

Misturas asfálticas: Conceituação, Materiais e Dosagem

Conteudista:

Letícia Alberto Borges Madureira

Brasília, maio de 2022.

Misturas asfálticas: Conceituação, Materiais e Dosagem

Módulo 4

Dosagem de Misturas Asfálticas

Conteudista:

Letícia Alberto Borges Madureira

Brasília, maio de 2022.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação de peso-volume para uma mistura asfáltica	2
Figura 2 - Esquema de componentes de uma mistura asfáltica.....	2
Figura 3 - Volumetria das misturas asfálticas	4
Figura 4 - Fluxograma de procedimento para a determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados.....	4
Figura 5 - Curva viscosidade-temperatura do ligante	6
Figura 6 - Prensa Marshall, para ensaios de Estabilidade e Fluência.....	7
Figura 7 - Exemplos de curva de parâmetros determinados na dosagem Marshall	8
Figura 8 - Equipamento Compactador Giratório (CGS) e especificações	12
Figura 9 - Fluxograma de Dosagem Superpave	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Organização Hierárquica do Método Superpave	11
Tabela 2 - Critérios Volumétricos para escolha do teor de asfalto de projeto	13

SUMÁRIO

1. DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS	1
2. METODOLOGIA MARSHALL	5
3. METODOLOGIA SUPERPAVE	10
4. REFERÊNCIAS.....	14

1. DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

O primeiro método de dimensionamento do pavimento asfáltico no Brasil foi idealizado pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza e implementado na década de 1960. É consenso que foi revolucionário e importante para a época, mas também é consenso que, devido às mudanças das características do tráfego e dos materiais disponíveis atualmente, fez-se necessário buscar novos métodos.

Com essa defasagem, em meados dos anos 2000, a Petrobras passou a articular parcerias com universidades federais para que, através de pesquisas científicas, fosse possível efetuar a atualização do modelo de dimensionamento asfáltico.

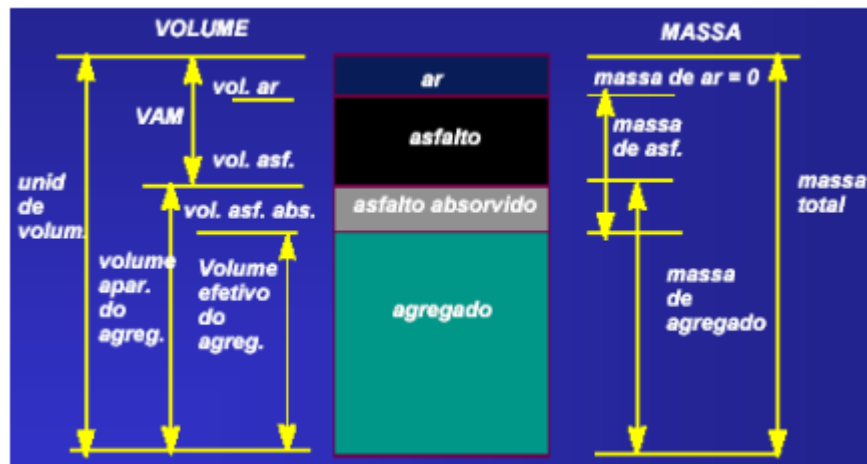
Em 2009 foi criada a Rede Temática de Asfaltos, um novo projeto financiado pela Petrobras, formada pelo conjunto de várias universidades. Foram pavimentados diversos trechos entre 200 e 300 metros, em rodovias de todo o país, utilizando diferentes tipos de soluções para monitorar o desempenho de cada um deles em situações climáticas distintas. A partir desse monitoramento, o método foi desenvolvido.

Esse incentivo dado pela Rede Temática de Asfaltos permitiu o avanço das tecnologias normalmente utilizadas, geralmente caracterizadas pelo uso da metodologia Marshall, se aproximando muito do que é feito em países mais desenvolvidos.

A metodologia utilizada por Marshall utiliza da compactação de corpos de prova por impacto e pode não representar corretamente as densidades do pavimento em campo. Por esse motivo, foi desenvolvida nova tecnologia que resultou em um novo procedimento de dosagem por amassamento, denominado Superpave.

