

## ANEXO 4

### FICHA FINAL DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

<b>IDENTIFICAÇÃO:</b>
<b>Data:</b> 17/12/2020
<b>Aluno:</b> THENISSON AMORIM DE SOUZA
<b>Orientador:</b> Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc.
<b>Co-orientador:</b>
<b>Título de Trabalho:</b> COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURA ASFÁLTICA ENSACADA TESTADA COM POUCA IDADE DE FABRICAÇÃO

Concluída a apresentação, procedeu-se o julgamento tendo sido atribuídas as seguintes notas parciais:


Banca Examinadora:	Notas
Profa. Luciana Nogueira Dantas, DSc.	100
Prof. Weiner Gustavo Silva Costa, MSc.	100
Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc	94

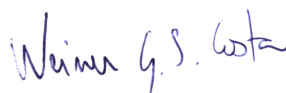
<b>Média Final:</b>	<b>98</b>	<b>NOVENTA E OITO</b>
---------------------	-----------	-----------------------

Concluída a avaliação o(a) aluno(a) foi (APROVADO/REPROVADO): APROVADO

Defesa realizada em: 17/12/2020

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc - Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Luciana Nogueira Dantas, DSc.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Weiner Gustavo Silva Costa, MSc.

# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURA ASFÁLTICA ENSACADA TESTADA COM POUCA IDADE DE FABRICAÇÃO

**Thenisson Amorim de Souza**  
**Mario Sergio de Souza Almeida**  
**Francisco Antônio da Silva Neto**  
**Kindelly dos Santos Leal**  
**Weiner Gustavo Silva Costa**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Centro de Ciências exatas e tecnológicas

## RESUMO

Em municípios de pequeno e médio porte, que abrangem parte significativa da malha rodoviária pavimentada do país, há uma crescente necessidade pela busca de soluções eficientes para a realização de reparos em pavimentos asfálticos degradados. Nesse contexto, surgem as Misturas asfálticas Ensacadas (MAE), um produto usinado a quente que pode ser estocado e aplicado a frio. Tendo em vista o potencial desse produto, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho mecânico de uma MAE em função do tempo pós fabricação. Para isso, amostras de um material comercializado no estado da Bahia, foram ensaiadas com 1, 3, 7, 15 e 34 dias após sua fabricação. Os resultados demonstraram que a mistura não pode ser comercializada logo após sua fabricação e que o tempo de cura melhora o desempenho quanto a resistência e deformabilidade, mas para o período analisado, não atende satisfatoriamente as exigências do DNIT para PMF.

## ABSTRACT

In small and medium-sized municipalities, which cover a significant part of the country's paved road network, it is increasingly necessary to search for efficient solutions to the realization of repairs on degraded asphalt pavements. In this context, bagged asphalt mixtures (BAM) emerges, a hot machined product that can be stored and cold applied. By the potential of this product, the present study aimed to evaluate the mechanical performance of a BAM as a function of post-manufacturing time. For this, samples of a bagged asphalt mixture commercialized in the state of Bahia were tested with 1, 3, 7, 15 and 34 days after its manufacture. The results showed that the mixture cannot be marketed immediately after machining and that curing time improves the performance as to the strength and deformability but, for the analyzed period, it did not satisfactorily meet the DNIT requirements for cold asphalt premix.

## 1. INTRODUÇÃO

Em pesquisa recente realizada pela Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019), tem-se que a qualidade das rodovias brasileiras piorou. O estudo apontou ainda que 59% dos cerca de 109 mil km de rodovias avaliados apresentaram problemas, sendo que a ocorrência de buracos representou 80% dos pontos críticos apontados na pesquisa. Esse panorama, por sua vez, além de colocar em risco a segurança da população, provoca um grande impacto negativo na economia do país, evidenciando ainda mais a real necessidade de intervenção para que os pavimentos brasileiros voltem a oferecer as condições ideais de trafegabilidade.

Muitas vezes o serviço de manutenção e conservação de pavimentos utilizando os métodos convencionais, com uso de Concreto Asfáltico (CA) ou Pré-Misturado a Frio (PMF), demonstram certa dificuldade para aplicação, principalmente em pequena escala. Isso acontece, visto a necessidade de usinagem da mistura e a exigência de mão de obra mais qualificada para realização do serviço. Sendo assim, tem-se buscado cada vez mais a utilização de soluções alternativas que apresentem maior praticidade, trabalhabilidade, redução dos impactos ambientais e menor consumo energético em seu processo de fabricação.

Nessa linha, Sena Neto *et al.* (2019) avaliaram a viabilidade técnica da utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na produção de PMF para utilização em pavimentos de

baixo volume de tráfego e constataram um expressivo potencial econômico e ambiental dessa prática. Geng *et al.* (2020), por sua vez, avaliaram o desempenho de um PMF produzido com reuso de óleo de cozinha. Os resultados indicaram que embora não tenha havido incremento na resistência da mistura, o uso do resíduo se justificou por ser um produto ecológico e por proporcionar redução do custo da mistura produzida, quando comparada a mistura convencional, em função da redução da demanda por ligante.

