

# MÉTODOS DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE MATERIAIS E SERVIÇOS

2022

 arteris

## **DIRETORIA DE MANUTENÇÃO E CONSERVA**

### **APRESENTAÇÃO**

Este documento contém todas as especificações técnicas de materiais e serviços necessárias para prover diretrizes de qualidade em obras de pavimentação executadas nas rodovias administradas por empresas do grupo Arteris.

Todas as diretrizes aqui estabelecidas foram discutidas e validadas por um comitê técnico designado pela Diretoria de Manutenção e Conserva. Todas estas diretrizes deverão ser seguidas integralmente para aceitação dos serviços, salvo disposições contrárias presentes no termo de referência utilizado para contratação das obras e serviços.

Este documento será revisado e atualizado anualmente.

### **COMITÊ TÉCNICO 2022**

Luiz Marcelo de Souza – Diretor de Manutenção e Conserva, Arteris S.A.;

Celso Luiz Romeiro Júnior – Gerente de Pavimentos, Arteris S.A.;

Mateus Wobeto – Gerente de Manutenção e Conserva, Arteris S.A.;

Guilherme Rodrigues Linhares – Gerente de Laboratório, Arteris S.A.;

Cláudio Rafael Alves Moreira – Engenheiro Civil, Arteris S.A.;

André Lopes – Laboratorista, representante Autopista Fluminense;

André Supp Martins – Coordenador de Laboratório, representante Regional Sul (Autopista Litoral Sul, Autopista Régis Bittencourt e Autopista Planalto Sul);

Diogo Bento de Moraes – Engenheiro Civil, representante Autopista Fernão Dias;

Tiago Simione Azzoni – Coordenador de Laboratório, representante Estaduais (Intervias e Via Paulista).

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	1
COMITÊ TÉCNICO 2022 .....	1
SUMÁRIO.....	2
C-642 - DENSIDADE, ABSORÇÃO E VAZIOS EM CONCRETO ENDURECIDO .....	5
D-713 - REALIZAÇÃO DE TESTES RODOVIÁRIOS EM MATERIAIS FLUÍDOS PARA DEMARCAÇÃO DE TRÁFEGO .....	8
D-4971 - PARTÍCULAS CHATAS, ALONGADAS OU CHATAS E ALONGADAS NO AGREGADO GRAÚDO 17	
E-303 - DETERMINAÇÃO DO VALOR DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM UTILIZANDO O PÊNDULO BRITÂNICO.....	30
E-965 - MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DA MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS UTILIZANDO TÉCNICA VOLUMÉTRICA .....	37
ET-001 - PROJETO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE (MAQ).....	43
ET-002 - CALIBRAÇÃO DE USINAS GRAVIMÉTRICAS .....	66
ET-003 - COLETA DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS E AGREGADOS EM CAMINHÕES E PILHAS DE ESTOCAGEM .....	73
ET-004 - CONTROLE DE QUALIDADE DE OBRAS .....	80
ET-005 - COLETA DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS NA PISTA (ATRÁS DA ACABADORA) .....	83
ET-008 - MEDIÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS COM EQUIPAMENTO MERLIN.....	87
ET-30 - CONDICIONAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE .....	93
ET-231 - INSTRUMENTOS DE PESAGEM UTILIZADOS EM ENSAIOS DE MATERIAIS.....	98
ET-323 - PROJETO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MISTURA.....	104
ME-024 - DEFLEXÕES RECUPERÁVEIS PELA VIGA BENKELMAN .....	119
ME-9122 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS MÍNIMOS E MÁXIMOS DE SOLOS NÃO- COESIVOS – COMPACIDADE RELATIVA .....	125
R-47 - REDUÇÃO DE AMOSTRAS DE MISTURA ASFÁLTICA PARA O TAMANHO DE ENSAIO .....	135
T-001 - PORCENTAGEM DE ÓXIDO DE CÁLCIO (CAO) EM CAL HIDRATADA .....	143
T-003 - RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS.....	147
T-004 - RESISTÊNCIA A DANOS POR UMIDADE INDUZIDA DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS COMPACTADAS.....	153
T-005 - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ESPUMA DE ASFALTO .....	159
T-006 - DRENAGEM DE ASFALTO - SCHELLENBERG .....	164
T-007 - DESIDRATAÇÃO DE EMULSÃO COM CAP MODIFICADO POR POLÍMERO PARA CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ASFALTICO .....	167
T-008 - PORCENTAGEM DE CIMENTO POR TITULAÇÃO QUÍMICA .....	169

T-2 - AMOSTRAGEM DE AGREGADOS.....	173
T-11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS PASSANTE NA PENEIRA DE 75µm (Nº200), POR LAVAGEM .....	179
T-27 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS .....	186
T-30 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS EXTRAÍDOS.....	198
T-84 - Massa Específica e Absorção de Agregados Finos.....	206
T-85 - MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS.....	219
T-100 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS COM O DENSÍMETRO ELÉTRICO .....	231
T-101 - CALIBRAÇÃO DO DENSÍMETRO ELÉTRICO PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS... 3	
T-104 - SANIDADE DOS AGREGADOS PELO USO DO SULFATO DE SÓDIO OU MAGNÉSIO.....	5
T-164 - EXTRAÇÃO DE LIGANTE ASFÁLTICO EM MISTURAS ASFÁLTICAS .....	19
T-166 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS USANDO AMOSTRAS SATURADAS COM SUPERFÍCIE SECA.....	46
T-209 - MASSA ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA E DENSIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTAÇÃO.....	54
T-248 - REDUÇÃO DE AMOSTRAS DE AGREGADOS PARA TESTES .....	66
T-255 - DESTILAÇÃO A VAPOR DE FILMES ASFÁLTICOS.....	74
T-269 - PORCENTAGEM DE VAZIOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS E ABERTAS COMPACTADAS .....	82
T-275 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS USANDO CORPOS DE PROVA PARAFINADOS .....	87
T-283 - RESISTÊNCIA A DANOS POR UMIDADE INDUZIDA DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS .....	93
T-304 - PORCENTAGEM DE VAZIOS DE AGREGADOS FINOS NÃO COMPACTADOS .....	105
T-305 - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE GOTEJAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS NÃO COMPACTADAS.....	116
T-307 - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS E MISTURAS GRANULARES .....	122
T-308 - DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE LIGANTE ASFÁLTICO EM MISTURAS ASFÁLTICAS PELO MÉTODO DA COMBUSTÃO .....	135
T-312 - PREPARAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE PELO COMPACTADOR GIRATÓRIO SUPERPAVE .....	148
T-329 - RECUPERAÇÃO ELÁSTICA POR TORÇÃO DE CIMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS .....	157
T-330 - DETECÇÃO QUALITATIVA DE ARGILAS PREJUDICIAIS DO GRUPO ESMECTITA EM AGREGADOS UTILIZANDO AZUL DE METILENO.....	160
T-331 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS, USANDO SELAGEM AUTOMÁTICA A VÁCUO .....	174
T-335 - DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE FRATURA EM AGREGADO GRAÚDO.....	183



## **C-642 - DENSIDADE, ABSORÇÃO E VAZIOS EM CONCRETO ENDURECIDO**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método descreve a determinação da densidade, porcentagem de absorção e porcentagem de vazios em concreto endurecido.
- 1.2. Os valores em unidades no Sistema Universal devem ser considerados como padrão.
- 1.3. Este método não cobre todos os problemas de segurança, se existirem, associado com o seu uso. É responsabilidade do usuário do método estabelecer os procedimentos de segurança e saúde e determinar a aplicação das limitações das normas de segurança existentes, antes de usá-lo.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

- 2.1. ASTM C642-13 – Método de ensaio padrão para Densidade, Absorção e Vazios no Concreto endurecido.

---

### **3. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

- 3.1. Este método de ensaio fornece os dados necessários para conversões entre massa e volume de concreto. Ele pode ser utilizado para determinar a conformidade com as especificações de concreto e para mostrar as diferenças de lugar para lugar dentro de uma massa de concreto.

---

### **4. EQUIPAMENTO**

Sempre que possível, a amostra deve ser constituída por várias porções individuais de concreto, cada uma para ser testada individualmente. As porções individuais podem ser cilíndricas, retangulares ou em qualquer outro tamanho e forma desejada, sendo que o volume mínimo deve ser de 350cm<sup>3</sup> (ou para concretos de densidade normal, aproximadamente 800g); e cada porção deve estar livre de trincas e fissuras visíveis ou arestas estilhaçadas.

---

### **5. PROCEDIMENTO**

- 5.1. Massa seca em estufa – determinar a massa das porções e secar a amostra em estufa a uma temperatura de 110 ± 5°C por no mínimo 24 horas. Remover as amostras da estufa e deixá-las esfriar em ar sem umidade (preferencialmente em um dessecador) até atingir uma temperatura entre 20 e 25°C, e determinar a massa da amostra. Se o corpo de prova estava aparentemente seco quando a primeira medição de massa foi realizada, e a segunda medição apontar um valor de massa próximo à essa medição, considerar a amostra seca. Se o corpo de prova estava molhado quando a primeira

medição de massa foi realizada, colocar novamente na estufa por mais 24 horas e determinar novamente a massa da amostra. Se a terceira medição estiver de acordo com a segunda, considerar a amostra seca. Em caso de qualquer dúvida, secar novamente a amostra por períodos de 24 horas até duas medições de massa subsequentes se igualarem. Se a diferença entre duas medições sucessivas de massa excederem 0,5% do menor valor, retornar o corpo de prova na estufa por um período adicional de secagem de 24 horas, e repetir o procedimento até a diferença entre duas medições sucessivas ser menor do que 0,5% do menor valor obtido. Designar esse valor como A.

