

DOSAGEM “PASSO A PASSO”

Jorge Barbosa Soares – jsoares@det.ufc.br

Verônica Teixeira Franco Cavalcante – veronica@det.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes

Campus do Pici – Bloco 703

60455-760 - Fortaleza - CE

***Resumo.** No projeto de misturas asfálticas, determinam-se os tipos de agregados escolhidos, a faixa granulométrica utilizada, o tipo e o teor de ligante. A dosagem é a obtenção da correta proporção dos materiais que serão utilizados em uma determinada mistura asfáltica, a fim de se obter resultados especificados pela norma. O método de dosagem Marshall é o mais difundido e utilizado no mundo. Este método, todavia, pode ser modificado e associado a outros ensaios a fim de se evoluir na dosagem de misturas asfálticas, para que o dimensionamento de pavimentos seja mais racional e o nível de confiabilidade nos projetos de pavimentos aumente. Este trabalho apresenta um resumo prático que reúne a seqüência de atividades que devem ser executadas durante a moldagem de corpos de prova. O trabalho foi dividido em 5 partes: (1) escolha e caracterização dos agregados; (2) especificação do ligante; (3) moldagem de corpos de prova; (4) obtenção do teor ótimo de ligante e (5) identificação de possíveis fatores causadores de erros neste processo.*

***Palavras-chave:** Dosagem, Agregados, Ligante, Teor Ótimo*

1. INTRODUÇÃO

No projeto de misturas asfálticas, determinam-se os tipos de agregados escolhidos (graúdo, miúdo e fíler), a faixa granulométrica utilizada, o tipo e o teor de ligante. A dosagem é a obtenção da correta proporção dos materiais que serão utilizados em uma determinada mistura. Para uma dosagem adequada, é necessário conhecer-se as quantidades dos materiais que serão utilizadas, a temperatura de mistura e o procedimento que deve ser cumprido para que o resultado seja o especificado pela norma. É importante conhecer-se bem o método de dosagem e, principalmente, os impasses que surgem durante a moldagem de corpos de prova. Finalmente, deve-se chegar a soluções e alternativas que contribuirão para uma mistura dentro das especificações.

O método de dosagem Marshall é o mais difundido e utilizado no mundo. Este método foi desenvolvido no Mississippi Highway Department por Bruce Marshall em 1939. O corpo

de engenheiros dos E.U.A. através de extensivas pesquisas e estudos correlatos, melhorou e adicionou certas características ao procedimento do teste Marshall e desenvolveu um projeto de norma para a mistura (Asphalt Institute, 1989). Apesar da dosagem Marshall ser considerada empírica, diante da falta de aparelhagem moderna dos laboratórios brasileiros, este método torna-se de fundamental importância para o projeto de misturas asfálticas e para o controle tecnológico das mesmas.

O presente trabalho tem por objetivo organizar de forma didática o procedimento de moldagem de corpos de prova, a fim de minimizar o tempo para esta atividade. Pretende-se que o trabalho seja um resumo prático e organizado reunindo a seqüência de atividades para a realização da moldagem de corpos de prova. O trabalho foi dividido em 5 partes: (1) escolha, origem, constituição e ensaios para a caracterização dos agregados; (2) ensaios realizados para a especificação do ligante; (3) moldagem de corpos de prova; (4) obtenção do teor ótimo de ligante e (5) identificação de possíveis fatores causadores de erros durante este processo.

2. AGREGADOS

Os agregados são muito importantes na composição das misturas asfálticas, pois correspondem à cerca de 77% de seu volume e 94% de seu peso (Santana, 1992). Quanto à origem, os agregados podem ser: (a) naturais (seixo rolado, areia de rio, areia de campo, etc.) (b) processados (britagem de rocha ou seixo rolado); (c) sintéticos ou artificiais (escória de alto forno e argila expandida) e (d) o revestimento fresado (reaproveitamento de materiais de antigos pavimentos que são destruídos ou recuperados), que tem se tornado uma fonte importante de agregado mineral, o que contribui sobremaneira para minimizar o prejuízo ambiental que é causado por este tipo de resíduo.

Os agregados são ainda classificados quanto ao tamanho de suas partículas. Agregado graúdo é aquele que passa na peneira com abertura de 2" (50,8 mm) e fica retido na peneira Nº 10 (2,0 mm). Agregado miúdo é o material que passa na peneira Nº 10 (2,0 mm) e fica retido na peneira Nº 200 (0,074 mm), e fíler é o material que passa na peneira Nº 200 (0,074 mm). Costuma-se chamar de fino o agregado miúdo juntamente com o fíler, isto é, o material que passa na peneira Nº 10 (2,0 mm).

