

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COM ADIÇÃO DO CCBIT

Talita Miranda de Sousa
Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena
Jonny Dantas Patrício
Daniel Beserra Costa
Edilza Rakel Nóbrega
Conrado Cesar Vitorino Pereira da Silva
Universidade Federal de Campina Grande

RESUMO

Em busca de aliar novas tecnologias e sustentabilidade, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas acerca da utilização de misturas asfálticas mornas, nas obras de Engenharia Civil, que resultam em reduções das temperaturas de usinagem e de compactação, sendo desta forma uma alternativa menos impactante ao ambiente, na produção de revestimentos asfálticos. Esta pesquisa objetivou-se em avaliar o efeito da variação da temperatura de compactação de misturas asfálticas modificadas com 2% de CCBit, o que implica uma redução do consumo de energia. O método de dosagem utilizado baseia-se na metodologia SUPERPAVE. O processo foi realizado em três temperaturas diferentes, a primeira determinada a partir dos resultados do ensaio de Viscosidade Rotacional e as outras duas, 10 e 20°C, abaixo. Os resultados mostraram que é possível reduzir a temperatura de compactação do CAP+2%CCBit, e mesmo com algumas variações das propriedades mecânicas da mistura, existem ganhos significativos em termos de gasto energético.

ABSTRACT

In search of combining new technologies and sustainability, several researches have been developed about the use of warm asphalt mixtures, in Civil Engineering works, which result in reduction of machining and compaction temperatures, thus being a less impactful alternative to the environment, in the production of asphalt coatings. This research aimed to evaluate the effect of the variation of the compaction temperature of modified asphalt mixtures with 2% CCBit, which implies a reduction of energy consumption. The dosage method used is based on the SUPERPAVE methodology. The process was performed at three different temperatures, the first determined from the results of the Rotational Viscosity test and the other two, 10 and 20 ° C, below. The results showed that it is possible to reduce the compaction temperature of CAP + 2% CCBit, and even with some variations of the mechanical properties of the mixture, there are significant gains in energy expenditure.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o Brasil, apesar de possuir dimensões continentais é um país predominantemente rodoviário, o que motiva a busca por métodos de pavimentação que permitam suprir as necessidades do modal unindo qualidade e baixos custos, sem deixar de lado a preocupação com a emissão de gases causadores do efeito estufa e as condições climáticas, atuais e futuras.

Na produção de misturas asfálticas a quente as temperaturas de usinagem e compactação, estão geralmente entre 150°C e 180°C, de forma a garantir estabilidade e durabilidade ao pavimento, no entanto, para atingir essas temperaturas torna-se necessária a geração de energia por meio da queima de combustíveis, durante o processo de usinagem.

Diante deste problema surgem as misturas asfálticas mornas ou MAM (Warm Mix Asphalt – WMA). Que reduzem essas temperaturas e conseqüentemente, a queima de combustíveis diminuindo a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa surgiram

Essas misturas são produzidas utilizando temperaturas intermediárias, entre 100°C e 145 °C, isso é possível devido ao uso de aditivos (asfalto espumado, zeólitas, entre outros) que permitem melhores condições de trabalho e menores danos ambientais, além dos ganhos em qualidade e durabilidade, como a trabalhabilidade da mistura a menores temperaturas (BUDNY, 2012).

A busca por tecnologias que permitissem o uso das misturas asfálticas a temperaturas inferiores surgiu no início dos anos 90 na Europa, a partir da preocupação com a exposição de seus trabalhadores a fumos do asfalto, e na tentativa de cumprir as metas estabelecidas pelo protocolo de Kyoto.

Já no início dos anos 2000 os norte-americanos, por meio do FHWA (Federal Highway Administration), em conjunto com a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e a NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) também buscaram essa tecnologia visando os benefícios ambientais e humanitários (MOTTA, 2011).

Estudos têm mostrado os benefícios em relação às questões ambientais, à saúde dos trabalhadores e a qualidade final do material, em consequência da redução das temperaturas de usinagem e compactação das misturas mornas. No entanto, faz-se necessária uma análise completa das novas propriedades do material, mecânicas e reológicas para garantir assim a sua viabilidade técnica e econômica (MOTTA, 2011, BUDNY, 2012, etc).

Pesquisas vêm sendo realizadas sobre a utilização de misturas mornas, tanto no cenário nacional como internacional. No Brasil, os estudos desse tipo de tecnologia iniciaram-se com fins acadêmicos.