5.2. Massa da amostra saturada após imersão – imergir o corpo de prova, após a secagem final, resfriamento e medição da massa, em água a aproximadamente 21°C por no mínimo 48 horas e até duas medições sucessivas de massa da amostra com superfície seca em intervalos de 24 horas não excederem 0,5% do maior valor. Remover a umidade da superfície do corpo de prova com uma toalha e determinar a massa. Designar o valor de massa da amostra saturada com superfície seca após imersão como B.

5.3. Massa da amostra saturada após ebulição – colocar a amostra após a execução do item 5.2 em um recipiente adequado, completo com água de torneira e ferver durante 5 horas. Deixar a água esfriar por perda natural de calor durante no mínimo 14 horas até se alcançar uma temperatura final entre 20 e 25 °C. remover a umidade da superfície com uma toalha e determinar a massa. Designar essa massa como C.

5.4. Massa aparente imersa – suspender o corpo de prova após imersão e ebulição, por um arame e determinar a massa em água. Designar a massa aparente como D.

---

## 6. CÁLCULOS

6.1. Utilizando os valores de massa determinados de acordo com os procedimentos descritos na seção 5, realizar os seguintes cálculos:

- a) Absorção após imersão, % =  $[(B-A)/A].100$
- b) Absorção após imersão e ebulição, % =  $[(C-A)/A].100$
- c) Densidade aparente seca =  $[A/(C-D)].\rho = g1$
- d) Densidade aparente após imersão =  $[B/(C-D)]. P$
- e) Densidade aparente após imersão e ebulição =  $[C/(C-D)]. P$
- f) Densidade aparente =  $[A/(A-D)]. P = g2$
- g) Volume de poros permeáveis (vazios), % =  $(g2-g1)/g2.100$  ou  $(C-A)/(C-D).100$

Onde:

A = Massa da amostra seca em estufa ao ar, g;

B = Massa da amostra saturada com superfície seca após imersão, g;

C = Massa da amostra saturada com superfície seca após imersão e ebulição, g;

D = Massa aparente da amostra suspensa em água após imersão e ebulição, g;

$g_1$  = Densidade aparente seca, g/cm<sup>3</sup>;

$g_2$  = Densidade aparente, g/cm<sup>3</sup>;

$\rho$  = Densidade da água, 1g/cm<sup>3</sup>.

---

## **7. PRECISÃO E DESVIOS**

7.1. Precisão: atualmente não existem dados suficientes disponíveis para justificar a tentativa de desenvolver um método de precisão para este método de ensaio.

7.2. Desvios: desvio para esse método não pode ser determinado uma vez que não existe referência para comparação.

---

## **8. PALAVRAS-CHAVE**

8.1. Absorção; concreto endurecido; densidade; vazios.



## **D-713 - REALIZAÇÃO DE TESTES RODOVIÁRIOS EM MATERIAIS FLUÍDOS PARA DEMARCAÇÃO DE TRÁFEGO**

Este método é uma adaptação e modificação do método ASTM-D-713-12.

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Esta prática abrange a determinação da vida útil de serviço de fluídos para demarcação de tráfego, tais como tintas, termoplásticos, epóxi, e produtos de poliéster, aplicados sob condições reais de tráfego, utilizando linhas transversais para testes. Os materiais para teste são aplicados em condições prescritas e observações periódicas são feitas utilizando os critérios de desempenho pré-estabelecidos.

1.2. Os valores expressos em unidades do sistema internacional devem ser considerados como padrão. Os valores indicados em parênteses são apenas para informação.

1.3. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos, e não tem o objetivo de analisar nenhum problema de segurança associado à sua utilização. É de responsabilidade do usuário deste método estabelecer as práticas de segurança apropriadas e os equipamentos de proteção individuais necessários antes do início do ensaio.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. Métodos ASTM:

- D 711 – Método de ensaio para determinação do tempo de secagem de tintas de tráfego,
  - D 913 – Prática padrão para avaliação de desgaste em pinturas de tráfego,
  - D 6628 – Especificação para cores de materiais de demarcação de pavimentos,
  - E 1710 – Método de teste para medição da retrorrefletividade de matérias de demarcação de pavimento utilizando um retrorrefletômetro portátil.
  - E 2367 – Método de ensaio para medição da cromaticidade noturna de materiais de demarcação de pavimentos utilizando um colorímetro de retrorreflexão portátil.
- 

### **3. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

3.1. Esta prática é uma avaliação acelerada da retenção de microesferas, retrorrefletividade, cor ao dia, cor à noite e características de desgaste dos materiais fluidos para demarcação de tráfego, e

é utilizada para determinar a vida útil de serviço de tais demarcações. Os mesmos procedimentos são aplicados para avaliar linhas longitudinais para determinação da vida útil.

---

#### **4. TIPO E LOCALIZAÇÃO DO PAVIMENTO PARA ENSAIOS**

4.1. Selecione seções onde o tráfego é moderado e flua livremente, sem degraus, curvas, cruzamentos, ou pontos de acesso próximos o suficiente para causar frenagens excessivas ou movimentos bruscos para mudanças de faixas, onde o desgaste é uniforme e com exposição total ao sol durante o dia inteiro e também com uma boa drenagem. Selecione superfícies que sejam representativas dos pavimentos em que o material fluido de demarcação de tráfego será utilizado na prática. Estas superfícies podem incluir concreto de cimento Portland, concreto betuminoso, e tratamentos superficiais.

---

#### **5. CONDIÇÕES NO MOMENTO DA APLICAÇÃO**

5.1. A área de teste deve estar completamente limpa e livre de materiais estranhos. Siga a recomendação do fabricante do material para demarcação do pavimento para uma correta aplicação do material a ser ensaiado. Isto deve incluir as recomendações para temperatura do ar e do pavimento, temperatura do fluido, umidade relativa do ar, ventos frios e velocidade dos ventos. São recomendadas aplicações entre as 10h e 15h. Durante a aplicação, anote a temperatura do ar e do pavimento, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar a cada hora.

---

#### **6. MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO MOLHADO**

6.1. Para ajudar na correta obtenção da espessura do material aplicado, uma placa metálica rígida deve ser colocada ao lado da rodovia, no caminho da linha de teste. Uma placa de 300 mm (12pol.) de largura por 300 mm (12pol.) de comprimento e 1,5 mm (1/16 pol.) de espessura é satisfatória. Imediatamente após a linha de teste ser aplicada pelo demarcador motorizado, ler a espessura do revestimento úmido. Se a espessura do revestimento úmido não for satisfatória, ajustar a pressão de pulverização e repetir até que a espessura desejada seja alcançada. É importante que não haja esferas de vidro ou outros materiais misturados ao fluido líquido, pois isso resultaria em uma falsa leitura de espessura. Quando a espessura do revestimento estiver correta, aplique uma linha de teste em uma placa tarada e pese imediatamente. A balança deve estar próxima da aplicação da linha e deve estar bem protegida do vento, assim como deve ter uma capacidade de 1500 g com precisão de 0,1 g, ou melhor. Como uma base para a determinação da aplicação das esferas de vidro, o peso da linha de revestimento de 100 mm por 300 mm (4pol. por 12pol.) (sem levar em conta a perda de solvente) pode ser calculada como se segue:

$$W = 5,28 \times 10^{-4} \times t \times g$$

Onde:

W = Peso da linha de revestimento, kg,

t = Espessura úmida, mm,

g = peso por galão, kg.

6.2. Aplicações da demarcação nos pavimentos por processos de pulverização devem ser realizadas por um pulverizador apropriado com acionamento por tração e um bico de pulverização semelhante ao utilizado no aparelho de demarcação normal. A máquina deve ser capaz de criar e manter uma velocidade constante durante o processo de aplicação. Tintas de tráfego normais devem ser aplicadas em uma espessura de  $0,381 \pm 0,0254$  mm ( $15 \pm 1$  mils).

6.2.1. Aplicações de outros materiais devem ser feitas de acordo com os procedimentos recomendados pelos fabricantes, e tanto quanto possível semelhante ao procedimento utilizado em seu equipamento de demarcação normal. Tintas de alta espessura à base de água, epóxi, epóxios modificados, poliúria, metacrilato e outros materiais não convencionais devem ser aplicados na dosagem recomendada pelo fabricante, com uma espessura mínima de 0,381 mm (15 mils.). A espessura mínima para materiais termoplásticos deve ser de 0,762 mm (30 mils.). Se o fluido for aplicado por outro método de pulverização, tal como a extrusão, o equipamento deve garantir uma espessura constante da demarcação ao longo do percurso e ser capaz de satisfazer as exigências do fabricante para a aplicação do fluido de demarcação.

6.3. Linhas de testes para tintas de tráfegos e termoplásticos com espessura menor do que 1,524 mm (60 mils) devem ter  $10,16 \pm 1,27$  cm ( $4 \pm 0,5$  polegadas) de largura. Termoplástico aplicado com espessura maior do que 1,524 mm (60 mils) devem ter  $15,24 \pm 1,27$  cm ( $6 \pm 0,5$  polegadas) de largura. Para outros materiais, a largura a ser aplicada será de acordo com a recomendação dos fabricantes.