Antes de iniciar as explicações das dosagens Marshall e Superpave, é necessário compreender a relação de massa-volume de misturas asfálticas compactadas. O projeto de uma mistura é volumétrico, entretanto, para simplificar as medidas, massas são usadas no lugar de volumes e a massa específica é usada para converter massa em volume. Um comparativo entre as relações peso e volume é realizado na Figura 1.

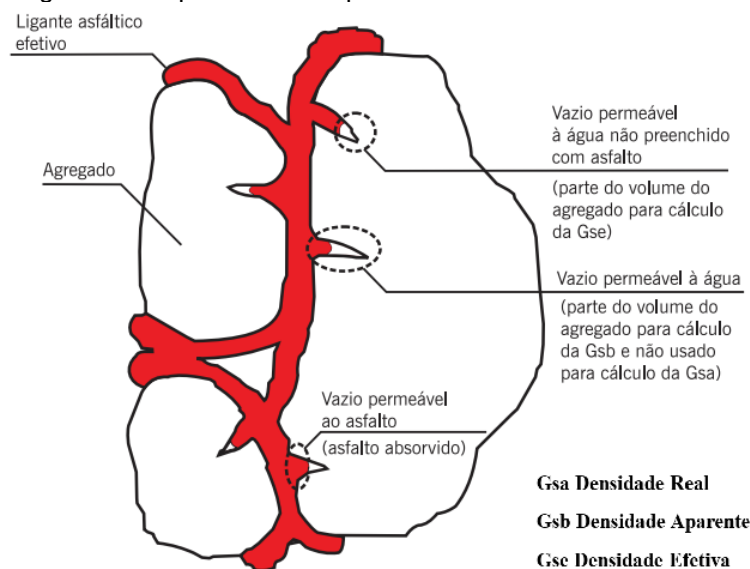
Figura 1- Relação de peso-volume para uma mistura asfáltica



Fonte: THIVES, 2016.

Dosar uma mistura asfáltica trata de escolher, por meio de procedimentos experimentais, um teor “ótimo” de ligante, a partir de uma faixa granulométrica definida. O teor ótimo é definido conforme teor de projeto e varia conforme o critério utilizado na sua avaliação. O teor de projeto é função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros.

Figura 2 - Esquema de componentes de uma mistura asfáltica



Fonte: Adaptado de BERNUCCI *et al.*, 2008.

Para o cálculo de densidades e massas específicas pode-se utilizar a seguinte relação:



- A Densidade Real **Gsa** é calculada como a razão entre a massa seca e o volume real da partícula sólida do agregado:

$$Gsa = (Massa\ seca)/(Volume\ real)$$



- A Densidade Aparente **Gsb** é calculada como a razão entre a massa seca e o volume aparente do sólido (volume do sólido mais o volume do poro permeável à água):

$$Gsb = (Massa\ seca)/(Volume\ aparente)$$



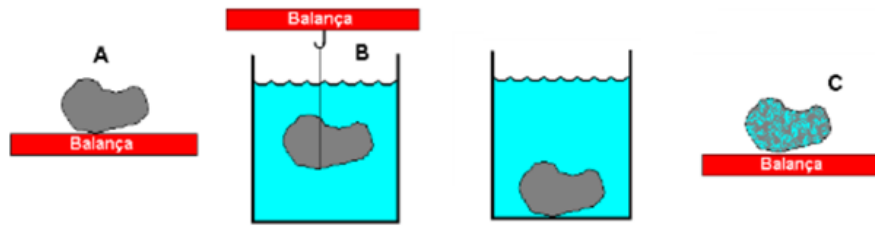
- A Densidade Efetiva **Gse** é calculada como a razão entre a massa seca e o volume efetivo (volume do sólido mais o volume do poro permeável à água não preenchidos pelo ligante)

$$Gse = (Massa\ seca)/(Volume\ efetivo)$$

Na Figura 3 são exemplificadas três situações para a determinação dessa densidade:

- “A”, em que a massa do corpo de prova é seco ao ar e pesado em balança
- “B”, em que a massa é determinada por pesagem hidrostática e a condição
- “C”, em que o corpo de prova é submerso e depois pesado em balança.