Os agregados que serão utilizados nos projetos de misturas asfálticas devem ser corretamente caracterizados. Com a obtenção das características dos agregados é possível escolher um material que resista às cargas as quais o pavimento será submetido. Para caracterizar-se corretamente os agregados é necessário que o projetista observe se a amostra ensaiada representa realmente o agregado, porque, só assim, as características determinadas serão válidas (DNER DPT I 1-64 / NBR 7216).

Para a escolha dos agregados que serão utilizados no projeto da mistura asfáltica deve-se levar em consideração, além da qualidade do material, a viabilidade econômica do mesmo. As principais características dos agregados que devem ser levadas em consideração nos serviços de pavimentação são: granulometria, forma, absorção de água, resistência ao choque e ao desgaste, durabilidade, limpeza, adesividade aos produtos asfálticos, massa específica aparente e densidade real e aparente do grão (DNER, 1996). Cada uma dessas características e suas respectivas normas são resumidas a seguir.

2.1 Granulometria (ME 083/94)

A granulometria é uma característica de fundamental importância para os agregados. O ensaio de granulometria determina a contribuição, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos nos agregados. Representada pela curva de distribuição granulométrica (porcentagem de material passando na peneira em questão \times log do diâmetro da abertura da

peneira), é uma das características que assegura estabilidade aos pavimentos. Esta propriedade afeta quase todas as propriedades importantes de uma mistura asfáltica, dentre elas, rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga, resistência à fricção e resistência a danos por umidade. A seqüência de peneiras usualmente utilizadas neste ensaio esta listada na Tabela 1.

Tabela 1. Peneiras usualmente utilizadas

Número	2"	1 ^{1/2} "	1"	¾"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº100	Nº200
Abertura (mm)	50,8	38,1	25,4	19,1	9,5	4,8	2,09	0,42	0,15	0,075

Para a realização deste ensaio, a amostra é seca em estufa, posteriormente é pesada e passada nas peneiras padronizadas indicadas na Tabela 1. A distribuição dos diferentes tamanhos dos grãos é calculada através da comparação entre o material retido em cada peneira e o total da amostra ensaiada. O material usado neste ensaio pode ser lavado ou não.

A granulometria de densidade máxima fornece um maior contato entre as partículas e diminui a quantidade de vazios no agregado. Este tipo de granulometria, apesar de conferir maior estabilidade ao pavimento, deve ser evitado. É necessária a existência de um determinado espaço de vazios para que o ligante possa ser incorporado (Motta et al., 1994).

2.2 Forma e textura (ME 086/94)

Esta é uma propriedade apenas do agregado graúdo e determina se o mesmo possui um bom índice de forma, ou seja, se é livre de partículas muito alongadas, lamelares, achatadas e arredondadas. Os agregados passam por crivos redutores e determina-se a forma do grão. O resultado deste ensaio possui grande influência sobre a estabilidade da mistura asfáltica em questão, pois os agregados lamelares são facilmente quebrados pela ação do tráfego, dando origem à formação acelerada de “panelas” na pista da rodovia. Prefere-se utilizar agregados de textura rugosa e arestas vivas (cúbicas), pois os mesmos tendem a desenvolver mais atrito interno e melhor adesividade.

2.3 Absorção de água (NBR 9777 / NBR 9737)

Este ensaio avalia a porosidade do agregado. A absorção de água é determinada em função da diferença de pesos, expressos em porcentagem, observados em uma amostra que inicialmente é mergulhada em água por 24 horas e depois seca em estufa a uma temperatura entre 100 – 110 °C. No Brasil, o asfalto absorvido pelo agregado não é levado em consideração nos projetos de misturas asfálticas. Porém, em agregados porosos este valor pode tornar-se relevante.

2.4 Resistência ao choque e ao desgaste (ME 035/94)

Esta é uma propriedade também relacionada apenas ao agregado graúdo que deve resistir ao choque e ao desgaste por atrito entre as partículas. Esta resistência é avaliada pelo ensaio de abrasão “Los Angeles”. A dureza de um determinado agregado é função do tipo de rocha da qual o agregado é proveniente. O agregado deve possuir dureza suficiente para resistir a degradação provocada pelos equipamentos de compactação, durante a construção do pavimento, e pela ação do tráfego e clima da região, durante a sua vida útil.