O aditivo utilizado nesta pesquisa, o CCB_{it}, é um éster metílico de ácido graxo que apresentou resultados satisfatórios na redução da viscosidade dos ligantes asfálticos, (Sales 2015; Silva 2016) o que conseqüentemente gera melhores condições de trabalho para os operários, além de reduzir gastos no processo de usinagem e compactação. Diante disso, o mesmo apresenta potencial para ser empregado como aditivo na produção de misturas asfálticas mornas.

Nesse contexto, esta pesquisa propõe um estudo sobre as propriedades mecânicas de misturas asfálticas modificadas com o aditivo e compactadas a temperaturas inferiores as usuais, que são obtidas por meio do ensaio de viscosidade rotacional (Sales 2015; Silva 2016) contribuindo então para a ampliação e consolidação do conhecimento sobre este tipo de tecnologia no país.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Misturas Asfálticas

2.1.1. *Misturas Asfálticas mornas.*

A tecnologia de Misturas Asfálticas Mornas se apresenta como um produto alternativo, por ser ecologicamente menos agressiva quando comparado com outras tecnologias, principalmente as misturas a quente (KOENDERS et al, 2000). A utilização dessa tecnologia visa reduzir as altas temperaturas de usinagem e compactação, garantindo ainda que as propriedades da mistura asfáltica não sejam afetadas adversamente. As misturas mornas são produzidas utilizando temperaturas intermediárias. Para essas misturas a temperatura final de usinagem é na faixa de 60°C a 100°C.

Segundo Budny et al (2012) para se chegar a uma mistura asfáltica morna pode tanto haver modificação no processo produtivo, como no ligante asfáltico utilizado. Técnicas de processamento e produtos de marca comercial registrada foram desenvolvidos para se obter a produção das misturas asfálticas mornas, como o uso de zeólitas, naturais ou sintéticas, parafinas, ceras e produtos orgânicos.

No Brasil estudos que envolveram essas tecnologias desenvolveram-se mais tardiamente, em meados de 2006, onde Souza Filho publica um dos primeiros trabalhos sobre misturas mornas (MOTTA, 2011). Mais tarde Otto (2009) realiza estudos para verificar a fadiga e o módulo complexo em misturas asfálticas mornas. Motta (2011) elaborou um estudo visando avaliar a diminuição do consumo energético e da emissão de poluentes gerados pelas misturas mornas em comparação com as misturas produzidas em temperaturas convencionais.

Nesse contexto, vários processos que podem ser utilizados, para a obtenção das misturas asfálticas mornas. Os mais utilizados são: aditivos orgânicos ou ceras, aditivos surfactantes e asfalto espumado.

2.1.1.1. Aditivos Orgânicos Ou Ceras

Os Aditivos Orgânicos Ou Ceras ao serem incorporados ao ligante possuem a capacidade de reduzir a viscosidade, já que promovem a alteração das propriedades reológicas. É importante observar a temperatura na qual ocorre o ponto de amolecimento do ligante, assim como a temperatura que o pavimento será submetido durante a sua vida útil a fim de se escolher o melhor tipo e a taxa de aditivo orgânico utilizado para a produção da mistura morna, no intuito de se obter uma redução do risco de deformação permanente e também minimizar o potencial de trincamento por baixas temperaturas (PROWELL e HURLEY, 2007). Os aditivos orgânicos podem ser incorporados antes e durante a usinagem, resultando em uma redução da temperatura de mistura em cerca 30 a 40°C.

2.1.1.2. Aditivos Surfactantes

Os aditivos surfactantes atuam fortemente na adesividade do material, agindo na interface agregado/ligante, promovendo ganhos no cobrimento e na trabalhabilidade das misturas mornas. No entanto, diferente dos aditivos orgânicos, estes não alteram as propriedades reológicas do ligante e segundo Hanz (2010) foram realizados ensaios que comprovam tal fato, mas foram verificadas diferenças nas propriedades de lubrificação do asfalto. Esse tipo de aditivo pode ser introduzido previamente ao ligante ou durante a usinagem. De acordo com a tecnologia utilizada torna-se possível a redução da temperatura de usinagem por volta de 30°C à 40°C.