6.4. Se o material é pulverizável e pode ser aplicado com a unidade de acionamento por tração e o bico de pulverização é semelhante ao utilizado no equipamento de demarcação normal, a espessura deve ser controlada por peso. Para materiais aplicados por qualquer outro método, a

espessura deve ser verificada através de instrumentos específicos. A espessura será determinada pela utilização de uma placa de teste e um micrometro, ou por um medidor de espessura magnético.

---

## 7. MEDIÇÃO DAS ESFERAS DE VIDRO

7.1. Após a conclusão do item 6.1, aplicar outra linha de teste à placa tarada com o demarcador motorizado, mas dessa vez com a adição das esferas de vidro, e pese imediatamente. A diferença de peso entre essa medida e a registrada no item 6.1 nos dá a quantidade de esferas de vidro na placa. Antes da pesagem da placa, remover o excesso de esferas de vidro que não estão aderidas ao fluido de demarcação de pavimento na placa para garantir uma representação precisa da taxa de esferas. Se for necessário, o processo pode ser repetido com um ajuste na taxa de aplicação das esferas. O peso das esferas de vidro aplicadas por litro de revestimento pode ser calculado como se segue:

$$W = 0,079404 \times B \times (T / 15)$$

Onde:

W = Peso das esferas de vidro, kg,

B = esferas de vidro por galão de tinta, kg,

T = Espessura de tinta aplicada, mm.

7.1.1. Para calcular a taxa de esferas em termos de peso por unidade de área, utilize a seguinte expressão:

$$Q = (W / A) \times 100$$

Onde:

W = Peso das esferas de vidro, kg,

A = área da demarcação, m<sup>2</sup>.

7.2. A menos que o fabricante solicite a utilização de esferas de vidros revestidas especiais, os requisitos da AASHTO M247 para esferas do tipo 1 devem ser aplicados às demarcações no pavimento (pode ser considerada a utilização de microesferas equivalentes no padrão ABNT). O revestimento sobre as esferas deve ser especificado pelo comprador e deve ser observado como parte do relatório de ensaio. Para tintas de tráfego padrão utilizadas com espessura úmida de

0,381mm, as esferas de vidros devem ser aplicadas com uma taxa de 2,72 kg por galão (2,92kg/10m<sup>2</sup>). A agência de teste irá fornecer os resultados dos ensaios de controle de qualidade para as esferas fornecidas.

7.3. Se forem utilizadas esferas especiais ou outros retrorrefletores ópticos, o fabricante deve fornecer a metodologia de aplicação com a taxa de aplicação recomendada para cada tipo de retrorrefletor, na forma de peso por unidade de área. O fabricante deve também apresentar as informações técnicas do material, como descrição das propriedades físicas (tamanho e circularidade), propriedades químicas e características de revestimento. Estas informações devem estar presentes no relatório de ensaio.

7.4. Se a aplicação das esferas ou retrorrefletores ópticos pode ser controlada, a taxa de microesferas deve ser determinada e estar presente no relatório. Se a taxa não pode ser controlada de forma consistente, as microesferas ou retrorrefletores ópticos devem ser aplicados de forma a saturar a demarcação e isto deve ser anotado no relatório.

---

## **8. PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO**

8.1. Aplicar as linhas de teste com a largura desejada transversalmente na rodovia. Como opção do comprador, as linhas de teste podem ser aplicadas ao pavimento em um ângulo de 45° em relação à direção do tráfego, ou longitudinalmente em cada trilho de roda, para aumentar a área de contato com os pneus dos veículos. Se as linhas forem aplicadas no sentido longitudinal, esse padrão deve primeiramente ser discutido e aceito para posterior realização do ensaio.

8.2. Aplicar as linhas de teste (com uma equipe treinada e supervisionada pelo comprador) utilizando uma máquina de demarcação de pavimentos, em pelos menos duas seções de cada superfície selecionada para garantir que não exista a interferência de quaisquer problemas na superfície que não foram detectados. Quando mais de uma amostra é testada em mais de uma localização, mudar a sequência de posicionamento para minimizar o efeito de variações ocorridas por diferentes horários do dia ou estações após a pista ser aberta para o tráfego.

8.3. Aplicar pelo menos duas linhas de cada amostra em cada seção para uma melhor confiabilidade estatística. Uma placa metálica tarada como a utilizada para a medição de microesferas de vidro (ver item 7.1) deve ser colocada entre os trilhos de roda para uma conferência de material e taxa de esferas de vidro. A diferença de peso entre essa leitura e a leitura encontrada no item 7.1 não devem ser maiores do que 0,5g. O comprador pode desejar posicionar outra placa

pequena entre os trilhos de roda para manter uma referência futura. A espessura das amostras deve ser checada dentro dos primeiros 90 centímetros de linha aplicada.

8.4. Para tintas de sinalização padrões a demarcação na superfície do pavimento deve ter uma espessura molhada dentro do especificado pelo comprador com uma variação máxima de  $\pm 0,0254\text{mm}$ .

**Nota 1** – Se a espessura molhada não for especificada, uma espessura de  $0,381\text{mm}$  é recomendada.

8.5. Tintas de alta espessura à base de água, epóxi, epóxios modificados, poliúria, metilmetacrilato e outros materiais, devem ser aplicados na dosagem recomendada pelo fabricante, com uma espessura mínima de  $0,381\text{mm}$  (15mils.). A espessura mínima para materiais termoplásticos deve ser de  $0,762\text{mm}$  (30mils.). Se o fluído for aplicado por outro método de pulverização, tal como a extrusão, o equipamento deve garantir uma espessura constante da demarcação ao longo do percurso e ser capaz de satisfazer as exigências do fabricante para a aplicação do fluído de demarcação.

8.6. Um fluído de demarcação com o qual o comprador possui experiência anterior é recomendado para ser aplicado juntamente no local de ensaio para se comparar a performance dos materiais sobre as condições da rodovia em testes particulares.

8.7. Para tintas de sinalização padrões que utilizam esferas de vidro padrões (AASHTO tipo 1) na aplicação, as esferas de vidro são colocadas na película do fluido com precisão de  $\pm 0,23\text{kg/galão}$  em relação ao especificado pelo comprador.

**Nota 2** - Se nenhuma taxa de aplicação de microesferas foi especificada,  $2,72\text{ kg por galão}$  ( $2,92\text{kg}/10\text{m}^2$ ) de tinta aplicada em uma espessura de  $0,381\text{mm}$  (15mils) é indicado.

8.8. Se forem utilizadas esferas especiais ou outros retrorrefletores ópticos por recomendação do fabricante, a aplicação deve ser feita de acordo com a metodologia de aplicação e de acordo com a taxa de aplicação recomendada pelo fabricante para cada tipo de retrorrefletor, na forma de peso por unidade de área. O método e a taxa de aplicação devem ser especificados no relatório.

---

## 9. CRITÉRIOS DE PERFORMANCE

9.1. Salvo disposição contrária, todas as avaliações devem ser feitas na faixa externa da rodovia, no centro do trilho de roda esquerdo e/ou na área de transição de faixas.

9.2. Tempo de cura – O tempo de cura é determinado através da simulação de uma ultrapassagem com um carro de tamanho padrão para transporte de passageiros com bandas de rodagem regulares (pneus comuns) sobre a linha recém aplicada. Se nenhuma mancha ou predisposição de materiais na superfície for observada a uma distância de 15 metros da direção longitudinal da rodovia, a tinta é considerada em conformidade com os requisitos de secagem.

9.3. A linha de teste é aplicada na mesma temperatura, na mesma espessura de película, e na mesma taxa de esferas de vidro especificadas pelo comprador na aplicação do produto.

9.3.1. O tempo de cura máximo é medido quando a temperatura do pavimento está entre 15 e 50°C sobre as condições de umidade locais, considerando que o pavimento está seco.

9.4. Aparência – É a impressão do observador, a uma distância de 3 metros, da condição geral das linhas de teste sem qualquer inspeção detalhada. É uma avaliação se a aparência está satisfatória ou insatisfatória. Isto inclui uma comparação com a cor inicial da superfície, tendo em conta as mudanças devido ao amarelecimento, sangramento, escurecimento, envelhecimento, sujeira, crescimento de fungos, etc. Esta avaliação é feita tanto no trilho de roda esquerdo como na área de transição de faixas, como definido no item 9.1. A aparência é classificada como aceitável ou inaceitável.

9.5. Durabilidade – a durabilidade é igual a um decimo da porcentagem de material remanescente no pavimento (quando examinados a olho nu). Esta avaliação é feita tanto no trilho de roda esquerdo como na área de transição de faixas, como definido no item 9.1. Faça as avaliações de acordo com o método de Teste ASTM D913.

**Nota 3** – Na ausência de uma especificação pelo comprador, deve ser classificado como reprovado os fluidos que possuírem uma porcentagem restante de material no pavimento inferior à 40%.

9.6. Visibilidade noturna (retrorefletividade) – Estes dados serão obtidos através da utilização de um dispositivo portátil na trilha de roda esquerda e na área de transição de faixas. Leituras serão feitas com um retrorefletor portátil de acordo com o método de teste ASTM E1710. Em ambos os casos, o retrorefletômetro deve ser posicionado na direção de aplicação para que as leituras sejam gravadas. Os resultados devem ser relatados em milicandela por metro quadrado por lux. Os valores obtidos no trilho de roda e na área de transição de faixas devem ser anotados separadamente.