2.5 Durabilidade (ME 089/94)

Este ensaio avalia a durabilidade química dos agregados. A durabilidade é avaliada por meio de um ensaio em que o agregado é colocado em contato direto com uma solução padronizada de sulfato de sódio ou de magnésio.

2.6 Limpeza (ME 054/94)

Os agregados devem encontrar-se livres de materiais, como: argila, matéria orgânica, pó, silte, etc., pois, em contato com elas, a adesão com o ligante fica prejudicada. A limpeza de um agregado é determinada através do ensaio de equivalente de areia, que verifica a presença de material plástico no agregado. Materiais plásticos provocam retração e inchamento. Estes fenômenos são indesejáveis.

2.7 Adesividade aos produtos asfálticos (ME 078/94 e ME 079/94)

Esta propriedade é importante para que não haja deslocamento da película betuminosa pela ação da água. Quanto mais secas, limpas e aquecidas estiverem as partículas, mais adesividade ao ligante elas terão. Para a realização deste ensaio o ligante e o agregado são misturados. Verifica-se o recobrimento do ligante sobre o agregado. Caso não exista deslocamento da película de ligante, o agregado possui boa adesividade. Caso exista deslocamento da película de ligante, o agregado possui má adesividade. Quanto a adesividade existem dois tipos de agregados: (a) hidrófilos: quando úmidos perdem a película betuminosa e (b) hidrófogos: quando úmidos mantêm a película betuminosa. Deve-se procurar utilizar agregados hidrófogos, porém é importante atentar que um mesmo agregado pode possuir estas duas características, dependendo do tipo de ligante utilizado. Em casos extremos é possível melhorar-se a adesividade de um agregado empregando-se substâncias melhoradoras de adesividade (DOPES).

2.8 Massa específica aparente (ME 064/79)

A massa específica aparente é a relação entre a massa e o volume total do agregado. O material deve ser ensaiado no estado seco. Esta propriedade transforma unidades gravimétricas em volumétricas e vice-versa. A finalidade deste ensaio é identificar o material a partir do qual o grão é proveniente.

2.9 Densidade real, aparente e efetiva do grão (ME 084/64 e ME 081/94)

Densidade real (D) é a razão da massa de um dado volume de substância dividida pela massa de igual volume de água pura a 4 °C. Uma vez que $D = \gamma_g/\gamma_a$, onde $\gamma_a = 1\text{g/cm}^3$ é o peso específico da água a 4 °C e γ_g é o peso específico de determinada substância, tem-se que $\gamma_g = D\gamma_a$. Assim, D e γ_g são expressos pelo mesmo número, sendo que D é adimensional e γ_g tem dimensão. A densidade aparente é determinada pelo peso seco e o volume aparente (volume do agregado sólido + o volume dos poros superficiais preenchidos por água), de uma amostra de agregados e a densidade efetiva é determinada pelo peso seco e o volume efetivo (volume do agregado sólido + volume da superfície de poros preenchidos pelo asfalto), de uma amostra de agregados. A densidade efetiva é, geralmente, tomada como a média entre a densidade real e a aparente.

3. LIGANTE

Em serviços de pavimentação são usados os seguintes tipos de ligantes: cimentos asfálticos, asfaltos diluídos e emulsões asfálticas (DNER, 1996). Existem dois tipos de cimento asfáltico: o Cimento Asfáltico de Petróleo que recebe a denominação de CAP, obtido através de processos de destilação do petróleo em refinarias e o Cimento Asfáltico Natural que recebe a denominação de CAN, proveniente de jazidas naturais de petróleo encontradas na natureza. O CAP é muito mais puro e homogêneo do que o CAN, a produção mundial de CAP é bem maior do que a de CAN e nos dias atuais quase não se usa mais CAN. Este estudo contemplará apenas a caracterização do CAP, visto que esse tipo de ligante é o utilizado para revestimentos do tipo CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente).

Os cimentos asfálticos de petróleo são classificados através de sua consistência, retratada no ensaio de penetração, ou pela sua viscosidade. Quanto menor a penetração e quanto mais viscoso, mais consistente é o cimento asfáltico. Os asfaltos classificados por penetração são fabricados, tão somente, nas refinarias de Salvador e Fortaleza. De acordo com as Especificações Brasileiras IBP/ABNT-EN-78 os cimentos asfálticos classificados quanto à penetração são os seguintes: CAP 30/45, CAP 50/60, CAP 85/100 e CAP 150/200. A classificação pela viscosidade contempla três tipos (fabricados no restante do país): CAP-7; CAP-20 e CAP-40.