2.1.1.3. Asfalto Espumado

O asfalto espumado é uma tecnologia que tem por objetivo proporcionar uma reação térmica entre a água em sua temperatura ambiente e o ligante aquecido, gerando a espuma de asfalto que por sua vez irá auxiliar no recobrimento do asfalto e na trabalhabilidade da mistura asfáltica. A reação entre o ligante e a água altera a viscosidade do ligante, permitindo desta forma a redução da temperatura de usinagem e facilitando a compactação em campo (CHOWDHURY e BUTTON, 2008).

Nas tecnologias que fazem uso deste recurso, a água deve ser introduzida no processo de usinagem por injeção direta, por agregado úmido ou na forma de material hidrofílico como as zeólitas. Quando esta água se dispersa no asfalto aquecido tornando-se vapor ocorre a expansão do ligante, que resulta na diminuição da viscosidade da mistura (PROWELL e HURLEY, 2007).

Segundo Bispo (2013), este tipo de processo mostra-se eficaz tanto para os ligantes convencionais como para os modificados, podendo ainda ser utilizado na reciclagem de pavimentos. Ocorre uma redução de 60% na emissão de gases para a atmosfera, além dos ganhos energéticos girarem em torno de 30%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1. Ligante asfáltico

O ligante asfáltico utilizado na pesquisa foi o 50/70, que é o tipo de ligante asfáltico utilizado na região Nordeste, com caracterização física apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do ligante

| Característica | Ligante Puro | Limites | Norma |
|------------------------------------|--------------|------------|-----------|
| Penetração(0,1mm) | 52 | 50 -70 | NBR-6576 |
| Ponto de amolecimento(°C) | 48 | 46(mín.) | NBR-6560 |
| Viscosidade Rotacional 135 °C (cp) | 435,0 | 274 (mín.) | NBR-15184 |
| Viscosidade Rotacional 150 °C (cp) | 215,0 | 112 (mín.) | NBR-15184 |
| Viscosidade Rotacional 177 °C (cp) | 78,0 | 57 – 285 | NBR-15184 |

3.1.2 Agregados

Os agregados utilizados para a preparação das misturas asfálticas foram a brita 19mm, brita 12,5mm e pó de pedra, todos proveniente de uma jazida localizada na cidade de Gurinhém, Paraíba, além de areia e cal hidratada (fíler).

3.1.3. CCBIt 113AD

O aditivo CCBIt-113AD (Figura 1) utilizado nesta pesquisa foi fornecido pelo DNIT/BA, na forma de pó. É produzido na Alemanha pelo Dr. Hutschenreuther, sendo um material pouco estudado no Brasil, e foram seguidas as recomendações de uso indicadas pelo fabricante – a temperatura ideal para mistura do ligante e do CCBIt é de 190 °C e deve ser constante. O tempo de mistura deve ser entre 25 e 40min. A quantidade de CCBIt a ser adicionada ao ligante comum deve estar entre 2,0 a 3,5% do peso do ligante. A mistura deve ser feita com equipamento de alta rotação, e o aditivo deve ser adicionado lentamente, em pequenas frações –. O teor utilizado neste estudo foi de 2%, escolhido com base nos estudos de Sales (2015) e Silva (2016), que mostraram que o teor ideal de CCBIt está entre 2 e 2,5% tendo em vista que estes teores apresentaram bons resultados em termos de resistência e uma redução média de 5°C na temperatura de usinagem e compactação.



Figura 1: CCBit 113AD

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização do agregado

As propriedades físicas dos agregados foram encontradas por meio da realização dos ensaios de massa específica do agregado graúdo e miúdo (DNIT-ME 081/98 e DNIT-ME 084/95, respectivamente) e abrasão Los Angeles (DNIT 035/98 - ME).

3.2.1.1. Granulometria

O resultado do ensaio de granulometria dos agregados graúdos e miúdos (DNIT-ME 083/98) está demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Distribuição granulométrica obtidas por meio do ensaio

| Peneira (N) | Peneira (mm) | Quantidade passante acumulada (%) | | | |
|-------------|--------------|-----------------------------------|------------|--------|-------------|
| | | Brita 19 | Brita 12,5 | Areia | Pó de Pedra |
| 1 1/2" | 38,1 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1" | 25,4 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 3/4" | 19,1 | 90,30 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1/2" | 12,7 | 22,24 | 95,26 | 100,00 | 100,00 |
| 3/8" | 9,5 | 0,60 | 60,63 | 98,30 | 99,80 |
| Nº 4 | 4,8 | 0,14 | 15,52 | 96,78 | 97,04 |
| Nº 10 | 2 | 0,14 | 10,38 | 90,07 | 65,45 |
| Nº 40 | 0,42 | 0,14 | 9,41 | 26,77 | 31,75 |
| Nº 80 | 0,18 | 0,13 | 7,48 | 2,77 | 19,79 |
| Nº 200 | 0,074 | 0,12 | 3,93 | 0,50 | 9,89 |