Outros aditivos vêm sendo utilizados com objetivo de melhorar a trabalhabilidade e praticidade na utilização de misturas asfálticas, principalmente com relação ao tempo de estocagem dessas misturas. Esse é o caso das misturas asfálticas ensacadas comerciais, as quais, no Brasil, normalmente possuem tempo de estocagem de até dois anos. Os fabricantes costumam destacar nas embalagens desses produtos que suas principais características estão relacionadas a pouca interferência da condição climática para sua aplicação, bem como a praticidade de aplicação, dispensando maquinário pesado ou mão de obra especializada para a execução do serviço, gerando uma redução no custo de trabalho. Além disso, ao finalizar a execução do serviço, a liberação do tráfego é imediata, evitando grandes transtornos na trafegabilidade da via.

Nesse contexto, essa mistura tem sido disseminada no Brasil mostrando-se economicamente viável para utilização em pequena escala ou mesmo em situações emergenciais. Esse produto é definido como Mistura Asfáltica Ensacada (MAE), chamado também, pelos fabricantes, de concreto asfáltico estocável ou ensacado. No entanto, ainda não há normatização específica para sua utilização, o que gera uma necessidade de constantes análises laboratoriais para verificação da qualidade desse tipo de mistura.

Os fabricantes de MAE alegam que o produto, mesmo aplicado a frio, tem características similares a um CA. No entanto, diversos trabalhos realizaram essa comparação tomando como base a norma DNIT 031/2006 – ES e em nenhum deles as especificações foram atendidas. Um dos fabricantes inclusive destaca que o diferencial da mistura estocável em termos de dosagem é a presença de aditivo que funciona como uma película que reveste o material. Assim, uma vez aplicada a energia de compactação, tal película é rompida enrijecendo o material e fornecendo boas características mecânicas à mistura (Santana e Lourenço, 2017).

Santana e Lourenço (2017) avaliaram misturas asfálticas estocáveis oriundas de três fabricantes de diferentes estados brasileiros. A primeira, foi uma mistura asfáltica usinada à quente, incrementada com um retardador de cura para viabilizar a estocagem e posterior aplicação do produto sem necessidade de aquecimento prévio. A segunda amostra, também produzida à quente, foi composta por pedra britada e CAP, otimizada com resíduos sólidos de pneus para promover aderência à mistura, impermeabilidade e mais resistência. Por fim, a do terceiro fabricante pertencia a dois diferentes lotes. As amostras foram ensaiadas como concreto asfáltico usinado a quente, sendo realizados ensaios de Resistência a Tração por Compressão Diametral (RTCD), estabilidade e fluência Marshall, bem como ensaios para determinação da volumetria da mistura compactada. As diferentes marcas de asfalto ensacado apresentaram, para os parâmetros mencionados, valores bem distintos entre si, não atendendo aos requisitos mínimos exigidos pelo DNIT para CAUQ, nem a qualidade alegada pelos fabricantes.

Carvalho *et al.* (2018) realizou estudos preliminares em um concreto asfáltico estocável produzido na região metropolitana de Goiânia. Para essa pesquisa, foram moldados corpos de prova tanto a frio como com aquecimento prévio a uma temperatura de 60°C. Com o objetivo

de avaliar se ao longo dos dias haveria alguma mudança de comportamento mecânico devido a ação do aditivo presente na amostra, os CP's moldados a frio foram rompidos em dois períodos: sem cura e com cura de 7 dias. Os resultados indicaram que as amostras preparadas com cura de 7 dias a céu aberto apresentaram uma certa melhora quando comparadas com amostras sem cura, e as compactadas a 60°C geraram resultados melhores que ambas. No entanto, todos os resultados obtidos ficaram abaixo dos parâmetros mínimos requeridos pela norma DNIT 031/2006 – ES.

Oliveira (2019) também realizou análises nesse contexto, avaliando o comportamento físico e mecânico de uma MAE tanto a frio quanto previamente aquecida, porém à uma temperatura de 150°C. O produto examinado a frio apresentou resultado médio de estabilidade igual a 84,02 kgf e fluência média de 5,52mm para uma energia de 75 golpes e quando aquecido a 150°C, conseguiu superar o limite mínimo de 500 kgf para estabilidade e atender a margem de 2 a 4,5 mm de fluência exigida pelo DNIT para CA. No entanto, esse procedimento de aquecimento prévio, principalmente a uma temperatura tão elevada, torna muito menos prática a utilização do produto, não fazendo jus a uma de suas principais qualidades que é a praticidade.

