

# AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO MISTURADO A FRIO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE CURA DA EMULSÃO

Josué Alves Roso<sup>1</sup>, Deise Dias do Nascimento Machado<sup>2</sup>, Rafael Henrique Freire de Godoy<sup>3</sup>,

Felipe Alves Torello Viera<sup>4</sup>, Gabriela Neves Luiz<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Prof. Mestre da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>2</sup> Prof.<sup>a</sup> da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

<sup>3</sup> Auxiliar Docente do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

<sup>4,5</sup> Graduados do curso de Movimento de Terra e Pavimentação FATEC – SP

<sup>1</sup>[jaroso@fatecsp.br](mailto:jaroso@fatecsp.br), <sup>2</sup>[deisedias@fatecsp.br](mailto:deisedias@fatecsp.br), <sup>3</sup>[godoy.rafael@fatecsp.br](mailto:godoy.rafael@fatecsp.br), <sup>4</sup>[felipe\\_viera@yahoo.com](mailto:felipe_viera@yahoo.com)

<sup>5</sup>[gabrielanevesluis@gmail.com](mailto:gabrielanevesluis@gmail.com)

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de cura na resistência à tração, estabilidade, fluência e porcentagem de vazios do asfalto pré-misturado a frio. As misturas foram constituídas de agregados graúdos, agregados miúdos e emulsão asfáltica, baseadas no método de dosagem Marshall para satisfazer as normas do DER e do DNIT, buscando-se definir a proporção de agregados, ligante e também a matriz de ensaios para observação dos resultados. Foram moldados diversos corpos de prova com esse tipo de mistura, variando o tempo de cura da emulsão para sua compactação, a fim de submetê-los a ruptura em prensa para obter os resultados dessas grandezas e verificar suas variações. Depois de realizados os ensaios, observou-se que essas grandezas apresentaram variações significativas demonstrando a influência do tempo de cura das emulsões asfálticas na compactação dos pré-misturados a frio.

## 1. Introdução

O pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplenagem, destinada a resistir as tensões exercidas pelo tráfego, transmitindo-as, de forma atenuada, às camadas inferiores, além de melhorar o rolamento, fornecendo ao usuário conforto e segurança (adaptado de BERNUCCI, et al, 2010)[1].

Há muitas variações de pavimento, tanto em relação a espessura quanto aos materiais utilizados, estes serão definidos de acordo com as solicitações da via. Basicamente, para obter um pavimento flexível, temos as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço subleito e subleito (adaptado de BERNUCCI, et al, 2010).



Figura 1: Camadas de um pavimento

Neste trabalho foi abordado o revestimento pré-misturado a frio, que apresenta fácil produção, e é menos agressivo ao meio ambiente, devido ao fato de não ser necessário aquecimento dos materiais asfálticos.

De acordo com o Departamento de Nacional de Estradas de Rodagem (DNIT), “[...] pré-misturado a frio é uma mistura executada à temperatura ambiente, em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio”, podendo ser empregado em diversas camadas de pavimento, sendo elas: Revestimento; Base; Regularização; Camada de Ligação; Restauração e Reforço de Pavimento. (DNER, 1997) [2]

Aplicadas a título experimental, inicialmente, as misturas a frio, começaram a ser utilizadas no século passado na pavimentação de estradas. Até meados da década de oitenta, sua utilização era restrita a conservação ou melhoramento do perfil do pavimento (BATISTA, 2004) [3].

Dentre as vantagens do emprego da mistura a frio está a sua maior flexibilidade, pois são mais adequadas para aplicação sobre suportes relativamente deformados e/ou fendilhados e pode-se destacar o fato de não ser necessário o aquecimento do ligante betuminoso e dos agregados para sua fabricação e aplicação em campo, conferindo assim uma expressiva redução nos gastos energéticos e na emissão de poluentes. [4]

O fato de ser economicamente vantajoso e possuir características não destrutivas ao meio ambiente, fez com que crescesse o interesse o pavimento pré-misturado a frio.

Devido a crise mundial na década de noventa, houve queda de produção de emulsões betuminosas, em alguns países. Porém, a fim de reabilitar e melhorar a infraestrutura de rodovias, entre os diversos países que as utilizam, o Brasil se destaca na produção e consumo desses materiais (BERNUCCI, 2010).

Na produção de qualquer mistura betuminosa, é necessário que haja um estudo laboratorial de sua composição, em relação à quantidade e qualidade dos materiais a serem utilizados. Assim sendo, o objetivo é obter uma mistura resistente, que apresente alta

qualidade, sendo capaz de suportar a ação do tráfego e das intempéries.