3.2.1.2. Massa específica e abrasão de Los Angeles

A realização dos ensaios de massa específica do agregado graúdo e miúdo (DNIT-ME 081/98 e DNIT-ME 084/95, respectivamente) e abrasão Los Angeles (DNIT 035/98 - ME). Estão demonstrados na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Propriedades físicas dos agregados

| Agregado | Massa Específica Real (g/cm ³) | Massa Específica Aparente (g/cm ³) | Abrasão Los Angeles (%) |
|-------------|--|--|-------------------------|
| Brita 19 | 2,72 | 2,70 | 17,4 |
| Brita 12,5 | 2,76 | 2,74 | 25,4 |
| Areia | 2,56 | - | - |
| Pó de Pedra | 2,56 | - | - |

3.2.2. Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo

Para a caracterização do CAP foram utilizados os ensaios de Viscosidade Rotacional (ABNT NBR 15184/2007), Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560/2008) e Penetração (ABNT NBR 6576/1998).

3.2.3. Dosagem

A dosagem utilizada nesta pesquisa foi baseada no método *SUPERPAVE* (*SU*perior *PER*forming asphalt *PAVE*ments) teve início com a definição da composição granulométrica da curva de Fuller, a partir destas proporções associado às características físicas dos agregados, foram compactados os corpos de prova com variação sobre o teor inicial de 5,0% de ligante, nas seguintes proporções: $\pm 0,5\%$ e $+1\%$, ou seja: 4,5%; 5,0%; 5,5% e 6,0%.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros volumétricos. Estes parâmetros permitiram a definição do teor de projeto do ligante, o qual foi usado na composição das misturas, compactadas na temperatura de compactação encontrada e, em temperaturas de 10°C e 20°C abaixo da mesma, para a avaliação das propriedades mecânicas.

Tabela 4: Parâmetros Volumétricos obtidos em função dos teores de ligante iniciais

| Teor De Ligante | %Gmm | %Vvp | %Vam | %RBV | Massa específica (g/cm ³) |
|-----------------|-------|------|-------|-------|---------------------------------------|
| 4,50% | 93,65 | 6,35 | 16,67 | 75,30 | 2,544 |
| 5,00% | 94,96 | 5,04 | 16,37 | 75,24 | 2,531 |
| 5,50% | 96,00 | 4,00 | 16,66 | 76,00 | 2,508 |
| 6,00% | 98,18 | 1,82 | 16,21 | 75,97 | 2,479 |

De acordo com a norma DNIT 031/2004, para a faixa C, o volume de vazios deve estar situado entre 3 e 5 %. Pelo gráfico abaixo (Figura 2) nota-se que o valor de volume de vazios utilizado para encontrar o teor de ligante foi de 4%, resultando num teor de 5,5%. Em relação ao RBV, o limite estabelecido por norma é entre 75 e 82%, logo o valor encontrado está de acordo.

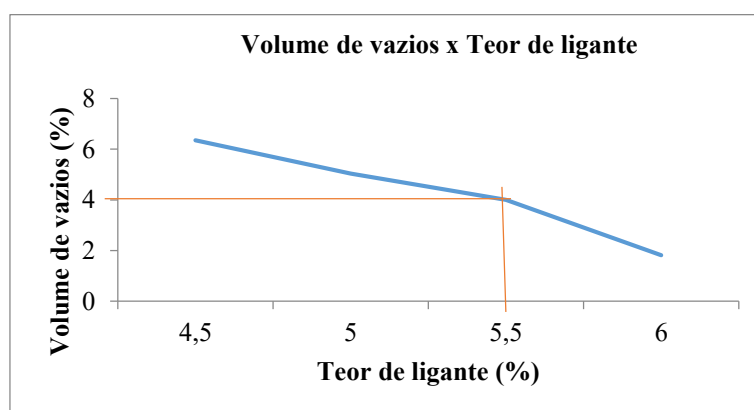


Figura 2: Gráfico volume de vazios *versus* teor do ligante

3.2.4. Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica foram realizados os ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT), Módulo de Resiliência (MR) e Resistência ao Dano por Umidade Induzida – Lottman Modificado. A Tabela 5 indica as normas utilizadas para cada ensaio.