Rezende *et al.* (2019) caracterizaram uma amostra do que chamou de CA estocável e comparou os resultados obtidos com CA convencionais utilizados no estado de Goiás, Brasil. O material foi recebido de fabricante anônimo em bombona plástica de 200 litros e, posteriormente, foi acondicionado em amostras menores em recipientes de 15 ou 20 litros. Nessa pesquisa foram moldados 12 corpos de prova, todos com aquecimento prévio à 60°C, os quais 6 deles foram ensaiados sem período de cura e, os outros 6, com 30 dias de cura ao ar livre. Os CP's foram compactados pela metodologia superpave e, a fim de avaliar seu comportamento mecânico, posteriormente foram submetidos aos ensaios de RTCD e módulo de resiliência. Os resultados demonstraram a inferioridade do desempenho mecânico do produto quando comparado a CAs da região, indo contra também a qualidade prometida pelos fabricantes.

Jesus (2018) realizou um estudo comparativo entre uma MAE caracterizada de acordo com a norma DNIT 153/2010-ES e um PMF dosado e caracterizado com base nas normas DNER-ME 107/94 e DNIT 153/2010-ES, respectivamente. Os resultados evidenciaram a semelhança entre as duas misturas em termos de resistência, apesar de terem apresentado grande divergência granulométrica. No referido estudo os valores de estabilidade, fluência e volume de vazios obtidos para as misturas (MAE/PMF) ensaiadas com 50 golpes foram, respectivamente, 183,70/190,80 (kgf), 5,08/4,10 (mm) e 25,37/22,06 (%), enquanto que para 75 golpes foram 284,57/280,10 (kgf), 4,91/5,42 (mm) e 23,06/19,40 (%). A pesquisa mostrou também que, apesar de não ser exigido pela norma DNIT 153/2010 - ES, a resistência a tração por compressão diametral da mistura ensacada apresentou resultados de 0,26 kgf/cm<sup>2</sup> para 50 golpes e 0,38 kgf/cm<sup>2</sup> para 75 golpes, enquanto o PMF apresentou, respectivamente, 0,34 kgf/cm<sup>2</sup> e 0,54 kgf/cm<sup>2</sup>. Estes resultados demonstraram que, do ponto de vista mecânico e volumétrico, a MAE e o PMF são bastante similares.

A MAE é uma mistura asfáltica usinada a quente com a vantagem de poder ser estocada e aplicada a frio devido à ação de um aditivo retardador de pega incorporado à mistura durante sua produção. Sendo assim, é importante conhecer a influência desse tipo de aditivo, principalmente em misturas recém preparadas de modo a conhecer os impactos na qualidade da MAE. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de uma MAE testada com pouca idade de fabricação, produzida na região de Salvador/BA, para

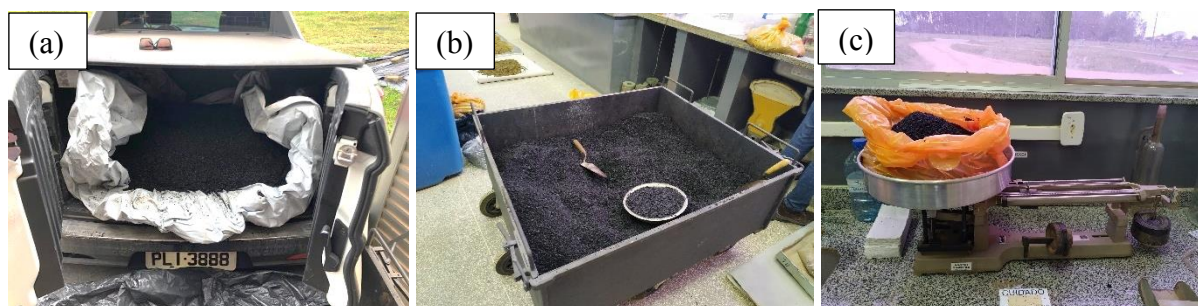
determinação do tempo mínimo necessário para que o produto atingisse os parâmetros mínimos exigidos pela norma DNIT 153/2010 – ES viabilizando assim, sua comercialização/aplicação.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

Cabe inicialmente destacar que os resultados apresentados neste manuscrito representam uma parcial de um estudo mais amplo, ainda em desenvolvimento, onde a mistura ensacada será testada com idades de fabricação compreendidas entre 1 dia e 2,5 anos.

### 2.1 Materiais

O material utilizado nesse estudo foi uma mistura asfáltica para comercialização à granel (embalada em sacos), sendo esta recebida por doação diretamente da empresa fabricante, com sede no Estado da Bahia. Foram disponibilizados cerca de 330 kg do material, de um mesmo lote, os quais ao serem recebidos, foram armazenados em sacos de 15 kg cada, cujo procedimento pode ser observado na Figura 1, com destaque para a chegada do material (a), descarregamento (b) e separação das amostras em sacos de 15 kg (c). Vale ressaltar que o material foi coletado no dia de usinagem da mistura, aspecto esse muito relevante para a pesquisa já que possibilitou a avaliação dos parâmetros de resistência e deformabilidade desde o primeiro dia após sua fabricação.