Figura 3 - Volumetria das misturas asfálticas



A - massa do corpo de prova seco (g)

B - massa do corpo de prova submerso na água (g)

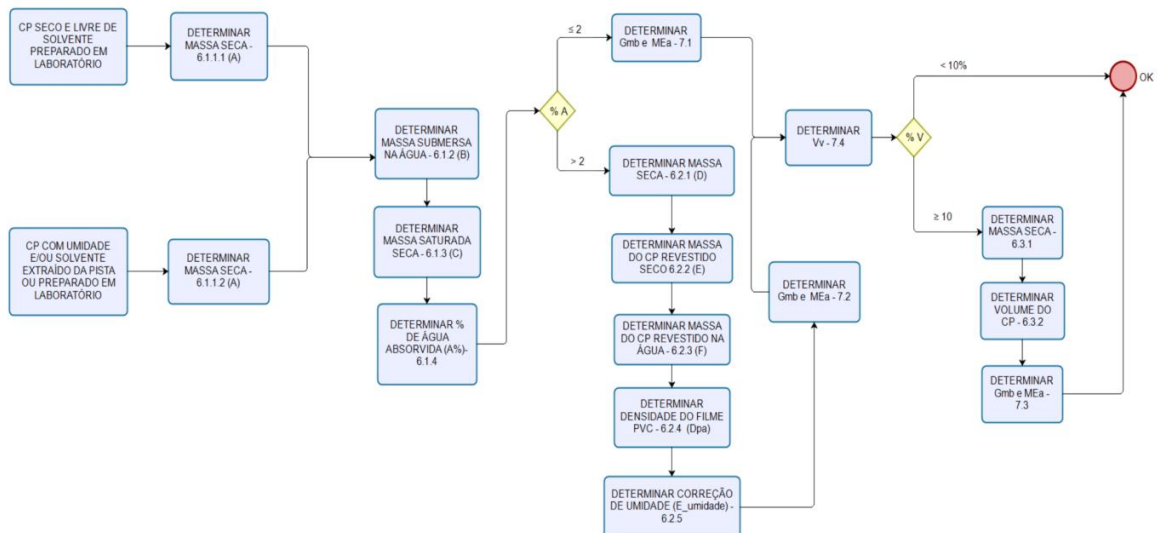
C - massa do corpo de prova saturado com a superfície seca (g)

$$\% \text{ de água absorvida} = 100 \times \frac{(C-A)}{(C-B)}$$

Fonte: Adaptado de THIVES, 2016.

Conforme a NORMA DNIT 428/2022 - ME, a Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados, a densidade relativa aparente e a massa específica aparente das misturas asfálticas compactadas são calculadas conforme especificações em seu item 7. Um fluxograma explica as etapas para se obter os dados (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma de procedimento para a determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados



Fonte: DNIT, 2022.

2. METODOLOGIA MARSHALL

A metodologia desenvolvida por Bruce Marshall para o *Mississippi Highway Department* na década de 1930, e posteriormente modificado pela *United States Corps of Engineers* (Usace), é o método de dosagem mais utilizado no mundo até os dias de hoje.

Alguns parâmetros são considerados para obter a dosagem, entre eles: o volume de vazios (V_v), que é o somatório dos volumes dos espaços existentes entre os agregados revestidos, o volume de vazios da mistura compactada (VMA/VAM), que seria o volume obtido retirando-se todo o ligante sem que se alterasse a posição dos agregados, e a proporção de betume dentro dos vazios deixados pelos agregados (RBV).

As especificações para a realização do Ensaio Marshall estão disponíveis na normativa DNER-ME 043/95.

Para a obtenção do teor ótimo de ligante, é necessário determinar as massas específicas reais dos constituintes da mistura: agregados e ligante.

Em seguida, escolhe-se a faixa granulométrica a ser utilizada, conforme especificação. Os agregados deverão apresentar composição de forma a se enquadrarem nos limites da faixa granulométrica escolhida, ou seja, é escolhido o percentual em peso de cada agregado para formar a mistura.

Para obter a melhor combinação de agregados, pode-se utilizar diferentes métodos de combinação. Seja por tentativa, por método algébrico ou utilizando o gráfico de Rothfuchs (THIVES, 2016).

Após a escolha da composição dos agregados (percentual de cada um na mistura), de forma a se enquadrarem dentro da faixa granulométrica desejada, é feita a distribuição granulométrica sem considerar, ainda, o teor de asfalto. Estes agregados somados serão 100 % da mistura.