Tabela 5: Ensaio caracterização mecânica e respectivas normas

| Ensaio | Normas |
|-----------------------|-----------------------------|
| Resistência à Tração | DNIT ME 136/2010 |
| Módulo de Resiliência | NBR 16018/2011 e ASTM D7369 |
| Lottman Modificado | AASHTO T 283/2002 |

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Viscosidade Rotacional

O ensaio de viscosidade rotacional foi realizado para o CAP puro 50/70 e para o CAP modificado, tendo seus valores, explicitados no gráfico da Figura 3.

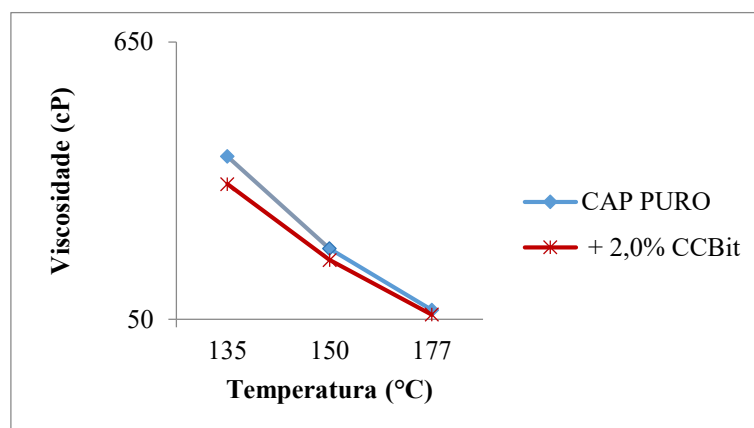


Figura 3: Viscosidade do CAP Puro e com incorporação do CCBIt

Nota-se a redução da viscosidade do CAP diante da incorporação dos 2% de CCBIt.

A Tabela 6 faz um comparativo entre o CAP puro e o CAP com incorporação do aditivo, além de apresentar em detalhes as reduções de temperatura de usinagem e compactação.

Tabela 6: Temperaturas de usinagem e compactação do CAP puro e modificado

| AMOSTRAS | Temp de Usinagem (°C) | Temp de Compactação (°C) |
|--------------|-----------------------|--------------------------|
| CAP PURO | 154,8 | 140,8 |
| + 2,0% CCBIt | 151,3 | 136,3 |

Observa-se que ocorreu uma redução de temperatura de compactação de 4,5°C, e 3,5°C de usinagem, para CAP modificado com 2% de CCBIt. Sales (2015) obteve para o teor de 2% de CCBIt uma redução de 9,8 °C da temperatura obtida do CAP puro, para usinagem e compactação. Portanto, ensaios mecânicos foram realizados nas misturas asfálticas com amostras compactadas a temperaturas de 136°C , (136 – 10)°C e (136 – 20)°C.

4.2. Ensaios Mecânicos

4.1.1. Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral

Os resultados do ensaio de Resistência à Tração estão apresentados na Tabela 7 e Figura 4, no qual foram obtidos a partir do ensaio de três corpos de prova compactados a três temperaturas.

Tabela 7: Resultados obtidos por meio do ensaio de Resistência à Tração

| TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO | RT (MPa) | | | |
|-------------------------------|----------|------|------|-------|
| | CP1 | CP2 | CP3 | Média |
| 136 °C | 1,04 | 0,99 | 1,02 | 1,02 |
| 126 °C | 0,91 | 0,80 | 0,89 | 0,86 |
| 116 °C | 0,93 | 0,77 | 0,82 | 0,84 |