Para a correta especificação do ligante são realizados os seguintes ensaios: penetração, ductilidade, viscosidade Saybol-Furol, Ponto de Amolecimento (PA), ponto de fulgor Cleaveland, espuma, Efeito do Calor e do Ar (ECA) e densidade relativa (Petrobrás, 1996). Cada um desses ensaios e suas respectivas normas são resumidos a seguir.

Os ensaios aqui apresentados são todos baseados nas especificações americanas (ASTM) de cimentos asfálticos. O programa de pesquisa SHRP (Strategic Highway Research Program), depois de realizar estudos nos ligantes e nas misturas betuminosas em Universidades e Institutos de Pesquisas, considerou as especificações ASTM empíricas e formulou novas especificações para os ligantes, em março de 1993. Esta nova especificação classifica os ligantes pela temperatura máxima, intermediária e mínima a que o pavimento é submetido em serviço. As condições ambientes são especificadas em função da média dos sete dias de máxima temperatura do pavimento e a mínima temperatura de projeto do pavimento. A nova especificação utiliza a designação PG (performance grade = grau de desempenho) e foi baseada em dados de desempenho dos pavimentos. Há uma tendência mundial para adoção dessas especificações nos países desenvolvidos, porém seu uso ainda é insipiente no Brasil (Tonial e Leite, 1995).

3.1 Penetração (ASTM D5-94 / MB – 107)

A penetração é a medida vertical (em décimos de milímetros) da penetração de uma agulha, pesando 100g, em uma amostra padrão de ligante, durante um período de 5s e a uma temperatura de 25 °C. O resultado deste ensaio é utilizado para classificação de ligantes por penetração. A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. Como não se dispõe de um método simples para a determinação da viscosidade do ligante a 25 °C, a classificação por penetração tem sido bastante utilizada na especificação do mesmo. Estudos comprovam que o envelhecimento da mistura resulta numa progressiva diminuição da penetração.

3.2 Ductilidade (P – MB – 167)

A ductilidade pode ser definida como a propriedade do ligante sofrer grandes deformações e não romper. O ensaio mede a distância em que um corpo de prova padrão de asfalto, em banho de água a 25 °C, submetido pelos dois extremos à tração de 5 cm/minuto é alongado até o seu rompimento. O valor mínimo para este ensaio é de 60 cm, mas geralmente o valor encontrado é de, aproximadamente, 150 cm.

3.3 Viscosidade Saybolt-Furol (P – MB – 517)

Define-se viscosidade como sendo o atrito natural que o líquido provoca quando o mesmo é deslocado. A viscosidade do ligante depende diretamente da temperatura em que se está trabalhando. A temperatura deverá ser sempre indicada nos resultados dos ensaios. Na construção rodoviária, a viscosidade de um ligante asfáltico é determinada com aparelhos denominados viscosímetros. Um dos viscosímetros mais empregados é o viscosímetro Saybolt-Furol (Saybolt: o inventor e Furol: Fuel Road Oil; ASTM 102-93, DNER ME 04). Medi-se o tempo de escoamento de um determinado volume de ligante, com temperatura predeterminada, através de um orifício padronizado. A unidade é expressa em segundos Saybolt-Furol. Através deste ensaio é possível determinar a temperatura de trabalho no campo.

A viscosidade, em Poise, é calculada multiplicando-se o tempo de escoamento, em segundos, pelo fator de calibração do viscosímetro. As especificações mais modernas adotam a viscosidade absoluta a 60 °C (Cannon-Manning) e a viscosidade cinemática a 135 °C (Cannon-Fenske) para classificar os asfaltos em termos de consistência.

3.4 Ponto de Amolecimento (PA) (MB – 164)

Este ensaio é também conhecido como anel-bola. Tem a finalidade de obter uma referência semelhante à do ponto de fusão para o ligante. Calcula-se a temperatura na qual uma esfera de aço, com dimensão e massa estabelecidas e colocada sobre um corpo de prova de asfalto contido em um anel metálico, o atravessa e cai de uma altura determinada sobre a base-suporte. Antes da realização do ensaio, o anel cheio de asfalto e o seu suporte são aquecidos em água a uma temperatura padrão.