9.7. Cor ao dia – leituras serão realizadas na área de transição de faixas na linha transversal, com um espectrofotômetro de acordo com a especificação ASTM D6628.

9.8. Cor à noite - leituras serão realizadas na área de transição de faixas na linha transversal, com um colorímetro de reflexão de acordo com a especificação ASTM E2367.

9.9. Duração da vida útil – A duração da vida útil é determinada pelo número de dias de duração entre a data que a amostra foi aplicada na rodovia e a data em que um dos parâmetros de medições realizados for menor do que o mínimo aceitável pela especificação.

---

## **10. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO**

10.1. Avaliações de campo devem ser realizadas dentro de três a sete dias após a aplicação (salvo disposição contrária) na plataforma de teste, e em intervalos de 30 dias para o primeiro ano, e em intervalos de cerca de 120 dias para os anos seguintes.

10.2. Faça inspeções periódicas das seções de teste de acordo com os itens 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 e 9.7. Gravar em cada inspeção os valores medidos de critérios avaliados para cada Demarcação. Calcule uma média de cada parâmetro analisado em cada linha de teste.

10.3. Inspeccione as áreas de ensaio em intervalos mensais regulares. As linhas de teste podem falhar rapidamente, portanto é importante que elas sejam avaliadas a cada duas semanas (se o tempo permitir). As linhas de teste devem ser avaliadas até falharem. Diferentes tipos de fluidos de demarcação não se desgastam de forma linear. Por esse motivo, não é possível realizar uma extrapolação e prever a data de falha delas.

10.4. Dados de clima – Inclui os dados mensais de precipitação, temperaturas máxima, mínima e média.

10.5. Um arquivo de fotos para todas as linhas em todas as seções pode ser mantido para uma referência visual futura.

---

## **11. RELATÓRIO**

11.1. Relatórios temporários e finais devem ser apresentados de acordo com um cronograma definido. As seguintes informações mínimas devem ser incluídas:

11.1.1. Localização, tipo, idade e superfície do pavimento.

11.1.2. Informações da companhia, incluindo nome, código, classificação do material, cor, primer (se foi utilizado), indicação se o material possui chumbo ou outros metais pesados.



- 11.1.3. Informações de aplicação, espessura, umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura do pavimento, temperatura do fluído no momento da aplicação.
- 11.1.4. Retrorrefletividade pela tabela de dados.
- 11.1.5. Coloração (ao dia e a noite).
- 11.1.6. Classificação de durabilidade.
- 11.1.7. Classificação de aparência.
- 11.1.8. Relatório fotográfico de ambas as linhas de demarcação aplicadas ao pavimento.

## **D-4971 - PARTÍCULAS CHATAS, ALONGADAS OU CHATAS E ALONGADAS NO AGREGADO GRAÚDO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método cobre a determinação da porcentagem das partículas chatas, alongadas ou chatas e alongadas em agregado graúdo. Dois procedimentos, Método A e Método B, são apresentadas nesta norma. O Método A é a reflexão do procedimento original como desenvolvido anteriormente ao Superpave e tem é direcionado para todos as aplicações sem Superpave. O Método B é uma comparação das dimensões máximas das partículas com as dimensões mínimas da partícula e é direcionado para as aplicações com Superpave.

1.2. Os valores listados em unidades inglesas devem ser mantidos como padrão. Os valores dados em parênteses são conversões matemáticas para as unidades do SI que são fornecidas somente para informação e não são consideradas padrão.

1.2.1. *Exceção (sobre peneiras, por Especificação da E11)* – Os valores listados em unidades do Si devem ser considerados padrão para as dimensões das aberturas da malha da peneira e do diâmetro dos arames usados na malha. Quando malha da peneira é referenciada, as designações em unidades inglesa são fornecidas somente para propósitos de informação e fechadas em parênteses.

1.3. Esta norma não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta norma de estabelecer testes seguros e saudáveis e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes de usar.

1.4. Esta norma internacional foi desenvolvida de acordo com princípios reconhecidos internacionalmente em padrão estabelecido na Decisão de Princípios para o desenvolvimento de Normativas Internacionais, Guias e Recomendações publicada pela *World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee*.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas ASTM:<sup>i</sup>

- ASTM C136/C136M – Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM C702/C702M – Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
- ASTM D75/D75M – Standard Practice for Sampling Aggregates
- ASTM E11 – Standard Specification for Woven Wire Teste Sieve Cloth and Teste Sieves
- ASTM E177 – Practice for Use of Terms Precision and Bias in ASTM Teste Methods
- ASTM E691 – Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

---

### 3. TERMINOLOGIA

#### 3.1. Definições:

3.1.1. *Partículas alongadas de agregado* – Partículas de agregado tendo uma proporção de comprimento para largura maior do que o valor especificado.

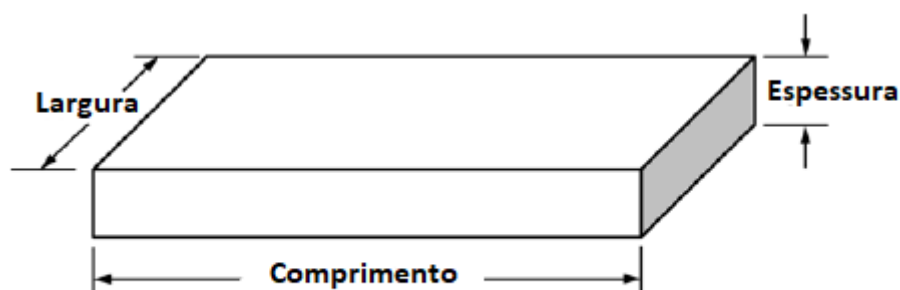
3.1.2. *Partículas chatas e alongadas de agregado* – Partículas de agregado tendo uma proporção de comprimento para espessura maior do que o valor especificado.

3.1.3. *Partículas chatas de agregado* – Partículas de agregado tendo uma proporção de largura para espessura maior do que o valor especificado.

3.1.4. *Comprimento* – dimensão máxima das partículas, ilustradas na Figura 1.

3.1.5. *Espessura* – Dimensão mínima da partícula. É a dimensão máxima perpendicular ao comprimento e largura como ilustrado na figura 1.

3.1.6. *Largura* – Dimensão intermediária da partícula. É a dimensão máxima no plano perpendicular ao comprimento e espessura. As dimensões de largura são maiores ou iguais à espessura como ilustrado na Figura 1.



**Figura 1 - Dimensões da Partículas**

---

#### 4. SUMÁRIO DO MÉTODO DE ENSAIO

4.1. Partículas individuais de agregado de tamanhos de peneiras específicos são medidos para determinar as proporções de largura para espessura, comprimento para largura e comprimento para espessura.

---

#### 5. SIGNIFICADO E USO

5.1. As formas das partículas de agregado graúdo influenciam as propriedades de alguns materiais de construção e podem afetar sua alocação e consolidação.

5.2. Este método de ensaio fornece meios para verificação de conformidade com as especificações que imitam estas partículas ou determinar as características relativas de forma de agregado graúdo.

---

#### 6. EQUIPAMENTOS

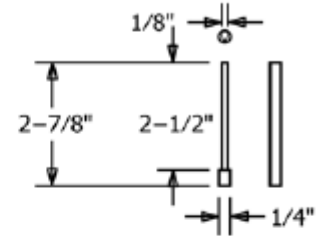
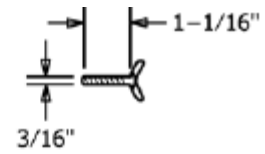
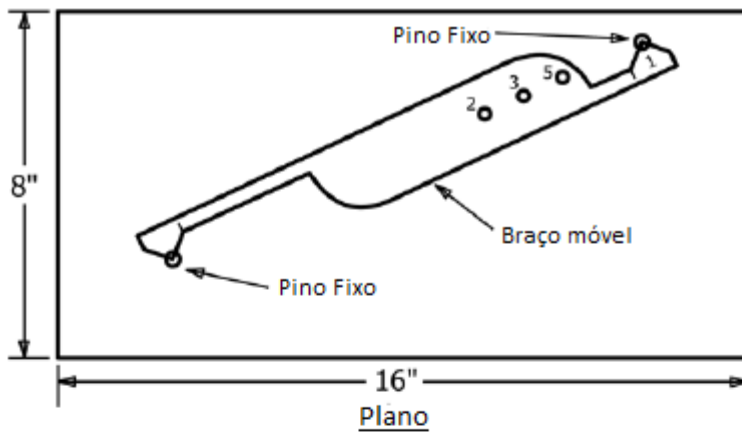
6.1. Os aparatos usados devem ser equipamentos adequados para o ensaio de partículas de agregado para conformidade com as definições na Seção 3.1, nas proporções dimensionais desejadas.

6.1.1. *Paquímetro proporcional* – O paquímetro proporcional ilustrado nas Figuras 1 e 3 são exemplos adequados para este método. O dispositivo ilustrado na Figura 2 consiste em uma placa base com dois pinos fixos com um braço móvel equipado entre os pinos para que as aberturas entre os braços e os pinos mantenham uma abertura constante. A posição do eixo pode ser ajustada para fornecer a uma proporção desejada para as dimensões de abertura. A Figura 2 ilustra um dispositivo o qual as proporções de 1:2, 1:3 e 1:5 podem ser configuradas. O dispositivo ilustrado na Figura 3 contém vários pinos fixos e tem a capacidade de medir várias proporções simultaneamente. Veja Nota 1.

