

ANEXO 4

FICHA FINAL DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

IDENTIFICAÇÃO:
Data: 17/12/2020
Aluno: KINDELLY DOS SANTOS LEAL
Orientador: Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc.
Co-orientador:
Título de Trabalho: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA MUFLA NA EXTRAÇÃO DE LIGANTES DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS

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

Banca Examinadora:	Notas
Profa. Luciana Nogueira Dantas, DSc.	97
Prof. Sérgio Santos de Jesus, MSc.	95
Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc	96


Média Final:	96	NOVENTA E SEIS
---------------------	-----------	-----------------------

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


Defesa realizada em: 17/12/2020



Prof. Mario Sergio de Souza Almeida, DSc - Orientador



Profa. Luciana Nogueira Dantas, DSc.



Prof. Sérgio Santos de Jesus, MSc.

AValiação DA EFICIÊNCIA DA MUFLA NA EXTRAÇÃO DE LIGANTES DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS

Kindelly dos Santos Leal
Mario Sergio de Souza Almeida
Thenisson Amorim de Souza
Francisco Antônio da Silva Neto
Weiner Gustavo Silva Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Centro de Ciências exatas e tecnológicas

RESUMO

Falhas de dosagens não identificadas de misturas asfálticas podem acelerar a ocorrência de graves patologias, impactando diretamente na trafegabilidade e vida útil dos pavimentos. Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar a eficiência do método de ignição na extração de ligante asfáltico com uso da Mufla em amostras de concreto asfáltico produzidas com ligante polimerizado (CAP 55/75-E). Foram utilizadas 15 amostras, as quais foram testadas paralelamente pelo método do refluxo (Soxhlet), servindo como controle. Avaliou-se ainda, a granulometria das misturas após extração bem como o tempo necessário para extração. Os ensaios realizados a partir do método de ignição apresentaram teores de ligante inferiores ao do Soxhlet. Além disso, os resultados possuem coeficientes de variação inferiores aos obtidos através dos ensaios de controle. Quanto ao tempo de extração, o forno de ignição também se apresentou como uma alternativa favorável, já que o tempo gasto para extração foi inferior ao do Soxhlet.

ABSTRACT

Unidentified failures of dosages of asphalt mixtures can accelerate the occurrence of serious pathologies, directly impacting traffic and service life of pave roads. In this context, this research aimed to evaluate the efficiency of the ignition method in the extraction of asphalt binder with the use of Muffle in samples of asphaltic concrete produced with polymerized binder (CAP 55/75-E). Fifteen samples were used, which were tested in parallel by the reflux method (Soxhlet), serving as control. The granulometry of the mixtures after extraction was also evaluated, as well as the time required for extraction. The tests performed using the ignition method showed lower binder levels than the Soxhlet. In addition, the results have variation coefficients lower than those obtained through the control tests. Regarding extraction time, the ignition oven also presented itself as a favorable alternative, since the time spent for extraction was lower than that of the Soxhlet.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as rodovias apresentam um importante papel para a economia, pois é por meio destas que circulam o principal meio de transporte do país. Entretanto, a má qualidade dos pavimentos brasileiros tem resultado em uma elevação do custo operacional do transporte em torno de 28,5%, de acordo com o CNT (2019). Desta forma, é importante garantir aos usuários condições ideais de conforto e segurança.

Os revestimentos asfálticos são compostos por agregados e ligantes asfálticos que possuem características particulares. Quando o ligante asfáltico se encontra em excesso nas misturas, pode ocasionar deformações permanentes devido a exsudação, escorregamento de massa, afundamento plástico nas trilhas de roda, entre outros. Por outro lado, quando o ligante betuminoso está em quantidades menores do que o ideal, pode gerar problemas relacionados com desgaste, desagregação e trincas (Bernucci *et al.*, 2010).

Para garantir que o revestimento apresente uma dosagem que atenda aos requisitos normativos e de projeto, um controle tecnológico eficiente é essencial. Desta forma, a determinação da quantidade de ligante em misturas asfálticas se posiciona como um dos principais parâmetros de controle de qualidade para garantir eficiência na produção das misturas na usina, bem como qualidade do material aplicado no campo.

Uma das formas de se realizar essa determinação é por meio do ensaio de extração de betume, que tem por finalidade aferir o teor de ligante existente em uma amostra de mistura asfáltica. Esse ensaio é padronizado por três normas brasileiras: “DNIT 158/2011 – ME - Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio”, “DNER-ME 053/94 – Misturas betuminosas – percentagem de betume” e a ”NBR 16208:2013 - Misturas Asfálticas Determinação do teor de betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex e pelo Refluxo Duplo”.

O ensaio utilizando o extrator Soxhlet consiste basicamente em separar o asfalto do agregado através de sua dissolução em solvente por meio do refluxo. O equipamento é composto por balão, tubo extrator, tubo condensador e manta aquecedora, conforme ilustra a Figura 1a. Durante o ensaio a amostra é submetida a um processo de ciclos de lavagem utilizando solvente que, ao atingir sua temperatura de ebulição devido ao calor fornecido pela manta, evapora e é posteriormente condensado através do tubo condensador. O solvente, ao entrar em contato com a mistura asfáltica, remove o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) progressivamente. Esse processo é repetido a quantidade de vezes necessária para remover todo o ligante do agregado, não sendo especificado tempo mínimo para o procedimento.