**Figura 1:** Etapas do processo de recebimento e armazenamento das amostras de MAE

De acordo com o fabricante, a mistura asfáltica em estudo foi usinada à quente com CAP 50/70 modificada por um aditivo retardador de cura. O fabricante não forneceu informações relacionadas a caracterização do aditivo utilizado e, portanto, os resultados obtidos no presente estudo foram unicamente comparados entre si e com a norma DNIT 153/2010 – ES, para PMF.

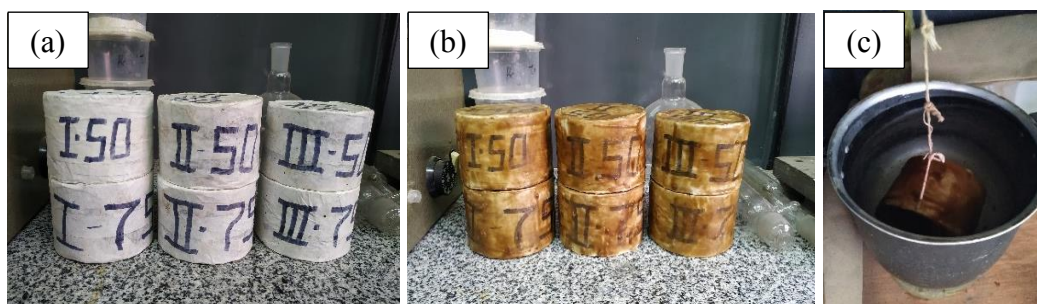
### 2.2 Caracterização Marshall e Resistência a Tração da MAE

A fim de avaliar o tempo mínimo necessário para que o produto atingisse os parâmetros de resistência e deformabilidade mínimos para sua comercialização, amostras foram ensaiadas com 1, 3, 7, 15 e 34 dias após sua produção. Para cada bateria de ensaios, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas até que fosse obtido uma quantidade equivalente a 1200 g para cada corpo de prova (CP), procedendo-se com a compactação dos CP's conforme a norma DNER – ME 107/1994. Para cada etapa foram moldados 12 CP's, sendo 6 com 50 golpes por face e os outros 6 com 75.

Santana e Lourenço (2017) e Rezende *et al.* (2019) abordaram em suas pesquisas que sofreram dificuldades quanto a desmoldagem dos corpos de provas. Assim, no intuito de mitigar possíveis problemas nessa etapa do procedimento, os moldes de compactação foram previamente lubrificadas com vaselina em pasta.

Uma vez moldados, 3 corpos de prova de cada uma das energias aplicadas foram selecionados

para determinação dos parâmetros volumétricos. Seguindo as recomendações da norma DNER – ME 117/94, a densidade aparente foi determinada. Vale ressaltar que em função do elevado volume de vazios da mistura ( $V_v > 10\%$ ), os CP's foram devidamente envolvidos com fita adesiva e parafina fluidificada para a realização da pesagem das amostras imersas em água. A partir das densidades aparentes e máxima teórica calculada, foi determinado o Volume de Vazios ( $V_v$ ) conforme sugere Bernucci *et al.* (2010). Esse procedimento para pesagem imersa está devidamente representado na Figura 2.



**Figura 2:** Etapas do processo para pesagem imersa dos corpos de prova: (a) CPs com fita; (b) CPs com parafina; (c) procedimento de pesagem imersa

Posteriormente, seguindo a norma DNER-ME 107/1994, esses mesmos CP's foram submetidos aos ensaios de estabilidade e fluência. Os outros 6 corpos de prova foram ensaiados para determinação da RTCD, de acordo com a norma DNIT 136/2010–ME. É importante destacar que, entre a compactação e o rompimento das amostras, levou-se um período de 48h, tempo este necessário para que todos os ensaios anteriormente descritos fossem executados.

### 2.3 Determinação do teor de ligante e granulometria

A etapa seguinte foi a extração do ligante asfáltico residual presente na mistura, via Rotarex, conforme preconiza a DNER-ME 053/1994. Nessa fase, foram utilizados os 3 corpos de prova de cada energia submetidos previamente ao ensaio Marshall, totalizando 6 extrações a cada período de análise (1, 3, 7, 15 e 34 dias). Para a realização deste procedimento, utilizou-se uma amostra de aproximadamente 400g devido a capacidade do equipamento disponível no laboratório. Além disso, o solvente utilizado nesse processo foi o tricloroetileno.