Da mesma forma é para as misturas a frio, entretanto os critérios e metodologias usadas para obter uma mistura com alta qualidade, ainda não foram completamente especificados e aceitos pelas autoridades competentes, de forma unânime, entre os diversos países que a utilizam.

Apesar disso, todos os que utilizam esse tipo de mistura buscam um mesmo resultado, ou seja, uma mistura com boa trabalhabilidade, além de estabilidade e um bom comportamento mecânico. [5]

## 2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa foi estudar as misturas asfálticas usinadas a frio, observar seu comportamento e sua utilização, avaliar algumas características mecânicas dessa mistura, tais como ruptura à tração, estabilidade Marshall, fluência e porcentagem de vazios, por intermédio de ensaios de laboratório.

Especificamente, este estudo fez uma análise dessas grandezas em função da variação do tempo de cura da emulsão na compactação do pré-misturado a frio.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1-Ensaio Marshall

Foram escolhidos os resultados dos ensaios Marshall (estabilidade e Fluência) e Resistência à Tração como parâmetros para definição de comparação.

O ensaio Marshall é parte do método de dosagem e é utilizada para determinar a estabilidade, volume de vazios, vazios do agregado mineral, relação betume vazios e a fluência das misturas asfálticas. A estabilidade é definida como “Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf)” (DNER, 1995).

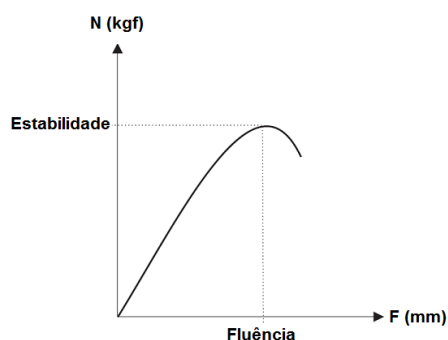


Figura 2: Exemplo de resultado de ensaio de estabilidade Marshall. Fonte: Bernucci et al (2010)

Tal resistência à compressão radial traduz a resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, no qual o “esqueleto” formado pelos agregados colabora com a resistência ao atrito, que é função de sua granulometria, forma e resistência mecânica e o ligante colabora com a coesão da mistura, que é função de sua viscosidade, que varia de acordo com a temperatura da

mistura quando da aplicação da carga, da velocidade do carregamento, da área de contato, etc.

### 3.2-Resistência à Tração

O ensaio de compressão diametral, conhecido internacionalmente como “ensaio brasileiro”, desenvolvido originalmente por Lobo Carneiro em 1943 para determinar indiretamente a resistência à tração de corpos de prova cilíndricos de concreto Portland é utilizado com a mesma finalidade, desde 1972 (Bernucci et al., 2010), para misturas asfálticas.



Figura 3: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio, que utiliza o mesmo corpo-de-prova e equipamento do ensaio Marshall consiste na aplicação de duas cargas distribuídas, diametralmente opostas, ao longo da altura do corpo-de-prova cilíndrico.

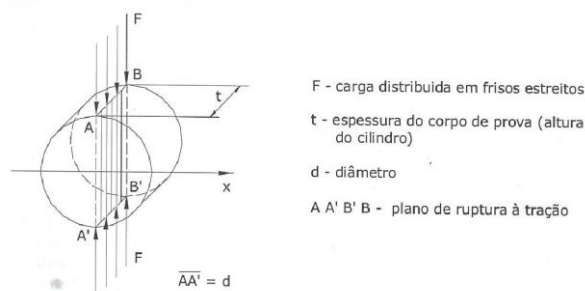


Figura 4: Esquema físico do ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Fonte: Medina e Motta (2005)

As cargas aplicadas geram tensões de tração uniformes e perpendiculares ao longo do diâmetro do corpo-de-prova, dando origem a um estado biaxial de tensões e levando o corpo de prova a romper no plano vertical que passa pelo centro de gravidade do corpo de prova.

### 3.3-Granulometria

As misturas a frio serão realizadas com granulometria na faixa IV do Instituto do Asfalto( figura 5), sendo que o teor de resíduo asfáltico utilizado na mistura será determinado pelo ensaio Marshall.