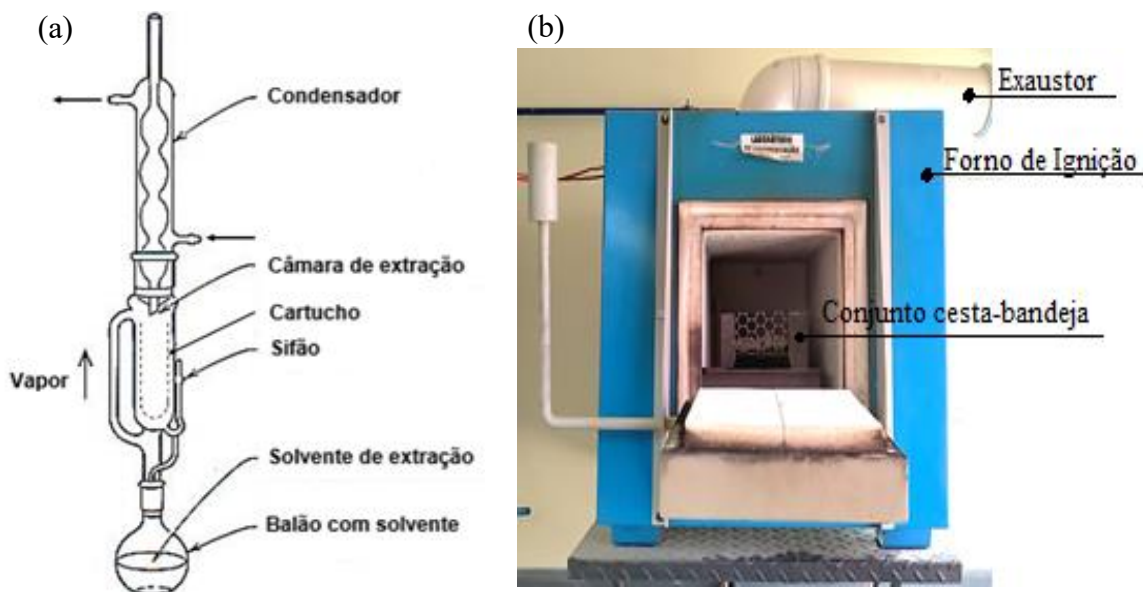


Figura 1: (a) Extrator Soxhlet (DNIT 158/2011 – ME) e (b) Extrator Mufla

O forno Mufla de ignição (Figura 1 b), também é um equipamento de determinação do teor de ligante asfáltico, porém este é um método de extração a quente, em que a retirada do ligante da amostra se dá através do processo de queima por convecção. A Mufla pode ou não ser equipada com dispositivo interno de medição de massa, e deve ter obrigatoriamente um sistema de exaustor para reduzir a emissão de fumaça e impedir que nenhum odor sensível escape no laboratório, preservando a saúde e segurança do operador.

A metodologia de determinação do teor de ligante asfáltico pelo método da ignição ainda não se encontra normatizada no Brasil. Dessa forma, não há informações como tempo e temperatura de queima adequados para o processo de extração, o que leva a utilização de outras referências para execução do ensaio. Como exemplo, tem-se a norma norte-americana ASTM D6307-10 que estabelece que a temperatura ideal para a queima deve ser $430 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, $480 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ou 540

± 5 °C, conforme determinado pelo forno na calibração, que consiste na realização de medidas de massa após os primeiros 45 minutos e as posteriores a cada 15 minutos. O ensaio deve ser encerrado quando a diferença de leitura da massa for no máximo 0,01% do peso inicial da amostra, não estabelecendo o tempo necessário para isso. Entretanto, Láo *et al.* (2014) recomenda que para estudos brasileiros não sejam empregados os valores determinados no referido método, uma vez que o material utilizado para elaboração da norma não condiz com as características do país.

O método de combustão não possibilita a recuperação e posterior caracterização do ligante extraído da amostra. Entretanto, de acordo com os resultados da pesquisa de Brown *et al.* (1995), o teor de ligante obtido através desse método, é tão preciso quanto os métodos comumente utilizados nos laboratórios. Além disso, o forno de ignição não requer a utilização de solvente durante o processo de extração, o que implica na redução de resíduos gerados e na segurança do operador.

Na literatura é possível encontrar estudos comparativos entre diferentes métodos de extração. Silva (2001), avaliou a eficiência de ensaios de extração realizados na Mufla, Rotarex e Soxhlet. Por meio de tratamento de dados estatísticos dos ensaios, concluiu que os equipamentos que oferecem resultados mais satisfatório são o Soxhlet e a Mufla, visto que satisfazem a hipótese estatística de igualdade das médias. Entretanto, ao avaliar os coeficientes de variação (CV) das amostras, os quais caracterizam a dispersão dos dados em termos relativos a seu valor médio, é possível perceber que a Mufla apresenta o menor valor, sendo este igual a 0,014, em seguida o Soxhlet com 0,030 e o Rotarex 0,031. Silva (2001) também aponta que a média dos resultados do ensaio da Mufla é cerca de 1,7% menor que o do Soxhlet e 5% menor que o Rotarex.