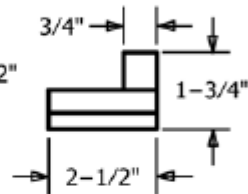
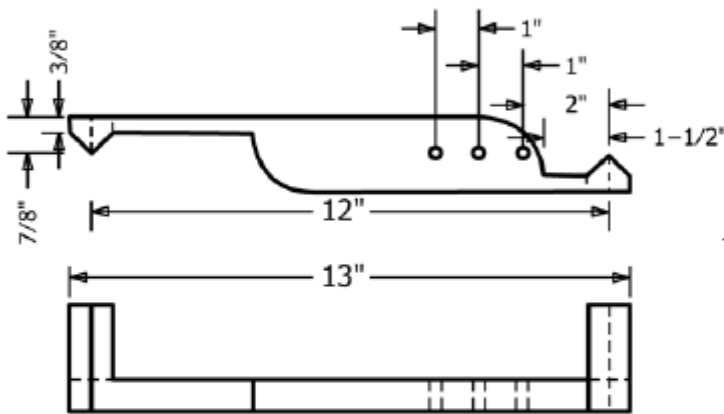
6.1.1.1. *Verificação da Proporção* – As configurações de proporção no paquímetro devem ser verificadas pelo uso de um bloco usinado, micrometro ou outro dispositivo apropriado.

6.1.2. *Balança* – A balança ou escala usada deve ter precisão de 0,5% da massa da amostra.

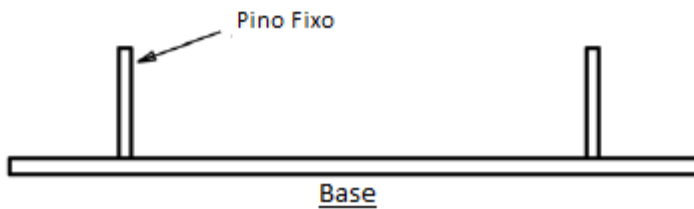
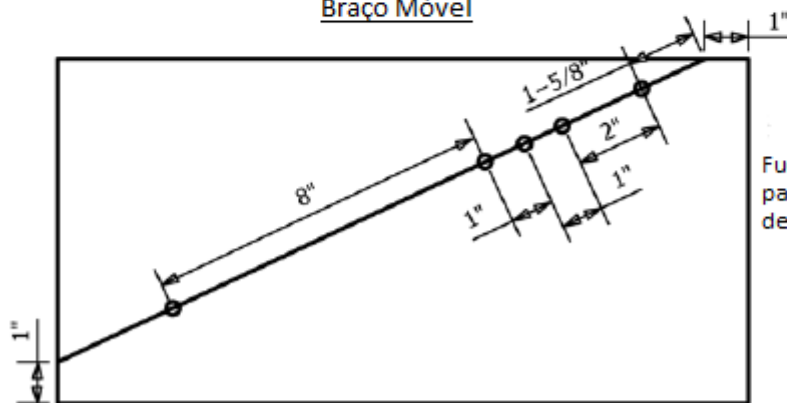
**Nota 1** – As Figuras 2 e 3 fornecem exemplos de possíveis dispositivos que podem ser usados neste ensaio. Outros dispositivos podem ser adequados se eles forem de acordo com os requisitos de verificação listados na Seção 6.1.1.1.



Pino Fixo

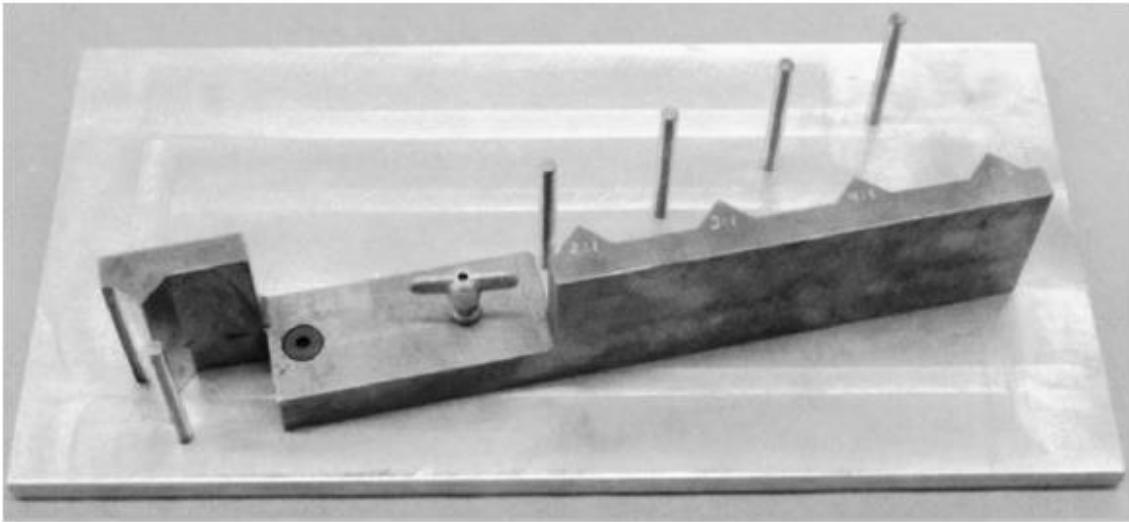


Braço Móvel



Base

**Figura 2 – Paquímetro Proporcional**



**Figura 3 – Paquímetro Proporcional**

Métricas Equivalentes			
pol.	(mm)	pol.	(mm)
1/8	(3,2)	1 5/8	(41,0)
3/16	(4,8)	1 3/4	(44,5)
1/4	(6,3)	2	(50,8)
5/16	(7,9)	2 1/2	(64,0)
3/8	(9,5)	2 7/8	(72,0)
3/4	(19,1)	3 3/4	(96,0)
7/8	(21,2)	8	(207,0)
1	(25,4)	12	(204,8)
1 1/16	(27,0)	13	(330,2)
1 1/2	(38,0)	16	(414,0)

## 7. AMOSTRAGEM

7.1. Amostre o agregado graúdo de acordo com o Método ASTM D75/D75M. A massa do campo da amostra deve ser a massa listada no D75/D75M.

7.2. Misture completamente a amostra e a reduza para uma quantidade adequada para ensaio usando procedimentos aplicáveis descritos na ASTM C702/C702M. A amostra para ensaio deve ser aproximadamente da massa desejada quando seca e deve ser o resultado da redução. A redução para uma massa predeterminada não é permitida. A massa da amostra de ensaio deve estar conforme o seguinte:

Tamanho Nominal Máximo de Aberturas Quadradas, pol. (mm)	Massa Mínima da Amostra de Ensaio, lb (kg)
3/8 (9,5)	2 (1)
1/2 (12,5)	4 (2)
5/8 (16)	7 (3)
3/4 (19,0)	11 (5)
1 (25,0)	22 (10)
1 1/2 (37,5)	33 (15)
2 (50)	44 (20)
2 1/2 (63)	77 (35)
3 (75)	130 (60)
3 1/2 (90)	220 (100)
4 (100)	330 (150)
4 1/2 (112)	440 (200)
5 (125)	660 (300)
6 (150)	1100 (500)

## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Se a determinação por massa é necessária, seque a amostra na estufa até a constância de massa a temperatura de  $230 \pm 9^\circ\text{F}$  ( $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ). Se a determinação é pela contagem de partículas, a secagem não é necessária.

8.2. Peneira a amostra a ser ensaiada de acordo com o método de ensaio C136/136M. Usando o material retido na peneira de 3/8 pol. (9,5mm) ou N° 4 (4,75 mm), como requerido pela especificação sendo usada, reduza a fração da amostra presente na quantidade de 10% ou mais da amostra original de acordo com o C702/C702M até que aproximadamente 100 partículas sejam obtidas para cada fração de tamanho necessária. Frações de tamanho contendo menos do que 10% da massa original da amostra não são ensaiadas e podem ser descartadas.

8.3. **Método A** – Ensaie cada partícula em cada fração, e coloque em 4 grupos: (1) partículas chatas, (2) partículas alongadas, (3) partículas que tem as características dos grupos 1 e 2, e (4) partículas nem chatas ou alongadas que não tem características de nenhum dos grupos 1 e 2. Cada partícula deve ser sujeita ao ensaio de partícula chata ou ensaio de partícula alongada de acordo com a 8.3.1.1 e 8.3.1.2. Se a partícula é determinada a ser chata, mas não alongada, a partícula pertence ao grupo das “chatas”. Se é determinado que a partícula não é chata, mas é alongada, a partícula é colocada no grupo das “alongadas”. Em alguns casos, pode ser possível para uma partícula se achar os critérios para partículas chatas e alongadas. Neste caso a partícula é colocada no grupo “das partículas que encontrar ambos os critérios do Grupo 1 e Grupo 2”. Se a partícula não é chata nem

alongada, ela é colocada no grupo das “partículas que não tem características do Grupo 1 ou do Grupo 2”.