3.5 Ponto de fulgor Cleaveland e Espuma (MB – 50)

Os ensaios para determinação do ponto de fulgor e o ensaio de espuma no ligante são realizados em conjunto. Os dois têm por finalidade básica verificar o comportamento do asfalto quando a temperatura do mesmo sofre um aumento substancial. O ponto de fulgor de um ligante asfáltico é a temperatura acima da qual o ligante deve ser manuseado como produto inflamável. Crê-se que os CAP com alto ponto de fulgor possuem elevada durabilidade. Valores de pontos de fulgor são normalmente superiores a 230 °C. O ensaio de espuma tem por finalidade verificar a contaminação do cimento asfáltico com asfalto diluído. Aumentando-se a temperatura do ligante analisa-se a presença de espuma ou não; a presença de espuma é um indicativo de que existe água no ligante, o que não deve acontecer.

3.6 Efeito do Calor e do Ar (ECA) (MB – 425)

Este ensaio simula as condições no campo, retratando o comportamento do CAP futuramente. O CAP sofre, primeiramente, um processo de envelhecimento para depois ser

ensaiado: verificação da penetração e da variação de peso. Atualmente, já existe a estufa de filme rotativo que simula o envelhecimento do ligante que ocorre durante a usinagem e a compactação da mistura. Consegue-se aproximar um envelhecimento de até 05 (cinco) anos.

3.7 Densidade relativa (MB – 387)

A densidade relativa do ligante é calculada dividindo-se a massa do ligante a 20 °C pela massa de igual volume de água a 4 °C. A densidade é obtida utilizando-se o densímetro digital para amostras escuras (ASTM, 1994).

3.8 Solubilidade no Tricloroetileno (ASTM D 2042)

Este ensaio mede o grau de pureza do material, isto é, o teor de betume. Dissolvendo-se uma certa quantidade de CAP em tricloroetileno, verifica-se a porção insolúvel do mesmo que retrata a quantidade de impurezas que este CAP possui.

4. DOSAGEM

A dosagem correta de uma determinada mistura asfáltica é muito importante, pois um bom concreto betuminoso deve ser: (a) durável, para alcançar uma vida útil de serviço de 15 a 20 anos; (b) resistente ao deslizamento, sem exsudação na camada superficial; (c) flexível para evitar a fadiga do pavimento e (d) estável. Para que sejam conseguidas estas características na mistura devem ser seguidos os seguintes passos:

- Escolhem-se os agregados que serão utilizados no projeto em questão, verificando a relação custo × benefício. Deve-se analisar se existem agregados disponíveis nas proximidades da obra ou se é melhor transportá-los de outro local. Além da qualidade deve ser verificada a viabilidade econômica;
- Caso o projetista receba a amostra de agregados de terceiros, ele deverá ter conhecimento do tipo da obra, da camada onde a mistura será aplicada (capa, binder, etc.), da preferência do cliente por alguma faixa granulométrica, importância econômica da obra e do nível de detalhamento necessário para o projeto;
- Seca-se os agregados em estufa (com temperatura entre 100 – 105 °C) até peso constante e ensaia-se de modo a caracterizá-los, verificando se os mesmos atendem as especificações do DNER (DNER-ES 313/97);
- Enquadra-se a mistura de agregados dentro de uma faixa granulométrica, de acordo com o tipo de revestimento que se deseja construir. Compara-se a faixa de projeto com a faixa granulométrica escolhida. Tanto para o CBUQ, como para o AAUQ (Areia Asfalto Usinada à Quente), o DNER especifica três faixas granulométricas: A, B e C;
- Escolhe-se um ligante betuminoso, desde que o mesmo atenda às especificações vigentes. O ligante é um material que deve ser especificado e controlado, porque, embora possua proporção pequena na mistura, é responsável pelas propriedades mecânicas da mesma;
- Prepara-se, no mínimo, três (03) corpos de prova para cada tipo de mistura. Calcula-se a quantidade de cada agregado, conhecidas as porcentagens em que os materiais serão misturados, para um corpo de prova pesando aproximadamente 1.200 g, com altura de $6,35 \pm 0,13$ cm e diâmetro médio de 10 cm;
- Aquece-se o ligante. A temperatura deve ser fixada em função da relação viscosidade × temperatura, como é mostrado na Fig. 1, abaixo. A temperatura deve ser correspondente a uma viscosidade Saybolt-Furol entre 75 e 150 SSF (Segundos Saybolt-Furol), isto é, entre 107 e 175 °C, pois acima desta temperatura o ligante

começa a perder características da sua composição química. De preferência deve ser 85 ± 10 SSF. Deve-se levar em consideração a temperatura ambiente e as perdas no percurso até a balança;