Láo *et al.* (2014), Gonçalves (2017) e Carvalho (2018), realizaram estudos com o objetivo de comparar o teor de ligante asfáltico obtido por meio do Rotarex e do forno de ignição por convecção. Nesse sentido, foram ensaiados corpos de prova e verificou-se que os teores de ligante determinados pelo método de centrifugação (Rotarex) foram, aparentemente, superiores aos aferidos por ignição. Estes autores abordam que o Rotarex não faz a extração completa do ligante asfáltico, deixando ligante remanescente nos agregados após extração, além de não considerar a perda elevada de agregado miúdo durante a execução do ensaio.

Gonçalves (2017) verificou a eficiência da mufla com a utilização de balança externa em relação a mufla com dispositivo interno de medição. Os resultados dos ensaios indicam que há equivalência entre os métodos para uma mesma amostra e que ambos promovem a retirada eficiente do ligante asfáltico de maneira satisfatória.

Nesse contexto, o presente estudo busca avaliar a viabilidade do método da ignição, com uso da Mufla, na determinação do teor de ligante asfáltico em misturas densas produzidas com agregados oriundos da região do Recôncavo da Bahia com diferentes teores de CAP 55/75-E.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho de pesquisa é parte de um estudo em andamento que avalia a eficiência diferentes métodos de extração de ligantes (Soxhlet, Rotarex e Mufla) e a influência do tipo de CAP da mistura (convencional e com polímero) na variabilidade dos teores determinados por cada método. Desta forma, parte dos corpos de prova ensaiados nessa pesquisa foram armazenados para a realização de futuros ensaios.

As amostras avaliadas para este estudo foram remanescentes de trabalhos de Pesquisa anteriores realizados no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia produzidas na faixa C da norma DNIT 031/2006 com base na norma DNER - ME 043/1995, compactadas com 75 golpes, e submetidos aos ensaios de resistência a compressão (estabilidade) e resistência à tração na compressão diametral. Foram utilizados agregados oriundos da pedra Pedra do Cavalo, localizada em Muritiba, região do Recôncavo da Bahia, Brasil e CAP modificado por polímero elastomérico (AMP 55/75 – E).

2.1. Planejamento experimental

Para a realização do presente estudo foram aproveitados 15 corpos de prova (CPs) provenientes de pesquisa realizada no laboratório de Pavimentação da UFRB, em 2016, a qual avaliou a influência do tipo de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), convencional e modificado por polímero, na resistência e deformabilidade de uma mistura asfáltica a quente densa. Os CPs remanescentes deste experimento não apresentavam nitidez na identificação do teor de produção das amostras. Sabe-se, entretanto, que os teores de projeto adotados na confecção dos CPs na referida pesquisa foram de 4,0; 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% e 6,5%, sendo 6 amostras para cada teor, totalizando 36 CPs. Para a preparação das amostras do presente estudo, cada um dos 15 CPs selecionados foi levado a estufa a 110°C por uma hora e em seguida destorroados. Por fim, cada CP foi quarteado individualmente e dividido em amostras com cerca de 400g para ser ensaiado na Mufla e no Soxhlet. Cerca de 1/3 de cada um dos 15 CPs foi reservado para realização de ensaio futuro no Rotarex. As amostras foram armazenadas em embalagens plásticas, devidamente vedadas, afim de minimizar o risco de perda de massa.

2.2. Método do refluxo (Soxhlet)

A extração de ligante pelo método do refluxo com utilização do Soxhlet foi realizada seguindo o procedimento sugerido pela norma DNIT 158/2011. Inicialmente foram confeccionados filtros em formato de cartuchos cilíndricos utilizando papel filtro, os quais foram responsáveis por revestir a lateral e o fundo da câmara de extração, minimizando o risco de perda de agregado durante a lavagem da amostra. Para cada extração, após preparado, o cartucho foi colocado dentro do bquer e pesado. Em seguida adicionou-se aproximadamente 400g da amostra e o seu peso foi novamente aferido, sem retirá-los do bquer (Figura 2a). Encheu-se o balão, em torno de 2/3 da sua capacidade, com o solvente tricloroetileno. O balão foi aquecido através da manta aquecedora até uma temperatura média de 173°C (Figura 2b). Durante a realização do ensaio, buscou-se controlar a temperatura do balão pertencente ao conjunto extrator de modo que o solvente entrasse em ebulição mantendo-se uma taxa constante de destilação.

O ensaio foi finalizado somente quando o solvente retornou completamente límpido ao balão. Ao longo da pesquisa, percebeu-se que para o tipo de mistura analisada, foram necessárias em média 6 horas para finalizar o processo de extração. Após essa etapa, como um procedimento de segurança, esperou-se a amostra esfriar, tomando-se cuidado para que durante o processo, a água que resfria o tubo condensador não fosse desligada, evitando que o solvente evaporasse e escapasse do conjunto.

O cartucho contendo a amostra foi levado a estufa a (110 ± 5) °C durante 24h (Figura 2c), permitindo a evaporação do solvente em excesso e atingindo massa constante. Em seguida, com o auxílio do bquer utilizado inicialmente, foi realizada a última pesagem e calculado o teor de ligante presente na amostra.