Em seguida, considerando agora os teores de asfalto utilizados no ensaio Marshall do grupo de corpos de prova, ajusta-se o percentual em peso para cada agregado e se redistribui o percentual de cada participante na mistura.

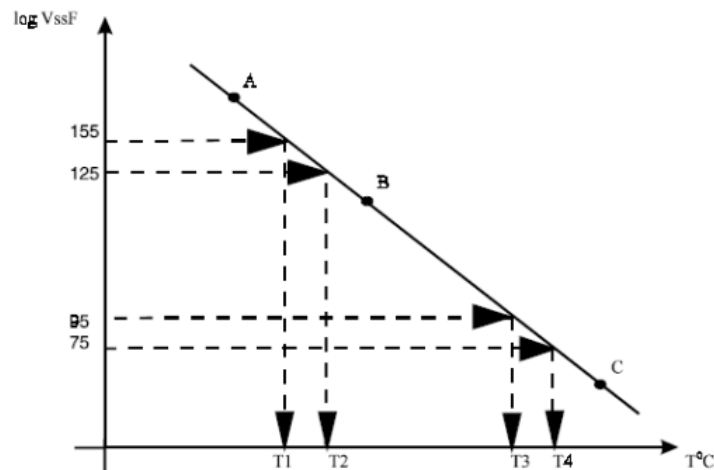
A partir da curva de viscosidade-temperatura do ligante, obtidas pelo ensaio de viscosidade, determinar a temperatura da mistura e da compactação a ser utilizada no ensaio Marshall e produzir os corpos de prova, conforme especificações normativas.

A temperatura do ligante, na hora de ser misturado ao agregado, deve estar entre 75SSF e 95SSF, correspondendo a temperaturas entre 107 °C e 177 °C.

A temperatura do agregado deve ser de 10 a 15 °C acima da temperatura definida para o ligante, sem ultrapassar 177 °C.

A temperatura de compactação deve ser tal que o ligante apresente viscosidades na faixa de 125SSF a 155SSF, conforme Figura 5.

Figura 5 - Curva viscosidade-temperatura do ligante



Fonte: THIVES, 2016.

São preparados três corpos de prova (cada um com aproximadamente 1200 g e altura de $63,5 \pm 1,3$ mm) com 5 diferentes teores de asfalto, obtendo assim 15 corpos de prova. Seguir as recomendações da norma para realizar a mistura dos agregados com o ligante, homogeneizar a mistura e preparar os moldes padronizados dos corpos de prova.

Com equipamento específico, manual ou mecânico, contendo soquete padronizado com 4540 g, iniciar a compactação com a queda do soquete a uma altura padrão de 45,72 cm.

O método Marshall indica dois níveis de compactação para misturas diferentes. Para misturas drenantes e abertas, são indicados 50 golpes por face do corpo de prova para baixo volume de tráfego (Norma alemã ZTV Asphalt – StB 94,

2001). Para misturas densas, com alto volume de tráfego, são recomendados 75 golpes por face do corpo de prova (Norma DNER-ME 043/95).

A norma não faz recomendação quanto à frequência de aplicação dos golpes de compactação durante o processo de dosagem.

Após 12h, realizar a desmoldagem dos corpos de prova escolhidos, obter a massa seca (M_s) e a massa submersa em água (M_{sub}), necessárias para obtenção da massa específica e densidade aparente, permitindo assim estabelecer as relações volumétricas da dosagem.

Colocar os corpos de prova em imersão de 30 a 40 minutos, a 60 °C, e após realizar os ensaios de Estabilidade (corrigindo em função da espessura do corpo de prova) e de Fluência na prensa Marshall (Figura 6).

Figura 6 - Prensa Marshall, para ensaios de Estabilidade e Fluência



Fonte: THIVES, 2016.

O ensaio de Estabilidade é a carga máxima indicativa da resistência do corpo de prova à compressão diametral confinada (modo de falha não definido), representado por uma unidade de força. O ensaio de Fluência é o deslocamento máximo apresentado pelo corpo de prova correspondente à aplicação da carga máxima, representado por uma unidade de distância.