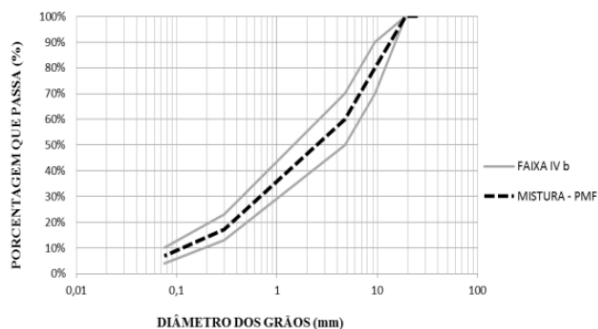


Figura 5: Faixa Granulométrica

### 3.4-Emulsões Asfálticas

Para obter um CAP com viscosidade de trabalho ideal nos serviços de pavimentação, evitando o seu aquecimento, é válido promover mudanças no ligante. Para isso utilizam-se dois processos:

- adição de um diluente volátil ao asfalto;
- emulsão do asfalto, sobre o qual abordaremos.

O manual de emulsões asfálticas do Instituto Brasileiro de Petróleo 1999[6], define as emulsões como suspensões de materiais asfálticos finamente divididos em pequenos glóbulos ( $1 \mu\text{m} \leq \phi \leq 10 \mu\text{m}$ ) dispersos em uma fase contínua que é a água.

As emulsões são obtidas combinando-se asfalto aquecido, água e agentes emulsificantes, que tem como finalidade favorecer a dispersão e revestir os glóbulos de asfalto com uma película protetora, mantendo-se em suspensão.

Neste trabalho foi utilizado a emulsão RL-1C

### 3.5 - Pré-misturado a frio

Para as misturas asfálticas a frio são utilizados materiais que podem ser trabalhados (misturados, transportados e compactados) à temperatura ambiente, conferindo assim uma grande vantagem em relação às misturas a quente uma vez que estas necessitam de altas temperaturas para as agregados e para os ligantes alcançarem a viscosidade ideal, gerando maiores investimentos e desprendimento de energia e, conseqüentemente, gerando um aumento no impacto ambiental. Nas misturas a frio, a viscosidade ideal é obtida pela mistura do ligante com água e agentes emulsificantes. [7]

Em misturas a frio, a fim de verificar as condições de vazios, estabilidade e fluência deve-se utilizar o Método Marshall modificado, de acordo com o DNER – ES 317/97, atendendo os valores da tabela 6:

Tabela 6: Valores para ensaio Marshall

PORCENTAGEM DE VAZIOS (%)	5-A-30
ESTABILIDADE MÍNIMA	250 kgf (75 GOLPES)
	150 kgf (50 GOLPES)
FLUÊNCIA MÍNIMA (mm)	2,0 - 4,5

### 3.6 - Traço da mistura

Tabela 7: Traço da Mistura % em massa

Material	Composição dos Agregados (%)	Composição da Mistura (%)
Brita 1	22	21,09
Pedrisco	22	21,09
Pó de Pedra	53.50	51,15
Cal	2.50	1,97
RL-1C		4.70 (resíduo)
TOTAL	100	100

### 3.7 - Matriz dos ensaios

Foram efetuadas três misturas, cada uma com um tempo inicial diferente, gerando, na matriz de ensaio, três grupos de misturas distintas, que serão denominadas (M1, M2 e M3), tendo sido misturadas nas mesmas condições, para buscar manter semelhança nas características dos corpos de prova.

Cada grupo gerou 6 CP's (figura 8) que foram moldados em intervalos de tempo distintos, ou seja, a compactação do corpo de prova foi realizada com a variação do tempo de cura, a fim de que os intervalos de compactação fossem os mesmos entre os CP's de cada grupo.



Figura 8: Corpos de prova – Marshall

A mistura então é compactada com o soquete Marshall. Aplica-se 75 golpes na face superior do CP, em seguida, retira-se o anel superior e a placa base e inverte-se o anel inferior (180°), monta-se novamente o sistema e então é aplicado 75 golpes na outra face do CP, com o soquete Marshall.

Após a moldagem dos 18 CP's, os mesmos foram armazenados em local apropriado, permanecendo por 10 dias corridos em processo de cura. Após a secagem, desmoldou-se os CP's, e os mesmos foram rompidos para determinação da RT, da Estabilidade e da Fluência.



Figura 9: Corpo de prova ensaiado - Marshall

#### 4. Resultados

Por intermédio dos ensaios Marshall de Estabilidade e Fluência e o de Resistência a Tração [8], obtivemos os resultados contidos na tabela 10, sendo ensaios de RT para o grupo M1 e ensaio Marshall para os grupos M2 e M3.