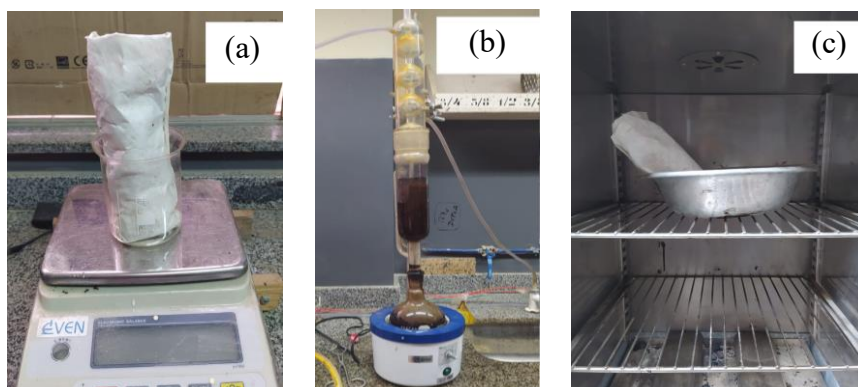


Figura 2: Etapas de extração através do Soxhlet

2.3. Método da ignição (Mufla)

Com o intuito de realizar o ensaio de ignição a partir do forno Mufla, inicialmente foi aferido a massa do conjunto cesta-bandeja. Em seguida, foi selecionado e adicionado ao conjunto uma amostra com cerca de 400g oriunda do mesmo corpo de prova ensaiado no Soxhlet. O conjunto cesta-bandeja e amostra foi novamente pesado e submetidas a queima do ligante asfáltico na câmara do forno, tomando cuidado para que a bandeja não encostasse nas laterais da câmara (Figura 3a). Para a realização desse processo foi utilizado uma temperatura de 540°C, alcançada após 30 minutos, de acordo com a taxa de crescimento adotada no equipamento, e mantida constante por um período de 4 horas, totalizando 4,5 horas.

Durante o ensaio, para garantir a manutenção da temperatura do ensaio em 540°C, o forno de ignição ficou em constante vigilância. Após o tempo de queima, o forno permaneceu fechado durante 20h, devido ao turno de trabalho do laboratório em que estava sendo realizado os ensaios (Figura 3b). O conjunto foi novamente pesado (Figura 3c) e a partir disso foi calculado a porcentagem de CAP na mistura segundo equação definida pela norma ASTM D 6307-10.

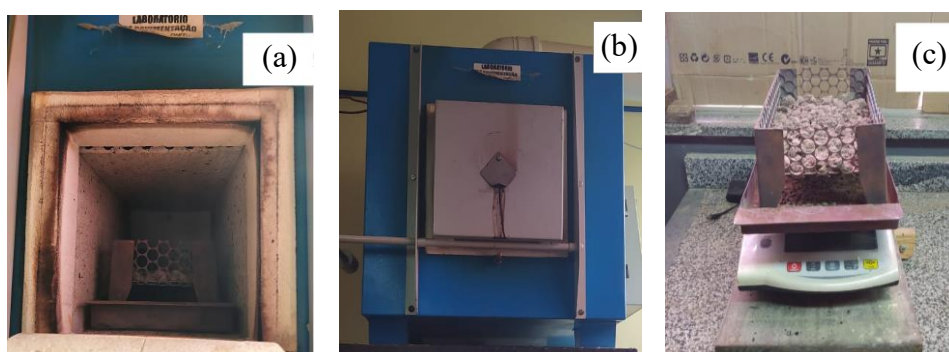


Figura 3: Etapas de extração através da Mufla

O ensaio para determinação do fator de correção, sugerido pela ASTM D 6307-10, foi realizado através da queima em triplicata de 1000g de agregado que constitui os corpos de prova, previamente seco em estufa, seguindo o mesmo procedimento já mencionado para a extração.

2.4. Ensaio de granulometria

Com o objetivo de verificar a influência da granulometria da mistura no teor de ligante determinado pelos dois métodos testados, após a extração de cada amostra o material resultante foi submetido a análise granulométrica de acordo com a norma DNER 083/1998. Estas, por sua

vez, foram submetidas ao ensaio utilizando às peneiras 1 ½”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, 4, 10, 40, 80 e 200, conforme prescrito na norma DNIT 031/2006 que trata de concreto asfáltico. Vale ressaltar que esse é um passo muito importante para validar a comparação entre os métodos de extração, uma vez que o teor de ligante é bastante sensível à granulometria. De modo geral, quanto mais fina for a amostra, maior será o teor de ligante presente naquela porção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Ensaio de controle com o Soxhlet

A Tabela 1 apresenta os valores individuais de teor de ligante de cada corpo de prova testado, determinado através do ensaio de extração no Soxhlet, bem como respectivos valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

A partir da Tabela 1 é possível identificar que a amostra que apresentou o maior desvio padrão foi a com teor médio de 5,64%. Este, por sua vez, também possui a menor homogeneidade entre os resultados, o qual é representado pelo coeficiente de variação de 11,11%. Além disso, as amostras com teor médio de 5,37% também tiveram um coeficiente de variação alto, sendo esse igual a 10,66%.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de extração do Soxhlet

Corpos de Prova	Teor de Ensaio	Teor Médio	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
CPI	4,75%			
CPII	5,47%	5,37%	0,57	10,66%
CPIII	5,88%			
CPIV	5,28%			
CPV	6,36%	5,64%	0,63	11,11%
CPVI	5,27%			
CPVII	6,55%			
CPVIII	6,53%	6,60%	0,11	1,67%
CPIX	6,73%			
CPX	6,23%			
CPXI	6,72%	6,50%	0,25	3,82%
CPXII	6,54%			
CPXIII	7,41%			
CPXIV	6,86%	6,99%	0,38	5,45%
CPXV	6,68%			

3.2. Ensaio com a Mufla

O resultado obtido para o fator de correção que expressa a perda de massa excedente em relação a massa de ligante da amostra, estar apresentado na Tabela 2. Vale ressaltar que esse fator é devido a combustão da água de constituição.