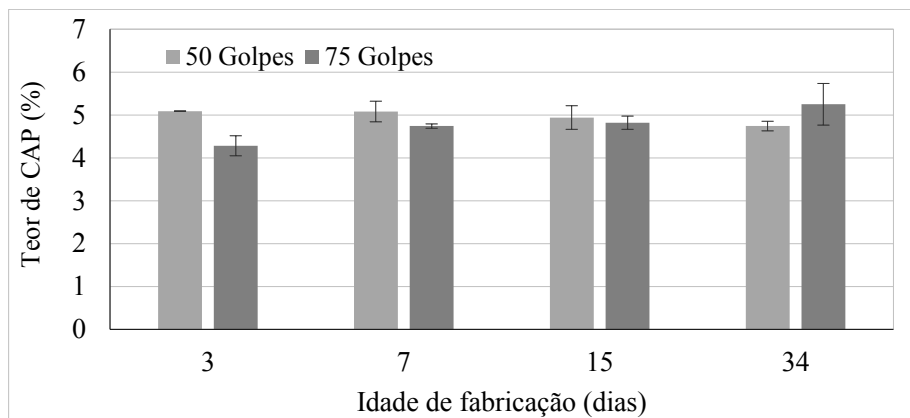
Os corpos de prova ensaiados nos primeiros dias após usinagem da mistura estavam muito frágeis e com aspecto oleoso provavelmente devido a presença do aditivo retardador de cura. Assim, com um dia de fabricação da mistura, somente um dos CP's não rompeu durante extração de seus respectivos moldes de compactação, e, mesmo com os devidos cuidados no manuseio, ele se desintegrou posteriormente ao ensaio de estabilidade. Nesse contexto, os ensaios de extração de ligante foram iniciados a partir do terceiro dia de usinagem da mistura. É importante ressaltar que, ainda no dia 3, para CP's moldados com 50 golpes, apenas um não rompeu, não possibilitando o cálculo do desvio padrão entre amostras para essa energia e idade.

Uma vez extraído o ligante asfáltico da mistura, restou apenas os agregados utilizados em sua composição. Assim, de acordo com a norma DNER 083/1998, foi realizada a análise granulométrica do material para cada período. Os resultados da granulometria da mistura possibilitaram a avaliação do seu enquadramento em alguma das faixas de PMF estabelecidas pela norma DNIT 153/2010-ES e DER/SP (2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Teor de ligante asfáltico

Através do método Rotarex o teor de ligante presente na mistura asfáltica foi determinado. Os resultados médios obtidos para as diferentes idades de fabricação e energias de compactação, bem como os respectivos desvios padrões estão apresentados na Figura 3.

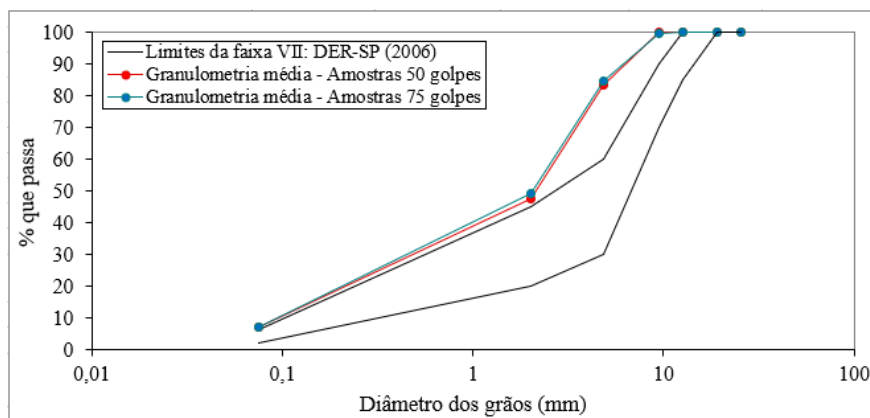


**Figura 3:** Extração de ligante ao longo do tempo

A norma DNIT 153/2010-ES estabelece que o teor de CAP residual presente em um PMF deve se situar entre 4% e 6%, independente da faixa granulométrica. A partir da análise da Figura 3 é possível perceber que os teores obtidos para os diferentes períodos avaliados variaram respeitando essa margem, apresentando, portanto, similaridade ao PMF nesse critério.

#### 3.2 Análise granulométrica

Realizada após a extração do ligante asfáltico residual da MAE, as respectivas granulometrias das amostras compactadas com 50 e 75 golpes estão apresentadas na Figura 4. Além disso, a Figura 4 apresenta também os limites da faixa VII de PMF do DER-SP (2006). A comparação da MAE com essa faixa se deu pelo fato da mistura ser ainda mais fina do que a faixa D da norma DNIT 153/2010 – ES, conforme já observado por Jesus (2018), e mesmo a faixa VII sendo mais densa do que a faixa D do DNIT, a MAE não se enquadra adequadamente. Os resultados demonstram pequena variabilidade entre as amostras ensaiadas e as distribuições granulométricas médias das mesmas, com valores praticamente coincidentes para as diferentes energias.