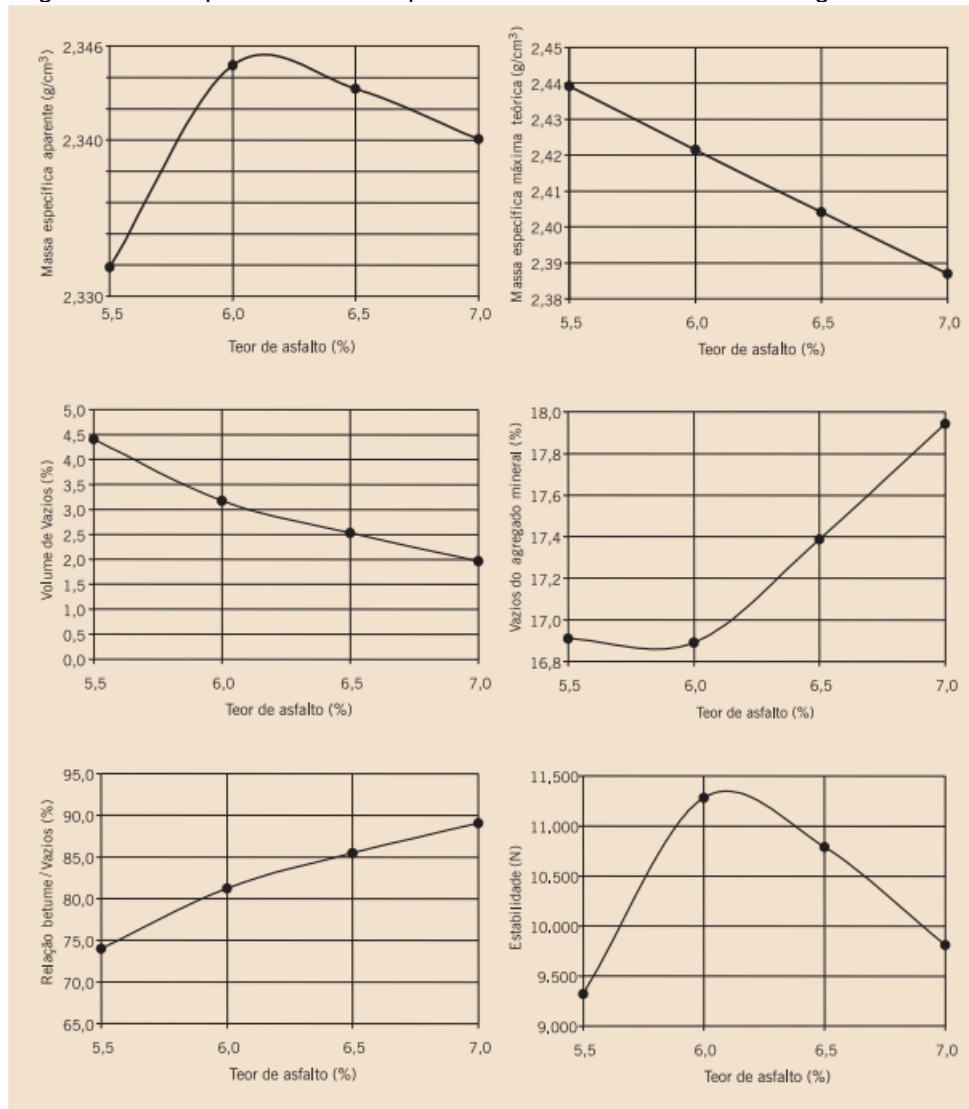
Como tratam-se de ensaios destrutivos, e é necessário obter um valor médio de cada um dos parâmetros, o ensaio de Estabilidade tem caído em desuso, sendo mais comum a realização de ensaios de Resistência à tração por compressão diametral e de Módulo de resiliência.

Após a realização do Ensaio, os resultados são plotados em gráficos para determinar o teor do projeto (ótimo) de asfalto:

- densidade aparente x % de asfalto;
- fluência x % de asfalto;
- VMA x % de asfalto;
- vazios x % de asfalto;
- RBV x % de asfalto;
- estabilidade x % de asfalto.

A Figura 7 exemplifica curvas de parâmetros que são determinados na dosagem Marshall.