Tabela 2: Resultados dos ensaios do fator de correção

Amostra I	Amostra II	Amostra III	Fator de Correção
0,37%	0,40%	0,44%	0,40%

a Tabela 3 estão dispostos os teores de ligante obtidos para cada corpo de prova através do ensaio de extração realizado na Mufla, bem como respectivos valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação e o teor corrigido através do fator de correção. Além disso, também consta na Tabela 3 a variação do teor de ligante medido com a Mufla em relação aos resultados obtidos no ensaio de extração via Soxhlet (Tabela 1) para os mesmos CPs.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de extração da Mufla

Corpos de prova	Teor de ensaio	Teor corrigido	Teor Médio	Desvio Padrão	Coeficiente de variação	Variação do teor
CPI	4,46%	4,06%				-1,31%
CPII	4,44%	4,04%	4,16%	0,19	4,45%	-1,33%
CPIII	4,77%	4,37%				-1,00%
CPIV	5,00%	4,60%				-1,04%
CPV	5,86%	5,46%	4,88%	0,50	10,23%	-0,18%
CPVI	4,99%	4,59%				-1,05%
CPVII	5,62%	5,22%				-1,38%
CPVIII	5,15%	4,75%	4,95%	0,24	4,94%	-1,85%
CPIX	5,27%	4,87%				-1,73%
CPX	6,09%	5,69%				-0,81%
CPXI	5,86%	5,46%	5,54%	0,13	2,30%	-1,04%
CPXII	5,88%	5,48%				-1,02%
CPXIII	6,69%	6,29%				-0,69%
CPXIV	6,12%	5,72%	5,93%	0,31	5,28%	-1,26%
CPXV	6,18%	5,78%				-1,20%

Através da análise dos resultados é possível perceber que o maior desvio padrão encontrado foi de 0,5 para as amostras com teor médio igual a 4,88%. Da mesma forma, essa mesma amostra também apresentou o maior coeficiente de variação, significando que os resultados encontrados possuem o maior grau de variabilidade em relação à sua média.

A variação do teor apresentado na última coluna da Tabela 3, se deu pela diferença entre o teor médio obtido através do Soxhlet e o de cada uma das amostras ensaiadas no forno. Esse parâmetro evidencia que as amostras ensaiadas na Mufla expressam resultados inferiores aos de controle.

3.3. Granulometria das misturas pós extração

Na Figura 4 estão dispostas as médias das granulometrias dos agregados recuperados após os ensaios. Como pode ser observado, as análises granulométricas não apresentaram variações significativas suficientes para afetar o teor final das amostras. Todas as amostras encontram-se enquadradas na faixa C do DNIT, não ocorrendo extrapolação dos limites impostos para mistura asfáltica em nenhuma das peneiras, com exceção das amostras do teor de controle de 6,99%, as quais não atenderam a faixa C na peneira 3/8". Uma vez que essa falha ocorreu na granulometria das amostras extraídas por ambos os métodos, pode-se inferir que há possibilidade de ter ocorrido um erro na dosagem da mistura asfáltica desses corpos de prova. Portanto o controle tecnológico não está sendo comprometido pela distribuição granulométrica.