8.3.1. Use paquímetro proporcional, posicionado na proporção adequada, exibida na Figura 4, como a seguir:

8.3.1.1. *Ensaio de Partículas Chatas* – Ajuste a abertura maior igual à largura máxima da partícula. A partícula é chata se a espessura máxima pode ser colocada pela abertura menor.

8.3.1.2. *Ensaio de Partículas Alongadas* - Ajuste a abertura maior igual ao comprimento máximo da partícula. A partícula é alongada se a largura máxima pode ser colocada pela abertura menor.

8.3.2. Depois de cada partícula ter sido classificada em um dos grupos descritos na 8.3, determine a proporção da amostra em cada grupo por contagem ou pela massa, como necessário.

8.4. **Método B** – Ensaie cada uma das partículas em cada fração de tamanho e coloque em um dos dois grupos: (1) chatas e alongadas ou (2) nem chatas nem alongadas.

8.4.1. Use paquímetro proporcional, posicionado na proporção adequada, exibida na Figura 4, como a seguir:

8.4.1.1. *Ensaio de Partículas Chatas ou Alongadas* – Ajuste a abertura maior igual ao comprimento máximo da partícula. A partícula é alongada se a espessura máxima pode ser colocada pela abertura menor.

8.4.2. Depois de cada partícula ter sido classificada em um dos grupos descritos na 8.3, determine a proporção da amostra em cada grupo por contagem ou pela massa, como necessário.

---

## 9. CÁLCULO

9.1. Calcule a porcentagem das partículas em cada grupo com arredondamento para 0,1% para cada fração de tamanho ensaiada maior do que 3/8 pol. (9,5 mm) ou N° 4 (4,75 mm), como necessário.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. Inclua as seguintes informações no relatório:

10.1.1. Identificação do agregado graúdo ensaiado, e



10.1.2. Granulometria da amostra original de agregado, mostrando a porcentagem retida em cada peneira.

10.1.3. Para o Método A:

10.1.3.1. Número de partículas em cada tamanho de peneira ensaiado;

10.1.3.2. Porcentagens, calculadas por número ou por massa ou ambos, para cada grupo: (1) partículas chatas, (2) partículas alongadas, (3) partículas que tem as características dos grupos 1 e 2, e (4) partículas nem chatas ou alongadas, que não tem características de nenhum dos grupos 1 e 2, e

10.1.3.3. As proporções dimensionais usadas nos ensaios.

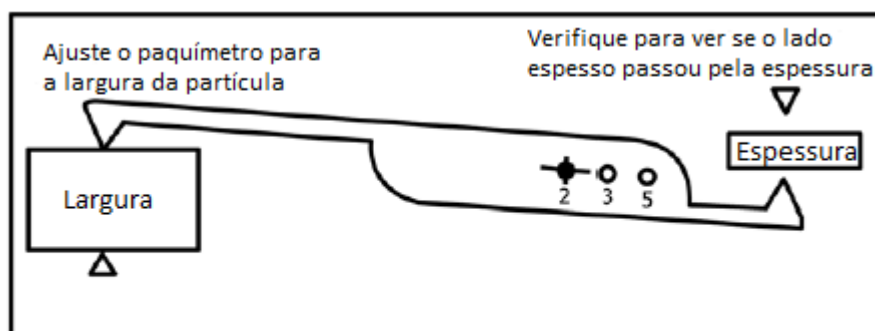
10.1.4. Para o Método B:

10.1.4.1. Número de partículas em cada tamanho de peneira ensaiado.

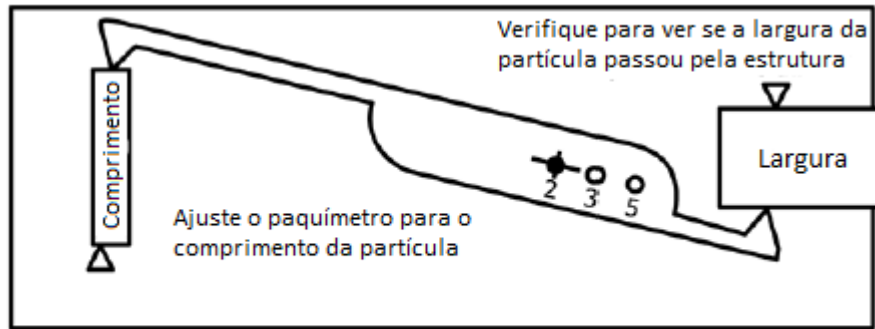
10.1.4.2. Porcentagens, calculadas por número ou massa para partículas alongadas e chatas para cada tamanho de peneira ensaiado,

10.1.4.3. A proporção dimensional usada nos ensaios, e

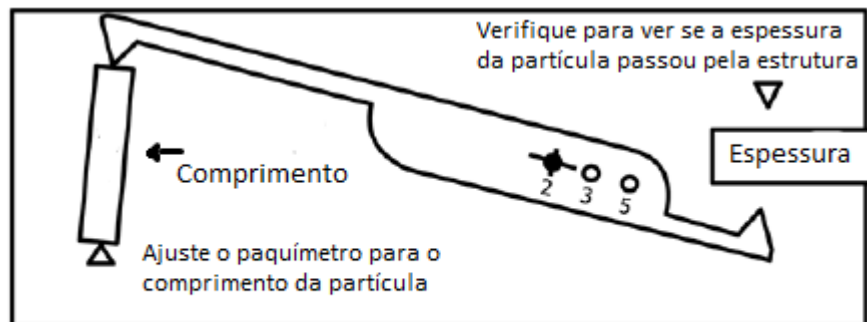
10.1.5. Quando necessário, faça a média ponderada das porcentagens baseadas nas proporções atuais e assumidas de vários tamanhos de peneira ensaiados. Reporte a granulometria usada para a média ponderada se diferente da listada na Seção 10.1.2.



**Ensaio de Partícula Chata**



**Ensaio de Partícula Alongada**



**Ensaio de Partícula Chata e Alongada**

**Figura 4 – Uso do Paquímetro Proporcional**

## 11. PRECISÃO E TENDÊNCIA

11.1. Precisão, Método A – A precisão deste método de ensaio é baseada em um estudo interlaboratorial da D4791, Método Padrão de Ensaio para Partículas Chatas, Alongadas ou Chatas e Alongadas no Agregado Graúdo, conduzido em 2018. Doze laboratórios testando cada um dos três tamanhos diferentes de proporções diferentes. Todo “resultado de ensaio” representa uma determinação individual e todos os participantes reportaram resultados de ensaio replicados. Este estudo somente inclui resultado de ensaio para o Método A da D4791. O Teste E691 foi seguido para o projeto e análise dos dados; os detalhes são dados na ASTM Research Report No. RR:D04-1043.ii

11.1.1. Limite de Repetibilidade ( $r$ ) – A diferença entre resultados repetidos obtidos pelo mesmo operador em um dado laboratório aplicando o mesmo método de ensaio com o mesmo equipamento sobre condições de operação constantes em materiais de ensaio idênticos dentro de intervalos pequenos de tempo, a longo prazo e na operação normal e correta do método de ensaio, excederia os seguintes valores somente em um caso em 20.

11.1.1.1. A repetibilidade pode ser interpretada como a diferença máxima entre dois resultados, obtidos sobre condições de repetibilidade, que é aceita como plausível devido a causas aleatórias sobre a operação normal e correta do método de ensaio.

11.1.1.2. Os limites de repetibilidade estão listados nas Tabelas 1 a 6.

11.1.2. Limite de Reprodutibilidade (R) – A diferença entre dois resultados independentes e únicos obtidos através de dois operadores diferentes aplicando o mesmo método de ensaio em laboratórios diferentes usando equipamentos diferentes em materiais de ensaio idênticos, a longo prazo e na operação normal e correta do método de ensaio, excederia os seguintes valores somente em um caso em 20.

11.1.2.1. A reprodutibilidade por ser interpretada como a diferença máxima entre dois resultados, obtidos sobre condições de reprodutibilidade, que são aceitáveis devido a causas aleatórias sobre operação normal e correta do método de ensaio.

11.1.2.2. Os limites de reprodutibilidade estão listados nas Tabelas 1 a 6.

11.1.3. Os termos “limite de repetibilidade” e “limite de reprodutibilidade” são usados como especificado no Teste E177.

11.1.4. Qualquer julgamento de acordo com 11.1.1 e 11.1.2 teria uma probabilidade de acerto de 95% aproximadamente.

11.1.5. As declarações de precisão foram determinadas através de uma análise estatística de 576 resultados de ensaio, de 12 laboratórios, em partículas com três dimensões diferentes ensaiadas em duas proporções diferentes. Para julgar a equivalência de dois resultados de ensaio, é recomendado escolher a partícula mais próxima nas características para o seu ensaio de partícula.

11.2. *Precisão, Método B* – Os valores de precisão listados nas Tabelas 1 a 7 são médias obtidas das amostras de proficiência AMRL usadas no Aggregate Proficiency Sample Program (Veja a Nota 2). Os limites 1S % e D2S % fornecidos são descritos no Teste C670.

**Nota 2** – A proporção 1:3 foi usada.

11.3. *Tendência* – Desde que não haja um material de referência adequado para a determinação de tendência para este método de ensaio, nenhuma declaração de tendência foi feita.

---

## 12. PALAVRAS-CHAVE

12.1. Agregados; agregado graúdo; forma de partícula.

Legenda Para Tabelas 1 a 6:

1 - Partículas Chatas

2 - Partículas Alongadas

3 - Partículas Chata e Alongadas

4 - Nenhuma das Características

**Tabela 1** – Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:3, tamanho de partícula 4,75 mm (N° 4) a 9,5 mm (3/8 pol.)

