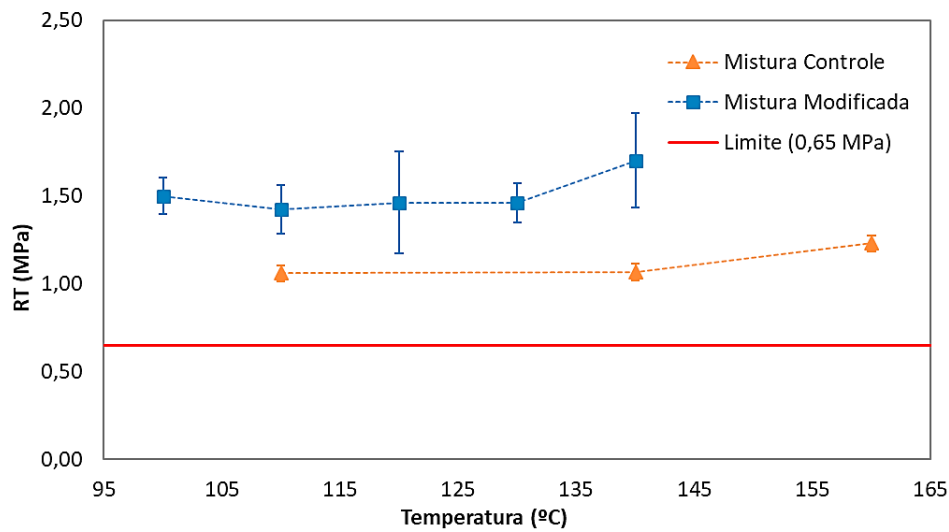


Confrontando os valores de resistência à tração indireta obtidos através da produção das misturas de controle e modificada, observou-se que, para uma redução de 10°C na temperatura de produção da mistura morna em relação à convencional e, além desta, para as variações propostas na temperatura de compactação, os resultados relativos à mistura morna apresentaram-se superiores aos obtidos pela mistura convencional. Embora para todos os corpos de prova ensaiados os valores de resistência à tração por compressão diametral tenham respeitado os limites mínimos apresentados pela normativa ES 031/2004, ou seja, 0,65 MPa, constatou-se que, ao promover a redução da temperatura de produção e compactação o volume de vazios das amostras foi superior ao normatizado pela normativa citada (exceto para a temperatura de 140°C), que estabelece os valores limites de 3% e 5% para aplicação em camadas de rolamento.

O estudo de Mello (2011), apontou desempenho superior para misturas contendo aditivo químico surfactante em termos de resistência à tração indireta em amostras submetidas ao dano por umidade induzida. Dentre as misturas estudadas em sua dissertação, $T1_{mcbta}$ e $T4_{bcpta}$ contendo 1,5% de cal e 0,5% de Evotherm ficaram dentro do limite de 70% preconizado pela especificação brasileira, enquanto a mistura a quente $T3_{mqse}$, sem cal, apresentou desempenho inferior ao normatizado, assim como a mistura $T5_{bcpta}$ com incorporação de Evotherm e sem adição de cal.

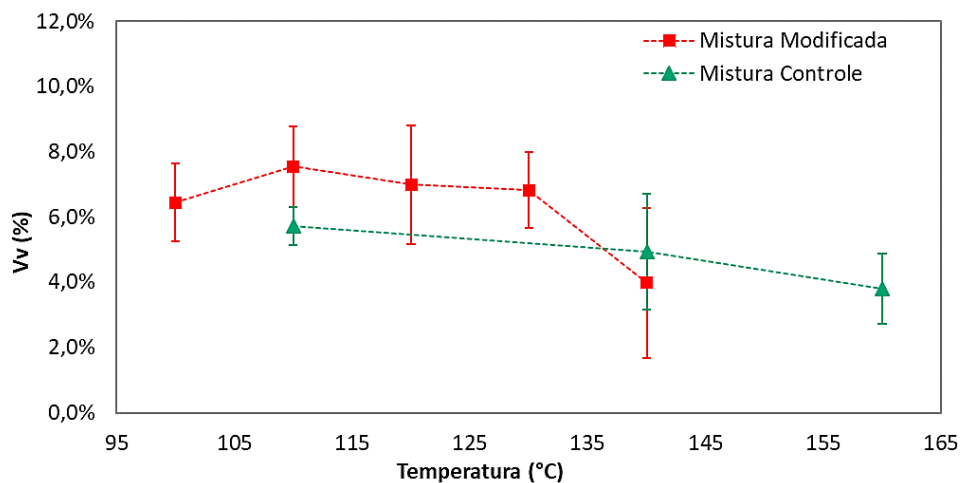
Além do incremento proporcionado no desempenho da mistura, pelo aumento da resistência à tração por compressão diametral, ressalta-se que esta elevação não se apresenta de forma acentuada – o que, caso seja identificado, pode desencadear um aumento excessivo da rigidez da mistura em campo – comprometendo o seu desempenho ao longo da vida útil. A Figura 5 apresenta o comparativo entre resultados, para ambas as misturas ensaiadas.

Figura 5. Comparativo entre misturas para resultados de resistência à tração por compressão diametral



Já para parâmetros como volume de vazios observou-se que, para a mistura convencional, à medida em que a temperatura de compactação é reduzida, tem-se a tendência de aumento do volume de vazios da mistura, em função da maior densificação da mistura e – consequentemente – interferência na trabalhabilidade apresentada. Quando analisado o volume de vazios médio para a mistura modificada, percebe-se que, pela Metodologia Marshall, este resultado apresenta-se maior em comparação a mistura convencional. Ainda que, a partir de 110 °C o volume de vazios tenha apresentado comportamento similar ao da mistura convencional, passando a decair à medida em que a temperatura de compactação aumenta.