Figura 7 - Exemplos de curva de parâmetros determinados na dosagem Marshall



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

Com os gráficos é possível avaliar a máxima estabilidade e a máxima densidade da mistura. Conforme as especificações, avaliar também a média dos

limites de vazios, a média dos limites de proporção betume vazios - RBV, a média dos limites de fluência e o volume de vazios da mistura compactada - VMA (VMA mínimo).

A massa específica máxima teórica (DMT) é dada pela ponderação entre as massas constituintes das misturas asfálticas. A massa específica máxima medida (DMM) é dada pela razão entre a massa do agregado mais ligante asfáltico e a soma dos volumes dos agregados, vazios impermeáveis, vazios permeáveis não preenchidos com asfalto e o total de asfalto (Gmm).

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%Ag}{G_{Ag}} + \frac{\%Am}{G_{Am}} + \frac{\%f}{G_f}}$$

Onde:

- %a = porcentagem de asfalto, expressa em relação à massa total da mistura asfáltica;
- %Ag, %Am e %f = porcentagens do agregado graúdo, agregado miúdo e fíler, respectivamente, expressas em relação à massa total da mistura asfáltica;
- G_a, G_{Ag}, G_{Am} e G_f = massas específicas reais do asfalto, do agregado graúdo, do agregado miúdo e do fíler, respectivamente.

O DMT é numericamente igual à massa total dividida pela soma dos volumes ocupados pelos materiais. O Gmm não leva em consideração a absorção de parte do ligante pelos agregados. Para obtenção do Gmm utiliza-se o método Rice, especificado pela ABNT NBR 15619, e nos métodos norte-americanos ASTM D 2041 (2000), AASHTO T 209 (1999) ou no método europeu EN 12697-5.

A utilização destes ensaios reduz a dispersão nos resultados do ensaio Marshall, entretanto, não são exigidas na norma DNER-ME 043/95. As dispersões significativas nos ensaios utilizando o método Marshall podem ser provocadas pela variabilidade nas condições de uso dos equipamentos e operacionais do processo. Esta é uma das críticas relativas ao método, além da pouca representatividade do método de compactação em relação ao campo.

Não são cobrados ensaios de caracterização mecânica e tampouco ensaios de desempenho para esta forma de dosagem.



Vídeos explicativos dos ensaios podem ser observados por meio dos *links*:

Agregados: VÍDEO 58 - <https://youtu.be/zNVGAb5uqu0>

Dosagem: VÍDEO 61 - <https://youtu.be/wXFToZOKuuo>

3. METODOLOGIA SUPERPAVE

Como já dissemos, as mudanças das características do tráfego e dos materiais disponíveis forçaram a engenharia de pavimentos asfálticos a buscar novas alternativas de dosagem, já que a metodologia Marshall não conseguia dar respostas a vários problemas.

Iniciou-se então, em pesquisa, desenvolvida nos Estados Unidos pelo *Strategic Highway Research Program* (SHRP) e que resultou metodologia Superpave (*Superior Performance Asphalt Pavements*). A pesquisa tinha como objetivo desenvolver métodos de análise de materiais betuminosos e de misturas asfálticas com base em suas propriedades fundamentais.

Com a implementação do Superpave, surgiram novos materiais, novos ensaios, novos equipamentos e novas especificações. O Superpave consiste na análise das propriedades reológicas relacionadas ao desempenho em serviço do pavimento. Para isso, são considerados fatores de envelhecimento do ligante durante a mistura e colocação na pista, o envelhecimento durante a vida de serviço, o afundamento resultante da inadequada resistência ao cisalhamento da mistura, o trincamento térmico e o trincamento por fadiga devido à repetição de cargas.

Diferentemente da classificação por penetração do ligante, como no Brasil, toda sua categorização foi redimensionada para atender às propriedades reológicas relacionadas ao desempenho em serviço da mistura.

A nova especificação para ligantes asfálticos é baseada em medidas de propriedades de desempenho dos pavimentos. Assim, os ligantes são ensaiados em temperaturas ligadas ao seu ciclo de utilização que indicam o seu grau de desempenho (*Performance Grade*). O grau de desempenho é denominado pelas letras PG seguidas por dois números que representam a faixa de temperatura em que o ligante pode ser utilizado.

Para a dosagem Superpave, três níveis de projeto de mistura devem ser considerados, a depender do tráfego e da importância da rodovia (Tabela 1).