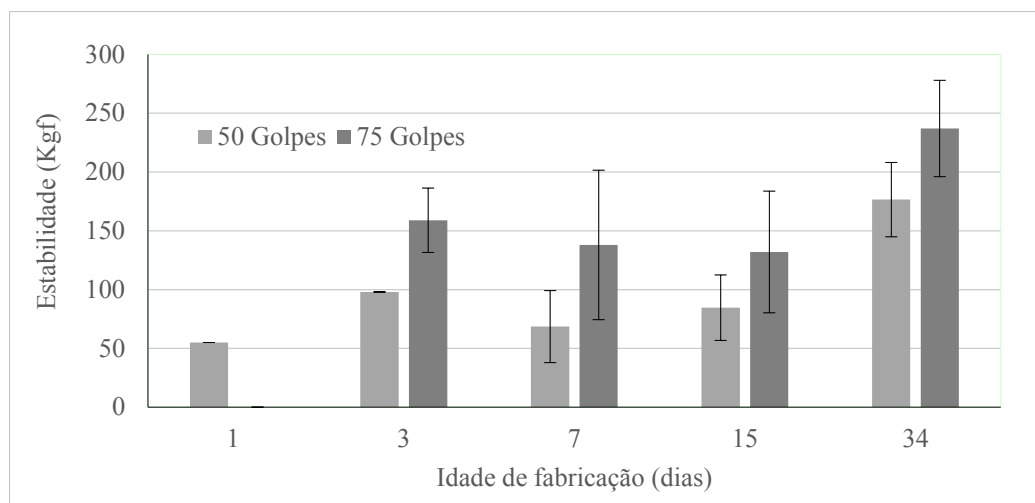


**Figura 4:** Distribuição granulométrica - 50 e 75 golpes



### 3.3 Comportamento Mecânico da MAE

A Figura 5 apresenta os resultados médios de Estabilidade para 50 e 75 golpes para as idades de 1, 3, 7, 15 e 34 dias após a fabricação da MAE, bem como a dispersão dos dados em relação as suas respectivas médias. Importante lembrar que os testes foram realizados em triplicata e que os resultados foram obtidos seguindo a metodologia apresentada na DNER–ME 107/1994.



**Figura 5:** Estabilidade Marshall ao longo do tempo para as diferentes energias de compactação

Conforme já mencionado, com um dia de usinagem da mistura obteve-se apenas um único resultado que foi a estabilidade de um único CP moldado com 50 golpes. Isso se deu pela dificuldade de desmoldagem apresentada pelas amostras compactadas, muito provavelmente pela ação do aditivo retardador de pega presente na mistura. Assim, por esse motivo, a Figura 5 não apresenta o resultado para 75 golpes para essa idade e nem dispersão da média para 50 golpes com 1 e 3 dias de fabricação.

Com os resultados da Figura 5, percebe-se que no primeiro dia a mistura apresentou seu mais baixo valor de estabilidade para 50 golpes, com crescimento desse parâmetro para essa energia para a idade de 3 dias e queda para 7 dias. A partir do sétimo dia após sua fabricação, esse parâmetro apresentou um crescimento gradual, atingindo, com 34 dias, 176,5kgf. Para os corpos de prova compactados com 75 golpes, contudo, com 3 dias o valor de estabilidade obtido foi de 159 kgf, sofrendo decréscimo nas duas idades seguintes (7 e 15 dias) e com um acréscimo substancial na última idade analisada de 34 dias, chegando a 237 kgf.

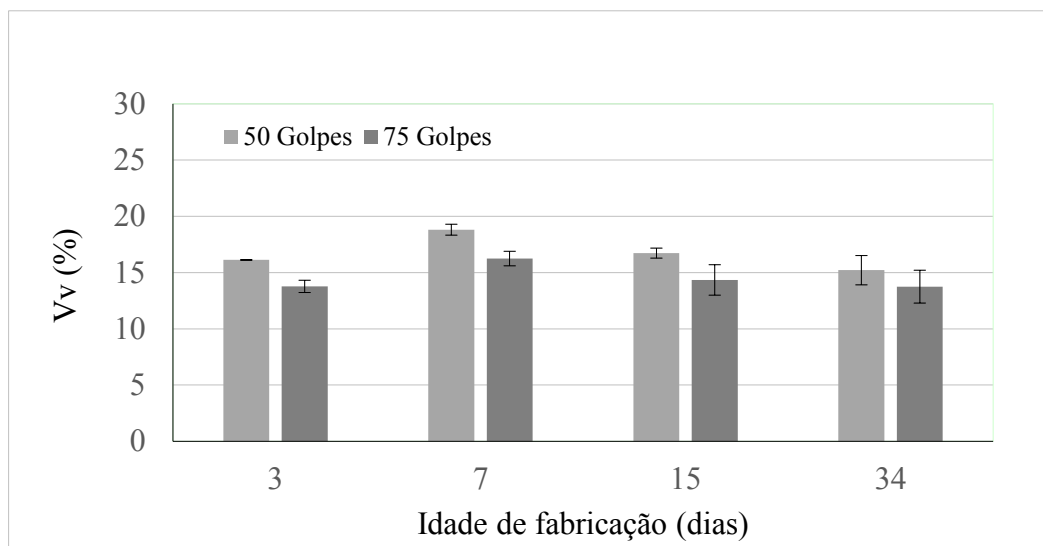
O crescimento no valor da estabilidade para ambas energias ao atingir a idade de 34 dias provavelmente está relacionado com a cura da mistura estocada, com consequente minimização da ação do aditivo retardador sobre o comportamento das amostras compactadas. Uma evidência qualitativa para essa hipótese é a substancial diferença observada no aspecto físico do material que, como já abordado, inicialmente apresentava-se mais oleoso e frágil ao ser compactado e desmoldado. Porém, ao longo do tempo, as amostras foram perdendo a oleosidade e a fragilidade iniciais.