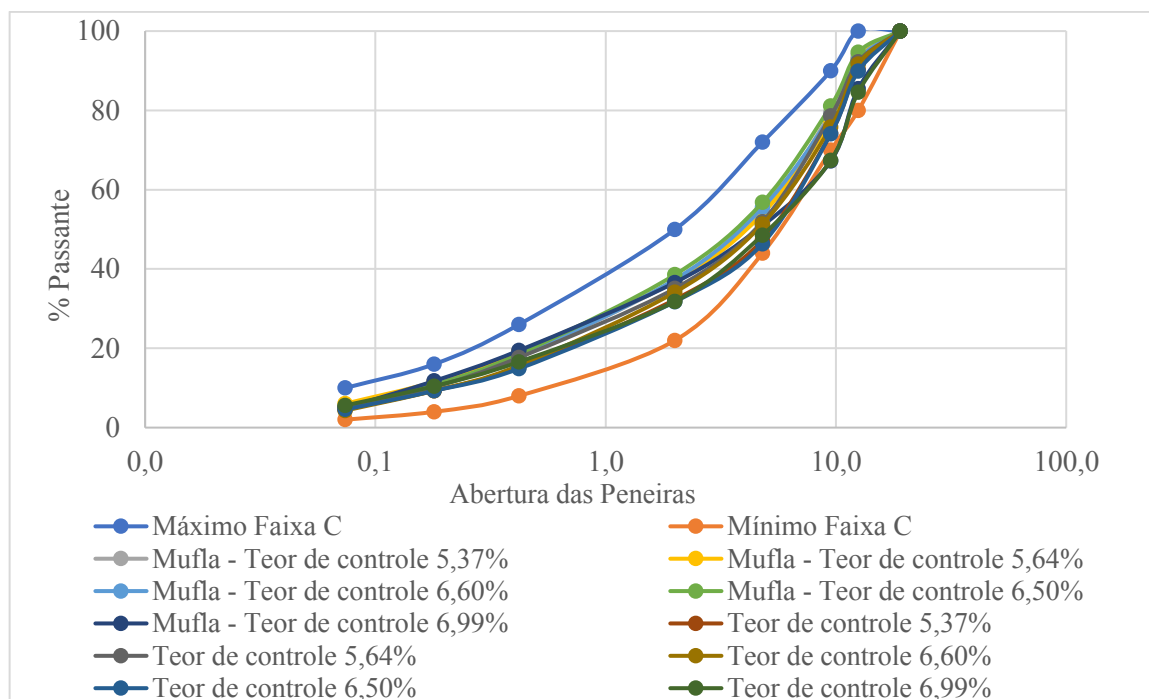


Figura 4: Média das granulometrias para cada teor de controle

3.4. Relação entre os resultados da Mufla e Soxhlet

Na realização do ensaio de extração do ligante é possível aferir o real teor presente na mistura asfáltica. Nesse sentido, a avaliação das amostras não foi realizada tendo o teor de projeto como referência principal, em função da identificação dos CPs utilizados, conforme já relatado no item 2.1. Assim, a análise principal dos dados para averiguar a eficiência da Mufla na extração de CAP das misturas asfálticas densas avaliadas, foi feita com base na dispersão dos resultados das amostras com mesmo teor em relação a sua média.

As médias dos teores obtidos nos ensaios de extração, apresentados nas Tabelas 1 e 3, foram dispostos graficamente, como pode ser observado na Figura 5.

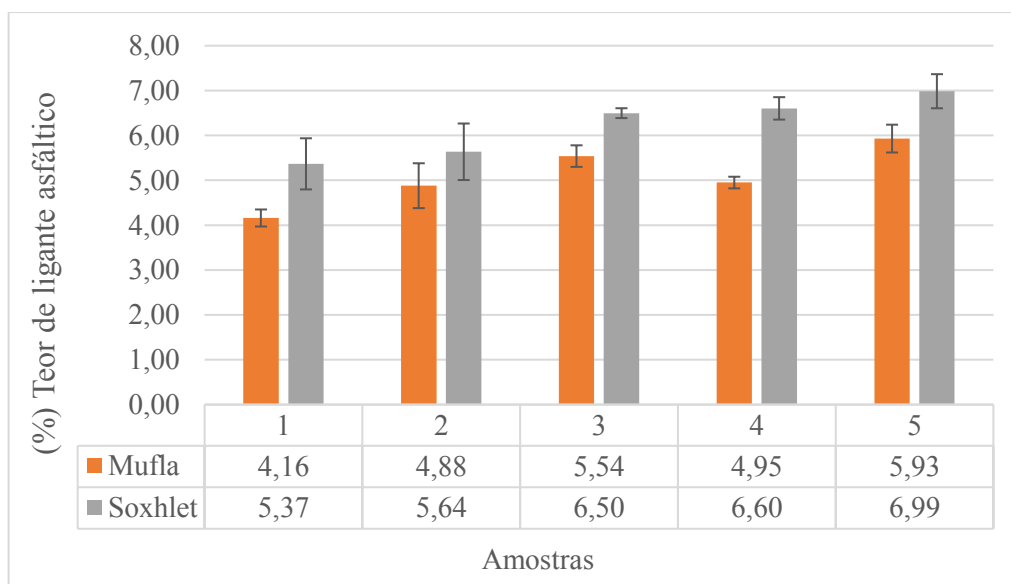


Figura 5: Média dos teores de ligante

Através da análise dos dados nota-se que o resultado encontrado na Mufla é, em média, 18% menor que o do Soxhlet. Esta tendência da Mufla em apresentar teores menores que o Soxhlet está em acordo com Silva (2001), entretanto, com uma diferença maior entre os dois métodos. Este fato pode estar relacionado a quantidade de refluxos as quais as amostras do Soxhlet foram submetidas que, em conjunto com os aspectos relacionados ao próprio filtro utilizado, podem ter proporcionado perdas de massa excessivas nesse equipamento, ocasionando o aumento do teor medido. Prova disso é que a última amostra testada com o Soxhlet apresentou teor de 6,99%, acima do teor máximo existente no conjunto dos CPs herdados do experimento de 2016, o qual foi de 6,5%.

Através da Figura 6, é possível comparar os Coeficientes de Variação (CV) das amostras ensaiadas pelos dois métodos de extração abordados nessa pesquisa. Desta forma, observa-se que os resultados dos ensaios da Mufla apresentaram CVs inferiores aos do Soxhlet, com exceção das amostras oriundas dos corpos de prova teor 4, nos quais embora o CV da Mufla seja maior que o do Soxhlet ambos são considerados baixos (< 5%). A Figura 6 também destaca que as amostras com as maiores dispersões nos resultados foram provenientes dos CPs do Teor 2 os quais, junto às amostras ensaiadas com o Soxhlet no Teor 1 apresentaram CVs da ordem de 10% ou superiores, os quais são considerados elevados.