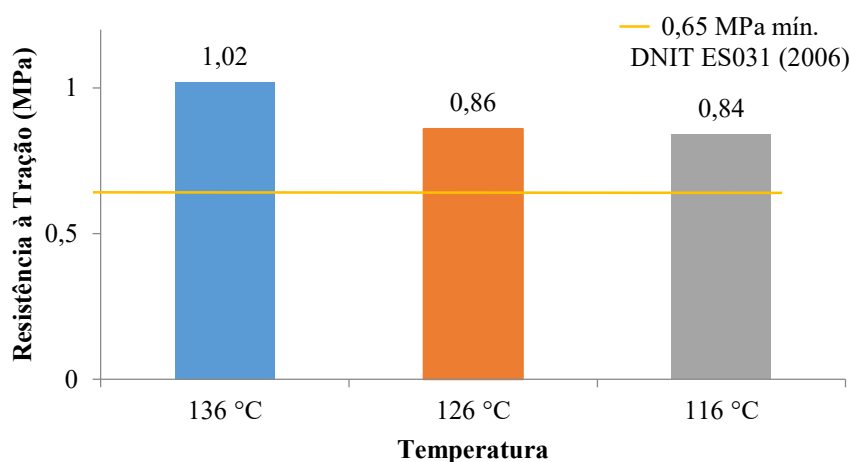


Figura 4: Resultado da Resistência à Tração *versus* variação da Temperatura

Motta (2009) diz que o controle de temperatura de moldagem pode levar a uma diferença significativa de volume de vazios das misturas e ter impacto sobre a RT, promovendo assim uma variação de seus valores. De acordo com os resultados acima, nota-se realmente que para as misturas compactadas à menos 10° C e 20°C, há uma redução no valor de resistência à tração, comportamento esse já esperado, visto que a compactação foi realizada a temperaturas inferiores à indicada pelo ensaio de viscosidade. No entanto, apesar dessa redução essas misturas apresentam valores de RT satisfatórios, que atendem ao limite mínimo preconizado pela Norma do DNIT ES031 (2006), que deve ser de, no mínimo, 0,65 MPa (a 25°C) em misturas asfálticas destinadas a camadas de rolamento.

4.1.2. Módulo de Resiliência

Na Tabela 8 são apresentados os resultados encontrados para três corpos de prova e suas respectivas médias, por temperatura analisada. Na Figura 5 observa-se de forma gráfica o comportamento médio do MR das misturas. Tanto o gráfico (Figura 5) como a Tabela 8 apresentam os valores de obtidos por meio da Norma Brasileira NBR 16018 e da Norma Americana D7369.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de Módulo de Resiliência

| TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO | MR (MPa) | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | CP1 | | CP2 | | CP3 | | Média | |
| | NBR 16018 | ASTM D4123 | NBR 16018 | ASTM D4123 | NBR 16018 | ASTM D4123 | NBR 16018 | ASTM D4123 |
| 136 °C | 4875 | 3186 | 4321 | 2927 | 4321 | 2927 | 4663 | 3089 |
| 126 °C | 5014 | 3463 | 4912 | 3414 | 3735 | 3376 | 4554 | 3418 |
| 116 °C | 4752 | 3267 | 5310 | 3653 | 3735 | 2582 | 4599 | 3167 |

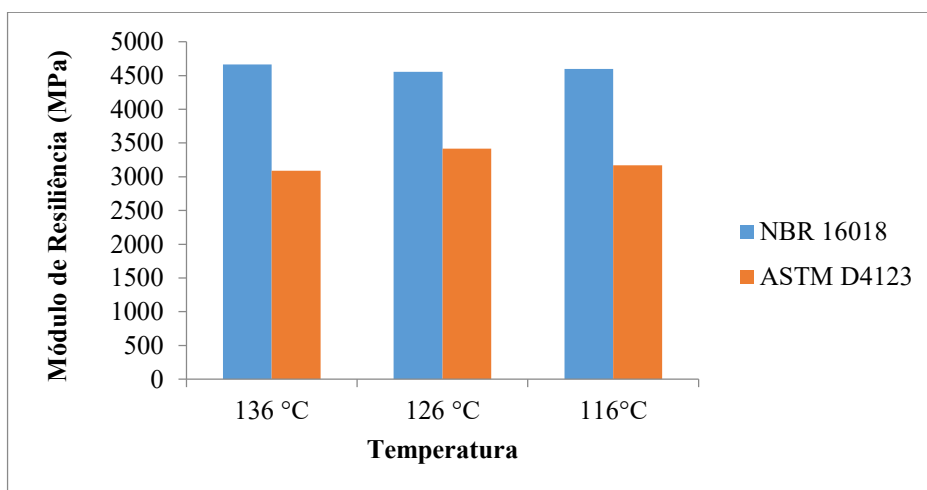


Figura 5: Resultados médios dos ensaios de Módulo de Resiliência

Em relação ao ensaio de MR, para as duas normas, não foi observado um comportamento padrão como foi observado nos valores de RT, o que leva a crer que os valores de MR não sofrem influência significativa da variação de temperatura de compactação.