A norma DNIT 153/2010-ES estabelece como limites mínimos de estabilidade para 50 e 75 golpes, 150 kgf e 250 kgf, respectivamente. Dessa forma, nota-se que aos 34 dias, idade máxima avaliada, a mistura asfáltica ensacada atingiu o limite mínimo de estabilidade associado a tráfego leve ( $N < 5 \times 10^6$ ) nas amostras compactadas com 50 golpes, mas não alcançou o



mínimo exigido para tráfego pesado ( $N > 5 \times 10^6$ ), para amostras compactadas com 75 golpes, o que pode ocorrer em avaliações para idades maiores nessa energia.

A Figura 6 apresenta os valores de volume de vazios ao longo do tempo para 50 e 75 golpes.

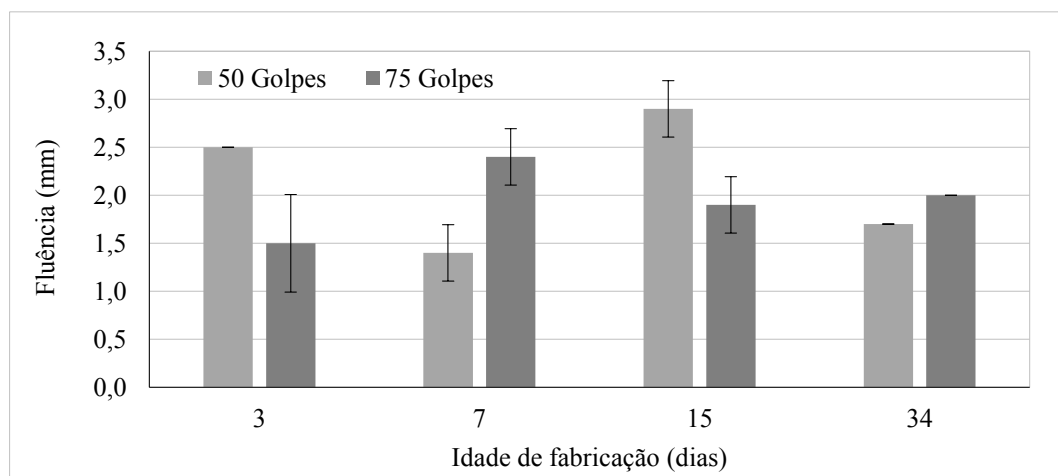


**Figura 6:** Volume de Vazios ao longo do tempo para as diferentes energias de compactação

Observando os resultados da Figura 6 é possível notar que o volume de vazios obtido para os CP's compactados com 75 golpes foram, conforme esperado, inferiores se comparados às amostras compactadas com 50 golpes, para todas as idades testadas. Isso confirmou que o aumento da energia de compactação, proporcionou aumento da densidade da mistura. O percentual de vazios exigido pela norma DNIT 153/2010-ES tem como limites mínimo e máximo 5 e 30, respectivamente. Portanto, nesse parâmetro, a mistura atende a essa exigência para todas as idades avaliadas e para as duas energias aplicadas.

Assim como para o volume de vazios, a fluência para ambas energias de compactação não apresentou tendência clara de crescimento ou redução com o aumento do tempo de estocagem. No entanto, analisando os valores da Figura 7, nota-se que, para 75 golpes, este parâmetro teve seu menor valor no dia 3, e nas idades seguintes, para essa mesma energia, apenas atingiu o valor mínimo exigido pela norma DNIT 153/2010 – ES (2% a 4,5%) com 7 e 34 dias de estocagem. Para 50 golpes, no entanto, a fluência demonstrou comportamento oscilante, superando o limite inferior da referida norma em duas idades avaliadas (3 e 15 dias), e ficando abaixo em outras duas (7 e 34 dias). Assim, considerando o comportamento do material para as duas energias testadas, a mistura asfáltica estocável estudada não atendeu ao critério de norma para a fluência até a idade analisada.

No que se refere a Resistência a tração por compressão diametral, a norma para pré-misturado a frio do DNIT não apresenta limites mínimos. No entanto, por estar diretamente ligado ao potencial de fadiga das misturas asfálticas e a durabilidade do pavimento, torna-se mais uma referência no controle de qualidade do produto estudado. Assim, percebeu-se que para ambas energias de compactação, a MAE estudada teve resistência a tração nula desde as primeiras idades, apresentando um pequeno ganho com 34 dias de fabricada equivalente a 0,101 kgf/cm<sup>2</sup> para 50 golpes e 0,151 kgf/cm<sup>2</sup> para 75 golpes.