Tabela 10: Resultado dos ensaios

CPs	m1			m2			m3		
	RT (MPa)	Vazios (%)	E (kg)	Vazios (%)	Fluência (0,01")	E (kg)	Vazios (%)	Fluência (0,01")	
1	0,10	18,02	723,94	20,04	4,13	423,06	18,72	2,50	
2	0,11	17,63	351,17	19,34	4,27	442,28	18,16	4,57	
3	0,12	15,54	470,91	14,45	4,06	517,27	17,88	3,89	
4	0,14	14,99	477,28	13,23	5,80	568,38	15,24	4,38	
5	0,12	16,93	396,47	18,38	4,30	428,11	18,87	2,60	
6	0,10	17,83	386,35	17,91	3,79	395,03	18,61	2,58	

#### 4.1 - Resistência a Tração x tempo de cura

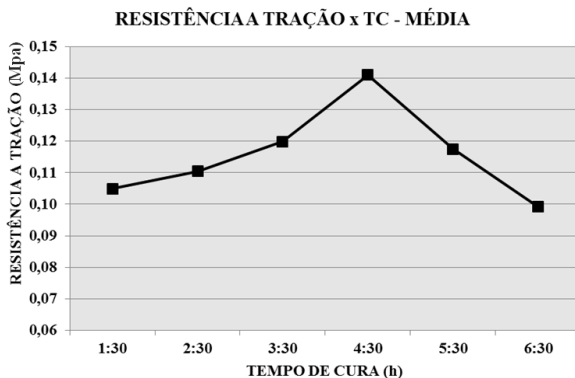


Figura 11: Resistência a Tração Média x Tempo de Cura

#### 4.2 - Fluência x tempo de cura

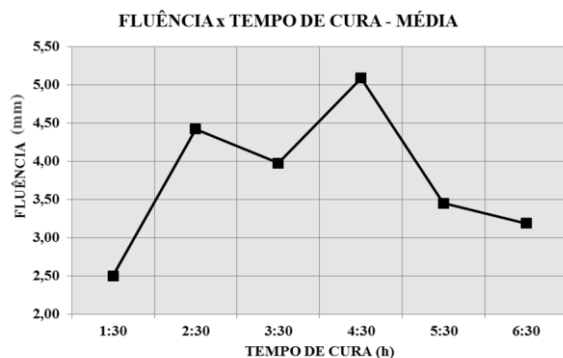


Figura 12: Fluência Média x Tempo de Cura

#### 4.3 - Estabilidade x tempo de cura

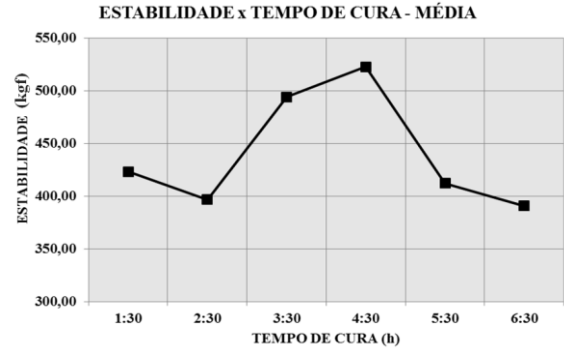


Figura 13: Estabilidade Média x Tempo de Cura

#### 4.4 - Índice de vazios x tempo de cura

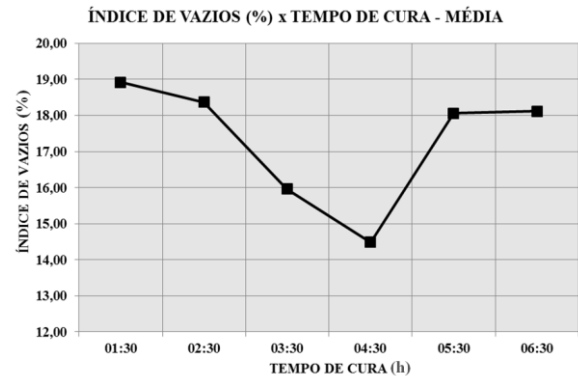


Figura 14: Índices de Vazios Médios x Tempo de Cura.

### 5. Análise dos resultados

Todos os corpos de prova foram moldados nas mesmas condições de preparação de materiais, processo de misturas, manuseio e colocação nos moldes e compactação, portanto os resultados obtidos e apresentados nesse trabalho conferem resultados comparativos entre eles.

A estabilidade apresentou variação em seus valores, de forma que o tempo de cura exerceu influência significativa nessa grandeza. Observou-se que os tempos definidos para compactação dos CPs demonstraram que os resultados de estabilidade nos primeiros corpos de prova foram relativamente baixos, e a medida que o tempo de cura aumentou, a grandeza foi elevando-se até um determinado patamar, apresentando os maiores valores de estabilidade entre quatro e quatro horas e meia de tempo de cura. Os resultados começaram a baixar os valores a medida que o tempo de cura passou de quatro horas e meia.