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
1	10,5	3,8	6,7	10,5	18,7
2	6,9	2,5	11,0	7,0	30,9
3	0,6	0,4	1,9	1,3	5,3
4	81,9	4,6	11,8	12,9	33,0

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 2** – Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:5, tamanho de partícula 4,75 mm (N° 4) a 9,5 mm (3/8 pol.)

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
1	1,2	2,9	3,6	8,2	10,0
2	0,7	0,2	1,6	0,5	5,2
3	0,2	0,0	0,6	0,0	1,6
4	97,9	2,9	4,1	8,2	11,6

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 3 – Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:3, tamanho de partícula 9,5 mm (3/8 pol.) a 12,5 mm (1/2 pol.)**

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	r	R
1	9,6	2,4	4,4	6,8	12,2
2	4,7	1,0	8,9	2,9	25,1
3	0,8	0,5	2,6	1,4	7,4
4	86,0	2,6	9,1	7,4	25,5

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 4 – Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:5, tamanho de partícula 9,5 mm (3/8 pol.) a 12,5 mm (1/2 pol.)**

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	r	R
1	0,7	0,5	0,6	1,3	1,8
2	0,6	0,1	1,9	0,3	5,3
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	98,7	0,5	1,8	1,3	5,0

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 5 – Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:3, tamanho de partícula 12,5 mm (1/2 pol.) a 19,0 mm (3/4 pol.)**

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	r	R
1	6,9	1,2	2,7	3,5	7,6
2	2,2	0,7	7,2	2,0	20,2
3	0,5	0,6	2,0	1,8	5,5
4	90,3	1,2	7,2	3,3	20,1

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 6 –** Porcentagem de Partículas por Peso (%), proporção 1:5, tamanho de partícula 12,5 mm (1/2 pol.) a 19,0 mm (3/4 pol.)

Material	Média <sup>A</sup>	Desvio Padrão de Repetibilidade	Desvio Padrão de Reprodutibilidade e	Limite de Repetibilidade	Limite de Reprodutibilidade e
	$\bar{x}$	Sr	SR	r	R
1	0,5	0,3	0,7	0,7	1,9
2	0,3	0,6	1,1	1,6	3,1
3	0,0	0,1	0,2	0,2	0,4
4	99,1	0,6	1,3	1,6	3,5

<sup>A</sup> A média das médias calculadas pelos laboratórios.

**Tabela 7 –** 19,0 mm a 12,5 mm, Porcentagem de Chatas e Alongadas

Precisão	Resultado do Ensaio	(1S) %	(D2S) %
Operador Único	2,7	51,2	144,8
Multilaboratório		88,5	250,3

**Tabela 8 –** 12,5 mm a 9,5 mm, Porcentagem de Chatas e Alongadas

Precisão	Resultado do Ensaio	(1S) %	(D2S) %
Operador Único	34,9	22,9	64,7
Multilaboratório		43,0	121,8

**Tabela 9 –** 9,5 mm a 4,75 mm, Porcentagem de Chatas e Alongadas

Precisão	Resultado do Ensaio	(1S) %	(D2S) %
Operador Único	24,1	19,0	53,6
Multilaboratório		46,1	130,3

## **E-303 - DETERMINAÇÃO DO VALOR DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM UTILIZANDO O PÊNDBULO BRITÂNICO**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método de ensaio estabelece o procedimento para medição da resistência à derrapagem utilizando o Pêndulo Britânico.
- 1.2. O Pêndulo Britânico é um pêndulo dinâmico de impacto usado para medir a perda de energia quando uma borda deslizante de borracha é impulsionada sobre a superfície testada. O dispositivo pode ser adaptado tanto para testes em laboratório quanto para testes de campo em superfícies planas, além de poder ser utilizado para medição em laboratório do valor de polimento em corpos de prova de agregados no ensaio de polimento acelerado.
- 1.3. Os valores medidos de VRD (Valor de Resistência à Derrapagem) representam as propriedades de atrito/fricção do pavimento, e não necessariamente conferem ou se correlacionam com outros equipamentos medidores de resistência à derrapagem, como por exemplo o grip-tester.
- 1.4. Valores indicados no Sistema Internacional de Unidades devem ser considerados como padrão. Valores entre parênteses são somente informativos.
- 1.5. Este método não pretende destacar todas as indicações de segurança, se houver, associadas a seu uso. É responsabilidade do usuário deste método de ensaio estabelecer práticas apropriadas de segurança, saúde e meio ambiente, bem como determinar a aplicabilidade das limitações regulamentares antes do uso.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

- 2.1. Normas ASTM:
- 2.2. E303 Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester;
- 2.3. E501 Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests.
- 2.4. Normas ABNT:
- 2.5. NBR 16780 Sinalização horizontal viária - Medição da resistência à derrapagem de uma superfície utilizando o pêndulo britânico.

---

### 3. RESUMO DO MÉTODO DE ENSAIO

- 3.1. Este método de ensaio consiste em usar um pêndulo com uma borracha deslizando padrão para determinar as propriedades de fricção da superfície ensaiada.
- 3.2. A superfície de ensaio deve ser limpa e umedecida antes do ensaio.
- 3.3. O controle deslizando do pêndulo deve ser posicionado para entrar em um leve contato com a superfície de ensaio. O pêndulo é levantado para uma posição travada, e então liberado, assim permitindo que o controle deslizando faça contato com a superfície de ensaio.
- 3.4. Um ponteiro de arrasto indica o Valor de Resistência à Derrapagem. Quanto maior o atrito entre o controle deslizando e a superfície de ensaio, mais a oscilação é retardada e maior é a leitura VRD. Quatro oscilações do pêndulo são feitas para cada superfície de teste.

---

### 4. SIGNIFICADO E USO

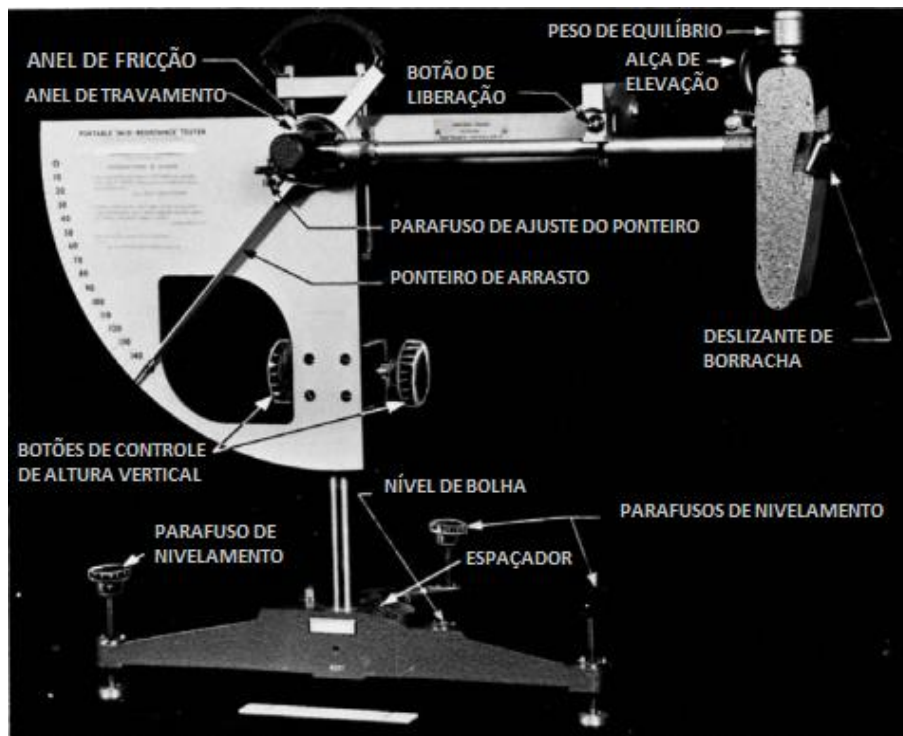
- 4.1. Este método de ensaio fornece uma medida da resistência à derrapagem e microtextura de superfícies de pavimentos em campo ou no laboratório.
- 4.2. Este método de ensaio pode ser utilizado para determinar os efeitos relacionados a vários processos de polimento em materiais ou combinações de materiais.
- 4.3. Os valores medidos de acordo com este método não necessariamente concordam ou se correlacionam diretamente com outros valores, obtidos utilizando outros métodos de ensaio para determinação das propriedades de atrito/fricção ou resistência à derrapagem.