Budny (2012) concluiu que com a diminuição de 20°C na temperatura de aquecimento dos agregados, os valores do MR aumentaram em cerca de 8% em misturas utilizando o CCBit. No entanto, no presente trabalho isso não ocorreu, resultado esse que pode ser atribuído à falta de normatização para utilização do produto e da tecnologia em estudo.

Vale salientar que o módulo de resiliência está associado à rigidez da mistura, portanto sua análise não pode ser feita de forma direta, permitindo, assim, valores menores ou maiores, mas que sejam compatíveis com a estrutura do pavimento e as deformações entre suas camadas (GAMA, et al. 2013).

4.1.3. Lottman modificado

A Tabela 9 mostra os valores obtidos da relação da resistência retida à tração, assim como a Figura 6 ilustra em gráfico tais resultados.

Tabela 9: Resultados da Relação da Resistência Retida à Tração

| TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO | RRT (%) |
|-------------------------------|---------|
| 136 °C | 72 |
| 126 °C | 66 |
| 116 °C | 66 |

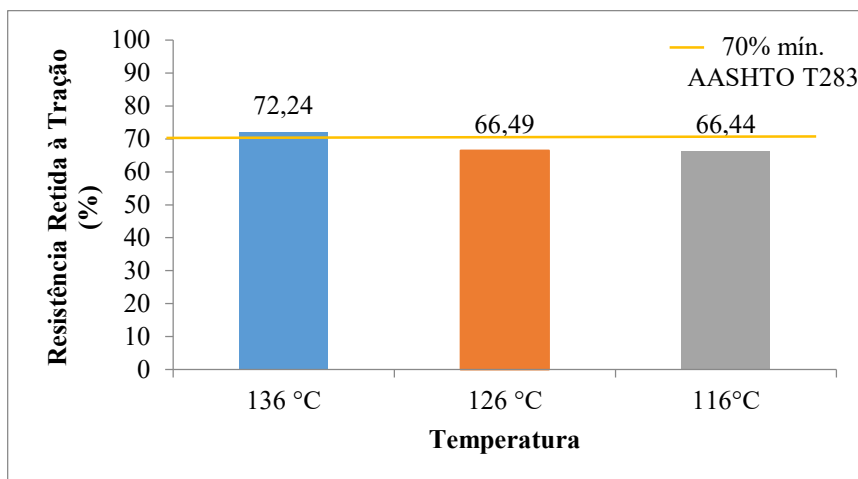


Figura 6: Resultados da Relação da Resistência Retida à Tração

A AASHTO T283/2007 sugere que o critério de definição da suscetibilidade de uma mistura é de 70% de RRT. Sendo assim, somente a mistura compactada na temperatura ideal apresenta RRT que atende a norma. Porém, para as misturas compactadas sob temperaturas inferiores, o valor de RRT apesar de estar abaixo do valor previsto em norma, apresentou uma variação apenas de 6%, problema que poderia ser resolvido com o aumento da quantidade de cal utilizada na mistura, elevando assim a resistência da mesma.

5. CONCLUSÃO

Diante de todas as análises realizadas nesta pesquisa pôde-se concluir que:

- A viscosidade rotacional obteve resultados de temperatura inferiores ao ligante puro 50/70, o que reflete em melhoria da trabalhabilidade das misturas asfálticas.
- O ligante modificado com 2% de CCBIt apresentou uma redução nos valores de temperatura de usinagem e compactação de 3,5°C e 4,5°C respectivamente.
- No que diz respeito à Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral, há realmente uma perda com a redução da temperatura, no entanto, seus valores ainda assim são satisfatórios.
- Já em relação ao Módulo de Resiliência, nota-se pouca influência do fator temperatura, na oscilação dos seus valores, que mesmo não mantendo um padrão, permaneceram dentro da faixa indicada pela literatura.

- Para o ensaio de *Lottman* modificado a redução na temperatura de compactação agiu de forma negativa sobre os valores de RRT, deixando-os abaixo do valor previsto em norma, pode-se resolver o problema por meio do aumento do teor de filer na mistura, o que poderia acarretar também num ganho de resistência.