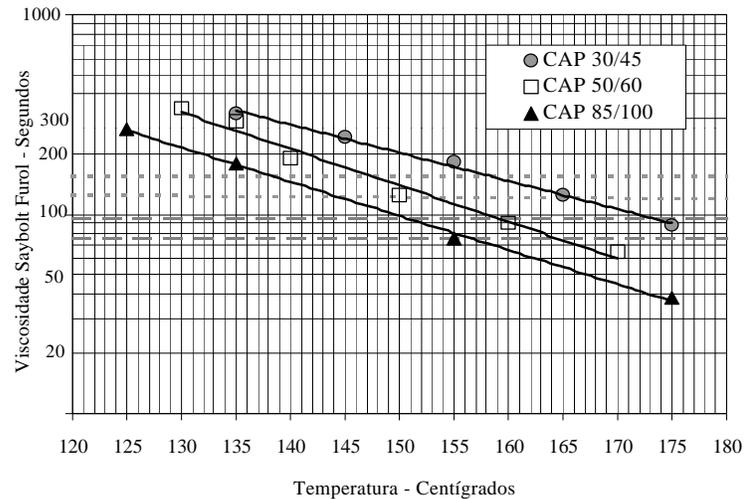


Figura 1 (Soares et al., 1999). Relação entre a viscosidade e a temperatura

- Pesam-se os agregados para um corpo de prova de cada vez, em recipientes separados, nas quantidades já determinadas, de acordo com a faixa granulométrica que se pretende utilizar. Coloca-se o recipiente na placa quente ou na estufa e aquece-se à temperatura, aproximadamente, de 10 a 15°C acima da temperatura de aquecimento do ligante. Misturam-se os agregados e forma-se uma “cratera” para receber o ligante que será pesado neste local com o auxílio de uma balança. Neste momento, a temperatura deve estar dentro das especificações e deve-se levar em consideração as perdas para o ambiente;
- Mistura-se o ligante e os agregados de forma a desenvolver completa cobertura do ligante sobre os agregados. A mistura deve ter trabalhabilidade, isto é, poder ser misturada e compactada com relativa facilidade. A temperatura deve ser a especificada, caso contrário o procedimento deve ser refeito, porque não se admite reaquecimento de misturas;
- Coloca-se a mistura, de uma só vez (evitar perdas de material), dentro do molde de compactação (cilindro metálico), que já deve estar completamente limpo e aquecido entre 90 e 150 °C;
- A temperatura de compactação da mistura deve ser aquela na qual o ligante apresenta uma viscosidade Saybolt-Furol de 140 ± 15 segundos para o cimento asfáltico;
- Compacta-se a mistura manualmente ou com a utilização de um compactador mecânico. Caso a compactação seja manual, deve ser realizada com a utilização de um martelo de 4,54 kg; 98,4 mm de diâmetro e com esforço de compactação já determinado. Os golpes dados com o soquete são realizados dos dois lados do corpo de prova e pelo mesmo operador. É importante notar que, é fundamental que haja uma correspondência entre as densidades atingidas no laboratório e no campo. As condições de laboratório devem simular as condições no campo. A energia de compactação deve ser criteriosamente escolhida, pois quanto maior for a energia de compactação, mais próximas as partículas estarão, menor será a porcentagem de

volume de vazios e maior será o peso específico desta mistura. O tipo de compactação também deve ser avaliado, porque o soquete mecânico conduz a um teor de asfalto maior em relação aos outros; a estabilidade é afetada e a variabilidade do peso específico é grande (Souza et al., 1995);

- Espera-se um pouco para tirar o corpo de prova da fôrma, a fim de não deformá-lo. Molha-se o corpo de prova e deixa-se o mesmo em repouso, por, no mínimo, 24 horas;
- Mede-se, com o auxílio de um paquímetro, a altura dos corpos de prova (média de três medidas) a fim de verificar se os mesmos estão dentro das especificações. Pesam-se os corpos de prova a seco e imersos. Deverão ser tomados cuidados no manuseio dos corpos de prova para não danificá-los.