**Figura 7:** Fluência ao longo do tempo para as diferentes energias de compactação

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos nessa pesquisa, constata-se que, de fato, a mistura asfáltica ensacada comercial avaliada demanda um período de cura para atingimento da resistência e deformabilidade adequados para uso do material em pavimentação. As misturas compactadas com 50 golpes atingiram o limite mínimo de estabilidade exigido pela norma DNIT 153/2010–ES com 34 dias após sua usinagem, ao passo que as compactadas com 75 golpes, mesmo constatando um crescimento substancial nessa mesma idade, não superou o limite inferior exigido pela referida norma. Esse resultado reforça a importância de continuidade do estudo desse material para identificar o comportamento em termos de estabilidade ao longo do tempo de estocagem para a maior energia de compactação.

O período de cura, no entanto, não provocou uma tendência de queda ou elevação no volume de vazios e nem na deformabilidade da mistura, caracterizada pela fluência. Para 50 golpes, os valores de fluência oscilaram ao longo do tempo enquanto que para 75 golpes, tendeu a permanecer próximo ao limite mínimo de 2 mm. Por outro lado, quanto ao Vv a mistura atendeu a especificação considerada (DNIT 153/2010 – ES) durante todo o período analisado.

De acordo com a análise granulométrica realizada, nota-se que a mistura asfáltica estocável não atendeu nenhuma das faixas granulométricas estabelecidas para PMF (DNIT 153/2010–ES) e (DER-SP, 2006) por apresentar uma quantidade muito elevada de material fino em sua composição.

Nesse sentido, com base no comportamento mecânico avaliado nesse estudo preliminar, é possível afirmar que a mistura não pode ser comercializada logo após sua usinagem e que o tempo de cura melhora o desempenho quanto a resistência e deformabilidade do produto. Apesar disso, ainda que essa mistura asfáltica estocável tenha atingido os requisitos mínimos necessários de resistência para tráfego leve com idade de 34 dias, segundo a norma DNIT 153/2010–ES o produto não atende satisfatoriamente todas as exigências necessárias.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernucci, L. B., Ceratti, J. A. P., Motta, L. M. G., Soares, J. B. (2010) *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. Petrobrás, ABEDA, Rio de Janeiro.
- Carvalho, I. S.; Oliveira, A. G. B.; Honorio, L. F.; Rezende, D. A. T.; Novato, G. S.; Rezende, L. R. E Silva, J. P. S. (2018) Estudo Preliminar de uma Mistura Asfáltica do Tipo Concreto Asfáltico Estocável. *Anais do XIX*

- Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, COBRAMSEG, Salvador, v. 2, p. 1642-1651.
- CNT (2019) *Pesquisa CNT de rodovias 2019 – Release e Principais dados*. Confederação Nacional de Transportes. SEST SENAT, Brasília.
- DER/SP (2006) *ET-DE-P00/025 – Pré-Misturado a frio*. Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo, São Paulo.
- DNER (1994) *ME 053 - Misturas betuminosas – percentagem de betume*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998a) *ME 083 – Agregados – Análise Granulométrica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *ME 107 - Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall – Método de Ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *ME 117 - Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *ES 031 – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2018b) *ME 136 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) *ES 153 – Pavimentos flexíveis – Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional – Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- Geng, L.; Xu, Q.; Yu, X.; Jiang, C.; Zhang, Z.; Li, C. (2020) Laboratory performance evaluation of a cold patching asphalt material containing cooking waste oil. *Construction and Building Materials*, vol. 246.
- Jesus, F. F. (2018) *Estudo comparativo entre uma mistura asfáltica ensacada e o asfalto pré-misturado a frio*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, BA, Brasil.
- Oliveira, A. R. (2019) *Estudo comparativo das características físicas e mecânicas de um concreto asfáltico estocável e concreto asfáltico usinado a quente convencional*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Centro Universitário UNINOVAFAPI, Teresina, PI, Brasil.
- Rezende, D. A. T.; Silva, J. P. S.; Carvalho, I. S. E.; Rezende, L. R. (2019) Caracterização Amostral de Concreto Asfáltico Estocável por Meio de Ensaio Laboratoriais. *Anais do XXXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Balneário Camboriú, v. 1, p. 1574-1585.
- Santana, A. C. S. T.; Lourenço, V. M. Q. (2017) Análise das propriedades físicas e mecânicas de mistura asfáltica usinada à quente ensacada para aplicação à frio. *Anais do XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte*, ANPET, Recife, v. 1, p. 1438-1449.
- Sena Neto, P. G., Amorim, E. F., Ingunza, M. P. D. (2019) Análises de dosagens de concreto asfáltico do tipo Pré Misturado a Frio (PMF) utilizando Resíduos da Construção e Demolição de obras (RCD). *Revista Matéria*, vol. 24, n. 4.

---

Thenisson A. de Souza (thenissonsouza@gmail.com)

Mario S. de S. Almeida (mario.almeida@ufrb.edu.br)

Francisco Antônio da Silva Neto (fasneto2@gmail.com)

Kindelly dos S. Leal (kinleal17@gmail.com)

Weiner Gustavo Silva Costa (weiner@ufrb.edu.br)

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas, BA, Brasil