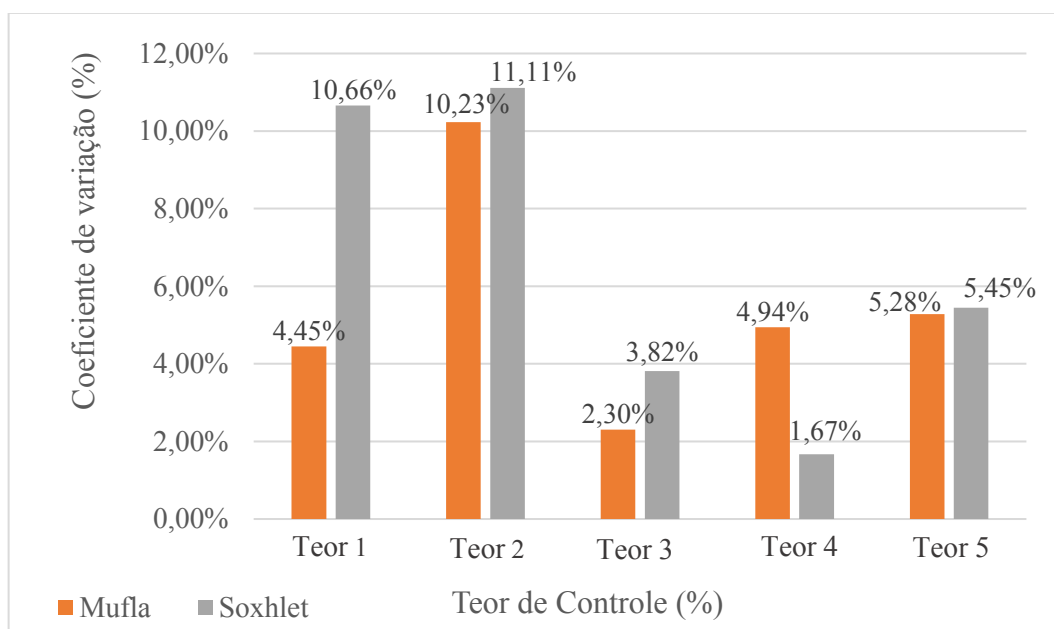


Figura 6: Coeficiente de variação do resultado dos ensaios de extração

Em tese, independente do equipamento utilizado para o ensaio de extração, o resultado final deveria ser o mesmo. Entretanto, não é isso que ocorre, pois, cada equipamento tem um grau de precisão, erros associados, entre outros fatores que podem gerar dispersões nos resultados. A Figura 7 apresenta a linha de igualdade dos resultados, que junto com os dados experimentais, facilita a visualização da correlação entre os dois métodos testados.

Observando a Figura 7 é possível perceber que para todas as amostras testadas os teores de ligante medidos com a Mufla foram inferiores aos medidos com o Soxhlet. Isso pode ter acontecido provavelmente por conta de algum nível de perda de material associado ao Soxhlet, anteriormente relatado e também destacado por Silva (2001) na avaliação de seus resultados.

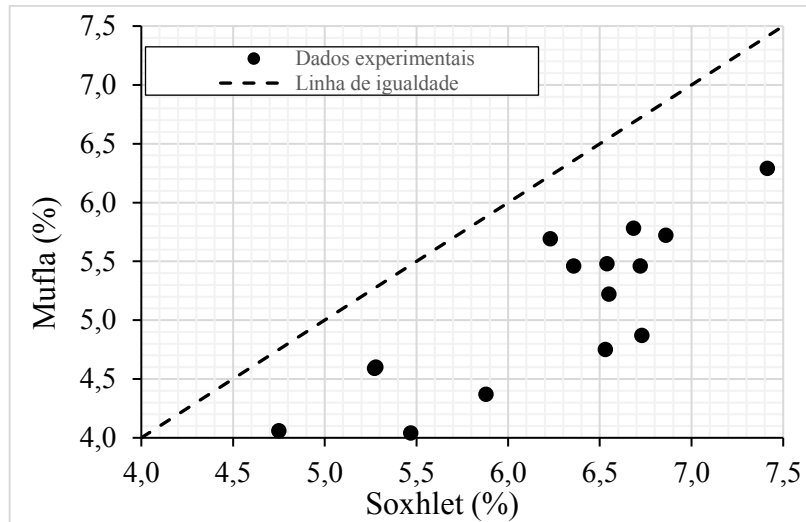


Figura 7: Relação de igualdade esperada entre os equipamentos

Ao correlacionar os dados obtidos em ambos os equipamentos, foi possível observar uma relação não linear entre eles, a qual está devidamente apresentada na Figura 8.