Figura 6. Comparativo do volume de vazios para ambas misturas



Motta (2011), em sua tese, também observou um aumento no volume de vazios da mistura asfáltica modificada em relação à HMA (Vv 6,3% para HMA e Vv 6,6% WMA, com redução para 6,1% e 5,8% de Vv na mistura morna quando acrescentados

0,2% e 0,4% no teor de ligante de projeto). Entretanto, este aumento é apenas verificado quando os corpos de prova são compactados por impacto. Em uma compactação por amassamento (Metodologia Superpave e/ou Mesa Compactadora), observou-se que a mistura morna apresentou volume de vazios inferior aos obtidos pela compactação da mistura controle.

4 Considerações finais

A avaliação do desempenho quanto a resistência à tração por compressão diametral das misturas asfálticas para as diferentes temperaturas de produção e de compactação, demonstra que o uso de aditivo químico surfactante como facilitador do processo de redução da temperatura se dá de forma efetiva. Entretanto, observou-se maior variação nos resultados, estando este fator possivelmente associado ao procedimento de moldagem e controle da temperatura empregados em laboratório, que conduziram a uma maior dificuldade de adequada compactação. Ainda assim, pressupõe-se que, em uma situação hipotética, o impacto da perda de calor sofrida pela mistura asfáltica morna em maiores distâncias de transporte é inferior ao ocasionado no caso de uma mistura convencional, pois a presença do aditivo surfactante impele uma redução do efeito da queda da temperatura nas propriedades da mistura asfáltica, mantendo o desempenho da mistura asfáltica morna superior.

No que concerne ao volume de vazios da mistura, observou-se um maior volume de vazios para a mistura modificada com o uso de aditivo surfactante, embora o comportamento das duas misturas tenha sido semelhante: à medida em que a temperatura de compactação aumentava, o volume de vazios reduzia. No entanto, para uma análise efetiva do volume de vazios e da trabalhabilidade da mistura morna, deve-se prever um tempo de condicionamento da mistura em estufa, previamente à compactação, para que ocorra um “processo de cura” entre o ligante, o aditivo e o agregado. Desta forma ambos atingem uma temperatura uniforme, na qual é possível avaliar com maior precisão a alteração da viscosidade e lubricidade do ligante asfáltico proporcionada pelo uso do aditivo. Para uma avaliação efetiva do comportamento da mistura modificada, propõe-se a análise através de uma metodologia de compactação por amassamento, o que permite caracterizar o desempenho da mistura de maneira mais próxima ao real comportamento de campo.

Referências

- BONAQUIST, Ramon; TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Mix Design Pratices for Warm Mix Asphalt*. National Cooperative Highway Research Program - NCHRP Report 691. Virginia, 2011.
- D'ANGELO, John; HARM, Eric; BARTOSZEK, John; BAUMGARDNER, Gaylon; CORRIGAN, Matthew; COWSERT, Jack; HARMAN, Thomas; JAMSHIDI, Mostafa; JONES, Wayne; NEWCOMB, Dave; PROWELL, Brian; SINES, Ron and YEATON, Bruce. *Warm-Mix Asphalt: European Pratices*. International Technology Scanning Program. Federal Highway Administration. Virginia, 2008.
- KRISTJANSDDOTTIR, Olof. *Warm mix asphalt for cold weather paving*. Masters Dissertation. University of Washington. Seattle, 2006.
- LIU, Guanlan; GLOVER, Charles J. A study on the oxidation knetics of warm mix asphalt. *Chemical Engineering Journal*, v. 280, p. 115-120, 2015.
- MELLO, Daniella. *Avaliação da adição de evotherm no comportamento de misturas asfálticas em laboratório e no desempenho em campo*. 261p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2012.
- MERIGHI, Cecília Fortes. *Estudo do comportamento de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimento com adição de borracha moída de pneu*. 201p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)-Universidade de São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- MOTTA, Rosângela S. *Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético*. 229p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes)-Universidade de São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011a.
- _____. *Misturas mornas: Redução de Emissão de Poluentes e Economia de Energia*. Workshop de Avaliação dos Objetivos da Produção de Asfaltos. WAOP. São Paulo, 2011b.
- NORMA DNER_ ME 043/95. *Dosagens de misturas asfálticas*. Mistura betuminosas a quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. DNER_ ME 138/94 - *Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Rio de Janeiro, 1994.
- NORMA DNIT 031/2004_ES - *Concreto asfáltico. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico – Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. DNIT 095/2006_ME - *Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação do material*. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. DNIT 136/2010_ME - *Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 2010.

OTTO, Gustavo G. *Misturas asfálticas mornas - Verificação da Fadiga e do Módulo Complexo*. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009.

RUBIO, M. Carmen; MARTÍNEZ, Germán; BAENA, Luis; MORENO, Fernando. Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production*, v. 24, p. 76-84, 2011.

VAITKUS, Audrius; CYGAS, Donatas; LAURINAVICIUS, Alfredas; VOROBJOVAS, Viktoras; PERVENECKAS, Zigmantas. Influence of warm mix asphalt technology on asphalt physical and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, p. 800-806, 2016.