Tabela 1 - Organização Hierárquica do Método Superpave

Nível	1	2	3
Critério	Volumétrico	Volumétrico Ensaio de previsão de desempenho a uma temperatura	Volumétrico Ensaio de previsão de desempenho a três temperaturas
N (AASHTO)	$< 10^6$	10^6 a 10^7	$\geq 10^7$

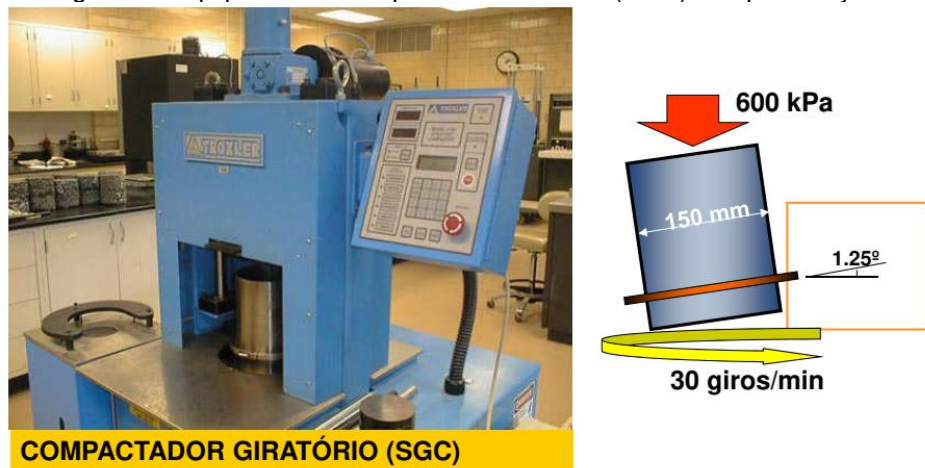
Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Em seu primeiro nível, o dimensionamento Superpave se assemelha ao Marshall pois leva em consideração os parâmetros volumétricos. Nos níveis 2 e 3, o projeto volumétrico é considerado como um ponto de partida e, em seguida, são necessários ensaios de previsão de desempenho. No nível 3 são necessários ensaios adicionais em uma faixa mais ampla de temperatura.

O dimensionamento Superpave se difere do ensaio Marshall principalmente pela forma de compactação. Enquanto na dosagem Marshall a compactação é feita por impacto, utilizando golpes, na dosagem Superpave é realizada a compactação por amassamento, utilizando giros. Outra diferença é a forma de escolha da granulometria na mistura dos agregados. Para garantir durabilidade e ainda permitir algum volume de vazios na mistura evitando a exsudação, é necessária a existência de um espaço de vazios para que um volume de ligante seja incorporado.

O Compactador Girosférico Superpave (CGS) apresenta ângulo de rotação de $1,25^\circ \pm 0,02^\circ$, uma taxa de rotação de trinta giros por minuto, uma tensão de compressão vertical durante a rotação de 600 kPa e capacidade de produzir corpos de prova com diâmetros de 100 e 150 mm (Figura 8).

Figura 8 - Equipamento Compactador Giratório (CGS) e especificações



Fonte: TRICHES, 2021.