De acordo com os estudos de Sales (2015), a incorporação de 2% de CCBit ao ligante já possui a capacidade de reduzir a temperatura de compactação em relação ao ligante puro, sem sacrificar suas propriedades mecânicas, significando ganhos em termos de gasto energético. Porém, esses ganhos podem ser ainda maiores chegando à uma redução de 20°C, como mostraram os resultados.

Visto isso, pode-se afirmar que é possível reduzir a temperatura ideal de compactação do ligante modificado com CCBit, mesmo essa variação de temperatura apresentando influência sobre as propriedades mecânicas da mistura. Essa redução é capaz de proporcionar melhorias no processo de fabricação de misturas asfálticas, tais como: redução da exposição dos trabalhadores aos fumos e odores tanto na usina como na aplicação, redução do consumo de combustível na usina, menor emissão de gases causadores do efeito estufa, melhoria na trabalhabilidade da mistura asfáltica, entre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, 2007, *Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture Induced Damage*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T 283, Washington, D. C.
- ABNT NBR 15184 (2004) *Materiais Betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando viscosímetro rotacional*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo – SP
- ABNT, 2000, *Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 6560.
- ABNT, 2004, *Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 15087.
- ASTM D6925 - 2009 *Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*.
- BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B. *Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros*. 1ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2007. 501p.
- BISPO, F. A. G. *Avaliação do desempenho de misturas betuminosas recicladas temperadas com emulsão betuminosa*. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior - UBI. Covilhã, Castelo Branco, Portugal.
- BUDNY, J. *Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas morna*. 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. COPPE-Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CHOWDHURY, A.; BUTTON, J.W., *A Review of Warm Mix Asphalt*, Texas A&M University System, EUA, 2008.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 035/98. *Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles*. Rio de Janeiro, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 081/98. *Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Rio de Janeiro, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 083/98. *Agregados – Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 131/2010. *Determinação do Ponto de Amolecimento- método Anel e Bola*. Rio de Janeiro, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 135/2010. *Determinação do Módulo de Resiliência*. Rio de Janeiro, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 138/2010. *Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 155/2010. *Determinação da Penetração*. Rio de Janeiro, 1998.

- DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro, 1996.
- GAMA, D. A. Avaliação do potencial do uso do Etileno Acetato de Vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas. 2013. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.
- HURLEY, G. C.; PROWELL, B. D. Field performance of warm mix asphalt. In: *Transportation Research Board Annual Meeting*, 87., 2008, Washington. Anais... Washington: TRB, 2008.
- HUTSCHENREUTHER, J. , “New technologies developed by the use of Warm Asphalt Technologies” *Reunião Anual de Pavimentação*, Rio de Janeiro, Outubro, 2010.
- KOENDERS, B. G.; Stoker, D. A.; Bowen, C., et al. (2000) - Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures, *2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Barcelona, Spain, September.
- MOTTA, R. S. Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissões de poluentes e de consumo energético. 2011. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.
- OTTO, G. G., Misturas asfálticas mornas: Verificação da fadiga e do módulo complexo. 179p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2009.
- RELATÓRIO DE PROJETO DE PESQUISA CONCEPA-LAPAV (2007); Análise de Estrutura de Pavimento da Rodovia BR-290/RS Através de Ensaio Acelerados. Relatório Final. LAPAV – Laboratório de Pavimentação. Escola de Engenharia, UFRGS.
- SALES, P. M. Avaliação das características físicas e mecânicas de misturas asfálticas modificadas com adição do CCBit. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, Brasil.
- SILVA, G. G. Estudos reológicos de aditivos utilizados na fabricação de misturas mornas. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, Brasil.

Talita Miranda de Sousa (talita.miranda@hotmail.com)

Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena (lucenafb@uol.com.br)

Jonny Dantas Patrício (jonny_dantas@hotmail.com)

Daniel Beserra Costa (daniel.beserra@gmail.com)

Edilza Rakel Nóbrega (e.rakel.nobrega@gmail.com)

Conrado Cesar Vitorino Pereira da Silva (cesar.vtr@hotmail.com)

Laboratório de Engenharia de Pavimentos, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Campina Grande
R. Aprígio Veloso, 882 – Campina Grande, PB, Brasil