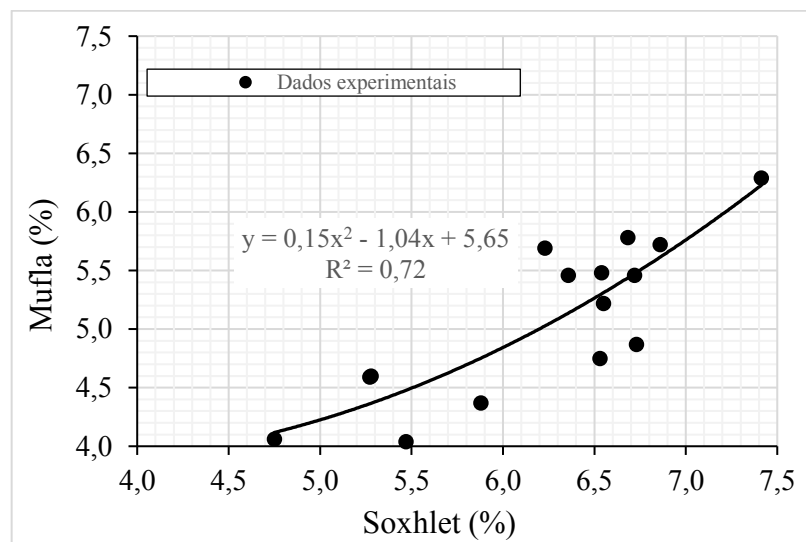


Figura 8: Correlação entre os equipamentos

Da Figura 8 é possível perceber que a correlação entre os resultados obtidos com a Mufla e com o Soxhlet pode ser definida por uma equação polinomial de segundo grau. Entretanto, o coeficiente de determinação (R^2) obtido de 0,72 caracteriza que a correlação é de baixa confiabilidade ($< 0,75$).

4. CONCLUSÕES

Através da análise dos dados obtidos nessa pesquisa, é possível perceber que as amostras ensaiadas a partir da Mufla possuem coeficientes de variação inferiores aos obtidos através dos ensaios de controle. Sendo assim, pode-se concluir que o método da ignição gerou resultados mais próximos para uma mesma amostra. Vale ressaltar que quanto ao teor medido, as amostras ensaiadas na Mufla geraram resultados, em média, 18% inferiores aos do controle, onde o baixo valor R^2 do ajuste realizado indica a necessidade da realização de ensaios adicionais para

apontar uma tendência mais consistente entre os dois métodos.

Uma vez que o tempo gasto para extração do ligante asfáltico na Mufla foi inferior ao do Soxhlet, tem-se que o forno de ignição se apresentou como uma alternativa favorável nesse quesito, embora o tempo gasto para o Soxhlet possa ter sido demasiado. Entretanto, a realização do ensaio exige um menor tempo de operação, uma vez que o teor de ligante asfáltico pode ser obtido logo após a queima, fator bastante favorável para a rotina laboratorial.

Quanto as vantagens da utilização da Mufla no processo de extração, tem-se que a mesma não necessita de solvente para a execução do ensaio. Na maioria das vezes, os solventes são de difícil acesso, com elevado custo de aquisição, podendo ainda gerar riscos à saúde do operador caso não seja manuseado com os equipamentos de proteção adequados. Outra vantagem da Mufla é que durante a extração não há perda de agregados, como acontece com outros equipamentos que possuem a mesma finalidade.

Como desvantagem cabe destacar que a Mufla impossibilita a recuperação do ligante extraído da amostra, visto que o mesmo sofre combustão durante a realização do ensaio, impedindo, assim, que o asfalto obtido da extração possa ser caracterizado. O mesmo ocorre com a extração via Soxhlet onde as temperaturas empregadas no processo de extração chegam a ultrapassar a máximo admissível para ligante asfáltico (177 °C), inviabilizando, também, sua recuperação para caracterização.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) pela concessão da bolsa de Iniciação Tecnológica (2019/2020) a qual possibilitou o desenvolvimento deste Trabalho de Pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2013) NBR 16208 - *Determinação do Teor de betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex e pelo refluxo duplo*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ASTM (2010) D 6307 – *Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- 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.
- Brown, E. R.; Murphy N.; Yu L. e Mager S. (1995) *Historical Development of Asphalt Content Determination by the Ignition Method*. NCAT Report 95-02. 28 p. National Center for Asphalt Technology. Alabama Department of Transportation, Auburn, AL.
- Carvalho, A. L. (2018). *Dosagem de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente com Asfalto Fresado*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, DF.
- CNT (2019) *Pesquisa CNT de rodovias 2019 – Release e Principais dados*. Confederação Nacional de Transportes. SEST SENAT, Brasília.
- DNER (1998a) ME 083 – *Agregados – Análise Granulométrica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1995) ME 043 - *Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall*. MT. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994a) ME 053 – *Misturas Betuminosas – percentagem de betume*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006a) ES 031 - *Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico -Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2011b) ME 158 - *Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- Gonçalves, B. C. S. (2017) Avaliação dos procedimentos para determinação de teor de ligante e granulometria em

concretos asfálticos de diferentes faixas granulométricas e origens mineralógicas. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS.

Láo, T., Santo, V. L. E., Ramos, C. R. (2014) Determinação do Teor de Ligante em Misturas Asfálticas a Quente Através do Forno de Ignição por Convecção - Parte 2. *Revista Asfalto em Revista*, n° 38.

Silva, P. B., Fortes, R. M. (2001) *Estudo comparativo entre os ensaios Rotarex, Soxlet e Mufla na determinação do teor de betume de uma massa asfáltica*. 2nd Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, Auburn, Alabama, 13p.

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

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

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

Francisco Antônio da Silva Neto (fasneto2@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