Os resultados da resistência a tração grandeza avaliada em um dos grupos de corpos de prova - e o da fluência demonstraram comportamento semelhante ao da estabilidade, apresentando valores mais elevados dentro do mesmo período de cura da emulsão asfáltica.

Os índices de vazios apresentaram valores maiores no início do tempo de cura das emulsões, a medida que o tempo de cura aumentou esses índices foram baixando até um determinado momento, quando voltaram a

aumentar, apresentando menor valor de vazios no período de quatro horas e meia.

As grandezas avaliadas apresentaram tendências semelhantes, reforçando o princípio de que o tempo de cura da emulsão asfáltica exerce influência significativa no comportamento mecânico das misturas asfálticas a frio.

As misturas ensaiadas apresentaram melhores resultados, num intervalo de tempo bem próximo do limite superior do tempo apresentado em norma. A norma DNER-ME 107/94 preconiza que as Misturas a frio devem observar um tempo de cura entre duas e quatro horas para a compactação.

Sendo assim, para esse universo amostral, foi verificado que o melhor intervalo de tempo de cura para a composição granulométrica e a emulsão utilizada no ensaio esteve entre quatro e quatro horas e meia, pois os resultados apresentaram valores maiores neste intervalo de tempo.

A equivalência dos resultados demonstram-se pela observação do crescimento da resistência a tração em relação a diminuição dos índices de vazios, entretanto para afirmar essa equivalência, seria necessário um universo amostral maior, inclusive para testar os resultados apresentados nesse trabalho.

## 6. Conclusão

No início da compactação os corpos de prova ainda apresentavam uma quantidade de água que impediam maior redução de vazios, a partir do processo de cura da mistura essa água reduziu-se até um determinado ponto, onde a dispersão das partículas de asfalto encontrava-se em condições ideais de compactação, à medida que o tempo aumentou, a cura conduziu a dispersão de água até uma condição onde o asfalto encontrava-se endurecido ao ponto de impedir uma maior redução dos vazios.

O tempo de cura exerce grande influência nas características mecânicas das misturas a frio nas quais as misturas ensaiadas apresentaram melhores resultados, num intervalo de tempo bem próximo do limite superior do tempo apresentado em norma. A norma DNER-ME 107/94 preconiza que as misturas a frio devem observar um tempo de cura entre duas e quatro horas para a compactação.

Observando os resultados apresentados pode-se inferir que esses tempos de cura podem ser revistos, se novos resultados em outros trabalhos apresentarem a mesma tendência de comportamentos mecânicos, associados a observação de outros fatores que podem influenciar esse resultado, tais como, temperatura de aplicação e a de compactação.

Os pré-misturados a frio apresentaram valores que permite sua utilização como revestimento em vias de tráfego que variam de pequeno a médio, mas pode ser utilizado como camada intermediária em projetos de pavimentos quaisquer.

## 7. Referências

- [1] BERNUCCI, Liedi Bariani, et al. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010
- [2] DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM . DNER 043/95 – ES: Misturas betuminosas – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995. 14p.  
\_\_\_\_\_. DNER 107/94 – DNER 107/94 – ME: Mistura Betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1994.  
\_\_\_\_\_. DNER 317/97 – DNER 317/97 – ES: Pavimentação: pré-misturado a frio. Rio de Janeiro, 1997. 14p.  
\_\_\_\_\_. DNER 405/00 – ES: Reciclagem a frio com utilização de espuma de asfalto. Rio de Janeiro, 2000. 10p.
- [3] BATISTA, Fátima Alexandra Barata Antunes. Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimento – Misturas Betuminosas Densas a Frio. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004..
- [4] POTTI, J. J. LESUEUR, D. ECKMANN, B. in direction of a cold asphalt mixes method: a optel contribution. European Roads Review, Special Issue, n. 805. p 38 – 47. April 2002
- [5] ROSO, Josué Alves. Análise do Comportamento à Fadiga de Misturas Asfálticas Densas Usinadas a Frio. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2007.
- [6] INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO IBP. Informações básicas sobre materiais asfálticos. Rio de Janeiro, 1999
- [7] SANTANA, Humberto. Manual de pré misturado a frio. Instituto Brasileiro do Petróleo/Comissão do Asfalto. Rio de Janeiro, 1993.
- [8] DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 070/2006 – ES: Micro revestimento asfáltico a frio. Rio de Janeiro, 2006. 09p.  
\_\_\_\_\_. DNIT 070/2006 – PRO: condições ambientais das áreas de uso de obras. Rio de Janeiro, 2006. 20p.  
\_\_\_\_\_. DNIT 136/2010 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.