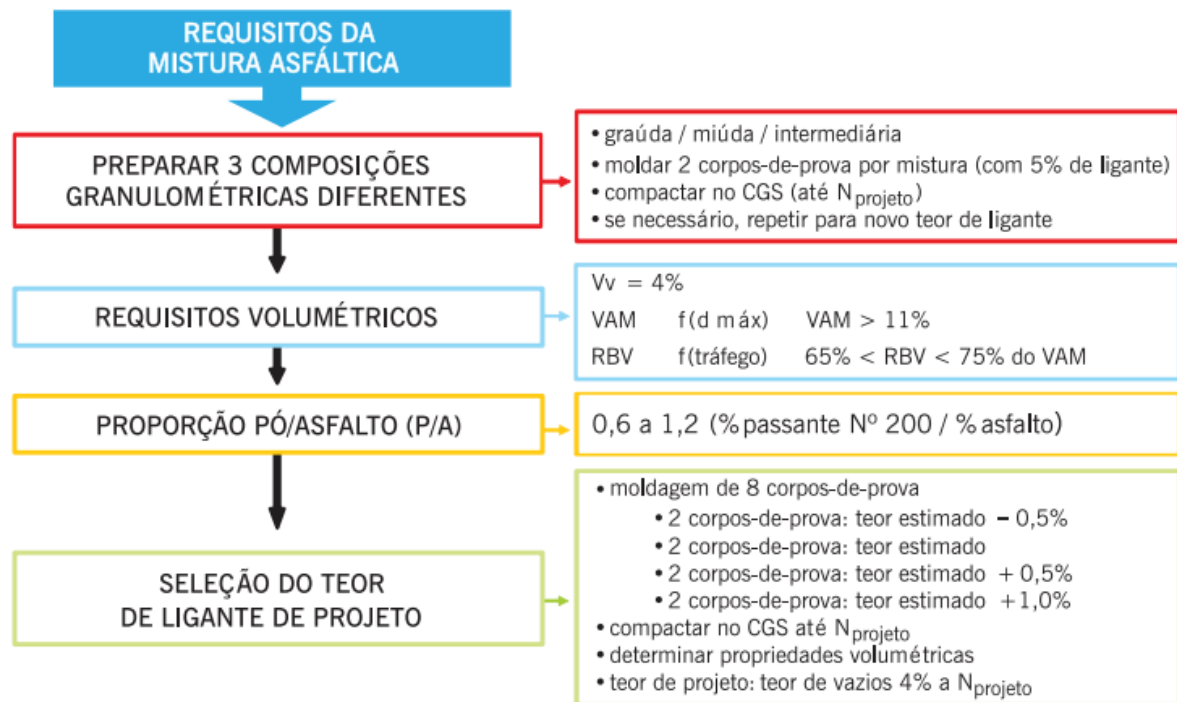
As misturas no Superpave são projetadas para um nível específico de energia de compactação. O esforço é determinado pelo número de giros no CGS, e é função do tráfego.

Para o dimensionamento, devem ser escolhidas três composições granulométricas com os materiais da mistura. Em seguida, deve-se compactar os corpos de prova no CGS com um teor de tentativa para cada mistura (dois corpos de prova por mistura), obtido por estimativas utilizando a massa específica efetiva dos agregados. A partir dessas misturas, obtêm-se as propriedades volumétricas (Volume de vazios - V_v , Volume de vazios da mistura compactada - VAM e Relação betume vazios - RBV) após a compactação no CGS.

Também se verifica a proporção pó/asfalto, correspondente à razão entre o teor de material passante na peneira nº 200 e o teor do ligante, parâmetro que deve estar entre 0,6 e 1,2 (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Para o nível 1 de dimensionamento, a quantidade de ligante utilizada deve ser tal que a mistura atinja 4 % de V_v no número de giros do projeto (Figura 9).

Figura 9 - Fluxograma de Dosagem Superpave



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Após a seleção do teor de ligante de projeto, produzir outros corpos de prova considerando os teores estimados em $\pm 0,5\%$ e $+1\%$. Após 2 h em temperatura especificada, compactar novamente em CGS no $N_{projeto}$ e com as propriedades volumétricas obtidas. O teor final de projeto será aquele que corresponde a um $V_v=4\%$.

Tabela 2 - Critérios Volumétricos para escolha do teor de asfalto de projeto

Esforço de compactação (número de giros)	Relação entre massa específica aparente e a G_{mm} (%)	V_v (%)
$N_{inicial}$	< 89%	> 11%
$N_{projeto}$	96%	4%
$N_{máximo}$	< 98%	> 2%

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Conclui-se realizando o ensaio de Lottman, que avalia a resistência ao dano por umidade induzida nas misturas compactadas, seguindo a normativa AASHTO T283-89.



As especificações americanas de asfalto podem ser encontradas no *link*:

<https://www.asphaltinstitute.org/engineering/specification-databases/us-state-binder-specifications/>

4.REFERÊNCIAS

BERNUCCI, *et al.* *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. 2008.

IA – INSTITUTO DO ASFALTO. *Manual de asfalto*. Rio de Janeiro: IA, 2001.

THIVES, L. P. *Comportamento dos materiais empregados na pavimentação: Ligantes Asfálticos*. 2016. 16 p. Notas de Aula.

TRICHES, G. *Caracterização Mecânica das Misturas Asfálticas*. Curso MeDiNa. 2021. 62p. Notas de Aula.