5. DOSAGEM MARSHALL

O teor de ligante deve ser criteriosamente escolhido, devido a grande influencia que o mesmo exerce sobre o pavimento. Excesso de ligante causará deformações do revestimento com a ação do tráfego e falta de ligante acarretará em um pavimento pouco durável, permeável, sujeito à fissuração e sem resistência ao desgaste superficial.

Para seleção do teor ótimo de CAP, primeiramente prepara-se 18 corpos de prova: 3 para determinação da densidade aparente da mistura compactada e cinco grupos de 3 corpos de prova. Cada grupo deve ter um teor diferente de CAP (teor de asfalto efetivo). Os 5 teores devem ser em incrementos de 0,5%. Pelo menos 2 grupos devem estar abaixo e 2 grupos devem estar acima do teor ótimo de ligante que pode ser aproximado por experiência.

O teor ótimo de CAP pode ser selecionado através do método baseado num valor selecionado a partir dos teores obtidos para atender os limites do DNER de volume de vazios (3% a 5%) e RBV (Relação Betume Vazios) (75% a 82%) para o CBUQ e volume de vazios (3% a 8%) e RBV (65% a 72%) para o AAUQ. A partir destes quatro limites de especificação, obtêm-se quatro (04) teores de CAP. O teor ótimo é selecionado tomando a média dos teores centrais. Esta metodologia é adotada pelo DNER-CE (Soares et al., 1999).

O conceito de teor ótimo deve ser reavaliado. Uma dosagem racional deve projetar uma mistura com resistência capaz de suportar as tensões nas camadas que compõe a estrutura do pavimento, aumentando a vida útil do mesmo.

6. FATORES CAUSADORES DE ERROS

No processo de moldagem de corpos de prova existem possíveis fatores causadores de erros. O operador deve atentar para os mesmos, a fim de realizar uma moldagem, na medida do possível, correta e, assim, obter resultados especificados pela norma que representem a mistura do revestimento que será construído. Alguns destes fatores estão listados, abaixo:

- Equipamentos sem aferição constante (balanças sem precisão devida, soquete de compactação fora das especificações, etc.);
- Erros operacionais, como: perda de material durante o processo, pesagens sem rigor, aquecimento indevido dos agregados, do ligante e, principalmente, da mistura;
- Fracionamento ineficiente dos agregados, o que acarreta, dentre outros problemas, a existência de impurezas nos mesmos. Nos projetos de misturas asfálticas, no DNER-Ceará, os agregados são fracionados até a peneira N° 200, apesar da norma só exigir o fracionamento até a peneira N° 10. Este procedimento produz uma maior precisão dos resultados, pois as amostras ficam mais homogêneas;
- Amostras não representativas de agregados;
- Destacamento de frações dos corpos de prova, causado por manuseio indevido;

- Dosagem mal realizada: insuficiência ou excesso de ligante, emprego inadequado do ligante, fíler insuficiente ou em excesso, etc.;

Vale ressaltar que problemas nas misturas também podem ocorrer durante a usinagem e/ou colocação da mistura em campo (compactação inadequada, temperaturas baixas, etc.). Cabe aos responsáveis, melhor fiscalizar a execução para que tanto no campo como no laboratório as propriedades da mistura sejam semelhantes.

7. REFERÊNCIAS

- Asphalt Institute (1989) The Asphalt Handbook, Manual Series no. 4 (MS – 4).
- DNER (1996) Manual de Pavimentação, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- Motta, L.M., Tonial, I., Leite, L.M. e Constantino, R.S. (1994) Princípios do projeto e análise Superpave de misturas asfálticas, Tradução comentada, IBP.
- Petrobrás (1996) Manual de Serviços de Pavimentação, Petrobrás Distribuidora S.A.
- Santana, H. (1992) Manual de pré-misturados a frio, Instituto Brasileiro de Petróleo, IBP, Comissão de Asfalto, 1ª edição.
- Soares, J.B., Motta, L.M., Leite, L.M. e Branco, J.V.C. (1999) O efeito da consistência do CAP no teor ótimo e nas propriedades das misturas asfálticas. XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, São Carlos.
- Souza, A.M., Ramos, C.R., Guarçoni, D.S., Motta, L.M. e Lao, V.L. (1995) Curso de técnicas de laboratório em ligantes e misturas asfálticas, IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo.
- Tonial, I. e Leite, L.M. (1995) Qualidade dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações SHRP. Publicado no 12º encontro de asfalto, IBP.