---

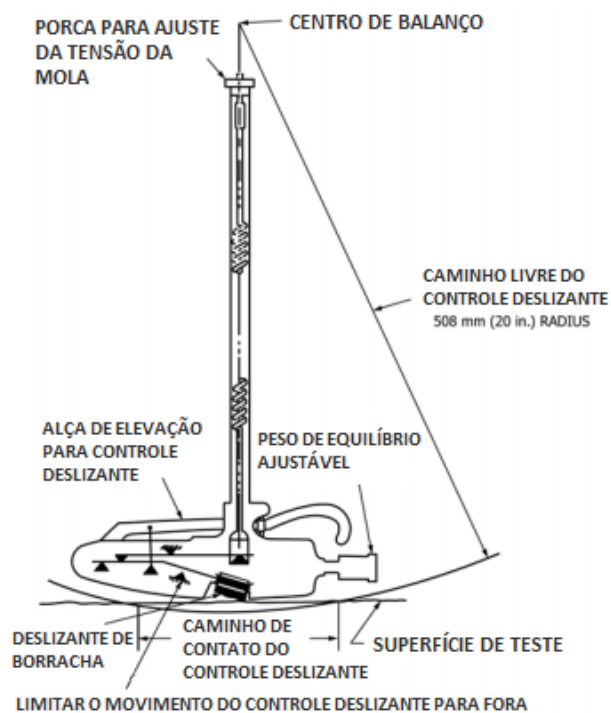
### 5. DISPOSITIVO

- 5.1. Pêndulo Britânico (Figura 1) - O pêndulo com o controle deslizando e sua montagem devem pesar  $1500 \pm 30$  g. A distância do centro de gravidade do pêndulo a partir do centro de oscilação deve ser  $411 \pm 5$  mm ( $16,2 \pm 0,2$  pol.). O dispositivo deve possuir ajuste vertical para fornecer um caminho de contato para o controle deslizando de  $125 \pm 1,6$  mm ( $4\frac{15}{16} \pm \frac{1}{16}$  pol.) para ensaios em superfícies planas e 76 a 78 mm ( $3 \pm \frac{1}{16}$  pol.) para ensaios de polimento. O arranjo da mola e da alavanca mostrado na Figura 2 deve ter uma carga média normal de 76 mm (3 pol.) de largura no controle deslizando e  $2500 \pm 100$  g na superfície de ensaio.





**Figura 1 - Pêndulo Britânico**

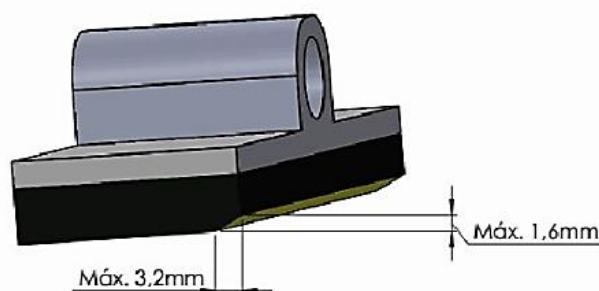


**Figura 2 - Desenho esquemático do pêndulo mostrando o arranjo da mola e da alavanca**

5.2. Controle deslizante - O conjunto do controle deslizante deve consistir em uma placa de suporte de alumínio que deve ser fixada em uma tira de borracha com 6 x 25 x 76 mm (1/4 por 1 por 3 pol.) para ensaiar superfícies planas, ou uma tira de borracha de 6 x 25 x 32 mm (1/4 por 1 por 1 1/4 pol.) para ensaiar o polimento em corpos de prova curvos. O composto de borracha deve ser composto por borracha natural atendendo aos requisitos do Road Research Laboratory, ou borracha sintética conforme especificado na Especificação ASTM E501.

5.2.1. Novos controles deslizantes devem ser condicionados antes do uso com dez oscilações em lixa de carboneto de silício Nº 60 ou equivalente em condições secas. As oscilações devem ser feitas com o dispositivo descrito na Seção 7.

5.2.2. O desgaste na borda de impacto do controle deslizante não deve exceder 3,2 mm (1/8 pol.) no plano do controle deslizante ou 1,6 mm (1/16 pol.) vertical a ele, como ilustrado na Figura 3.



**Figura 3** - Conjunto deslizante ilustrando o desgaste máximo admissível na borda de impacto

5.3. Acessórios:

5.3.1. O medidor do caminho de contato deve consistir em uma régua fina, adequadamente marcada para medir o comprimento do caminho de contato entre 124 mm e 127 mm (47/8 e 5,0 pol.) ou entre 75 e 78 mm (215/16 e 31/16 pol.), conforme necessário para o teste específico.

5.3.2. Equipamentos diversos, como recipientes de água, termômetro de superfície e escova são recomendados.

---

## 6. CORPOS DE PROVA

6.1. Campo – As superfícies de ensaio em campo devem estar livres de partículas soltas e enxaguadas com água limpa. A superfície de teste não precisa ser horizontal, desde que o

instrumento possa ser nivelado na posição de trabalho utilizando apenas os parafusos de nivelamento, onde a cabeça do pêndulo entrará em contato com a superfície.

6.2. Laboratório – As amostras de laboratório devem estar limpas e livres de partículas soltas e devem ser mantidos rigidamente de modo a não serem movidas pela força do pêndulo.

6.2.1. As amostras de laboratório com superfícies planas devem ter uma superfície de teste de pelo menos 89 por 152 mm (3 1/2 por 6 pol.).

6.2.2. Amostras do ensaio de polimento acelerado em laboratório devem ter uma superfície de teste de pelo menos 44 x 89 mm (1 3/4 por 3 1/2 pol.) curvados no arco de um círculo de 406 mm (16 pol.) de diâmetro.

---

## **7. PREPARAÇÃO DO EQUIPAMENTO**

7.1. Nivelamento - Nivele o instrumento com precisão girando os parafusos de nivelamento até que a bolha esteja centralizada no nível.

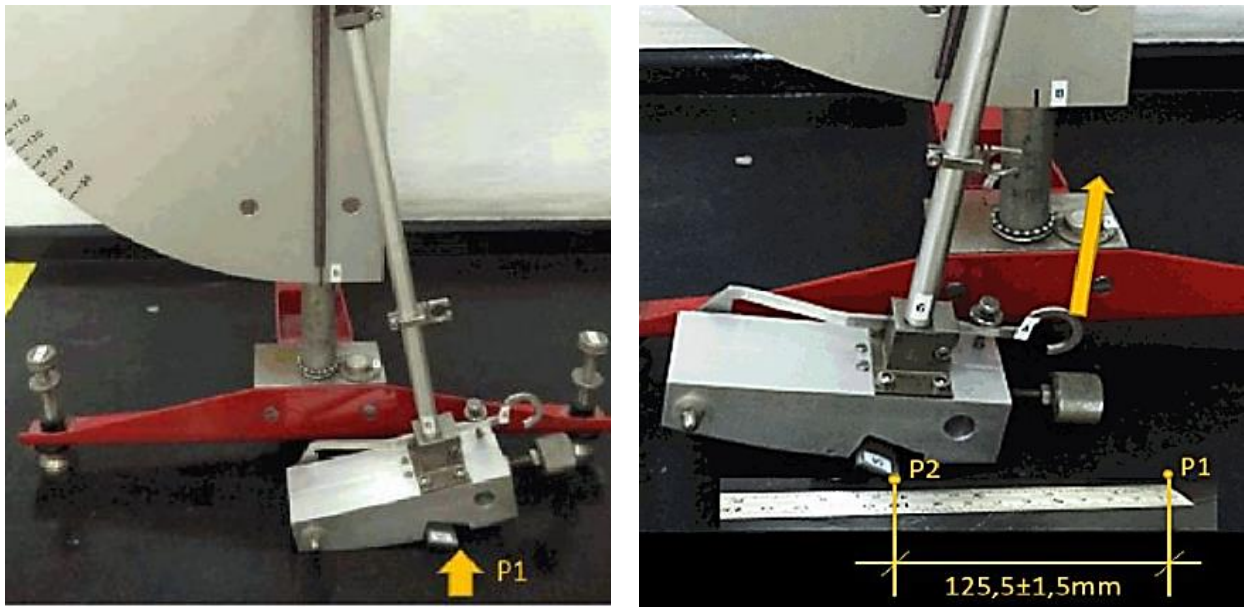
7.2. Ajuste de Zero – Levante o mecanismo do pêndulo, afrouxando o botão de travamento (diretamente atrás do pivô do pêndulo) e gire qualquer um dos dois botões de movimento da cabeça no centro do dispositivo para permitir que o controle deslizante balance livremente sobre a superfície de ensaio. Aperte o botão de travamento firmemente. Coloque o pêndulo na posição de liberação e gire o arrasto ponteiro no sentido anti-horário até que encoste no parafuso de ajuste no braço do pêndulo. Solte o pêndulo e observe leitura do ponteiro. Se a leitura não for zero, afrouxe o anel de travamento e gire ligeiramente o anel de fricção no eixo do rolamento e trave novamente. Repita o teste e ajuste o anel de fricção até que o pêndulo balance o ponteiro para zero.

7.3. Ajuste do comprimento do slide:

7.3.1. Com o pêndulo pendurado livremente, coloque o espaçador sob parafuso de ajuste da alça de levantamento. Abaixar o pêndulo até que a borda de controle deslizante apenas toque a superfície. Trave a cabeça do pêndulo com firmeza, levante alça de levantamento e remova o espaçador.

7.3.2. Levante o controle deslizante levantando a alça, mova o pêndulo para a direita, abaixe o controle deslizante e permita que o pêndulo se mova lentamente para a esquerda até a borda do controle deslizante toque a superfície. Coloque o medidor ao lado do controle deslizante e paralelo à direção de giro para verificar o comprimento do caminho de contato. Levante o controle deslizante usando a alça de levantamento e mova o pêndulo para a esquerda, em seguida, reduza lentamente até que a borda do controle

deslizante volte novamente para a superfície. Se o comprimento do caminho de contato não estiver entre 124 e 127 mm (47/8 e 5,0 pol.) em corpos de prova planos, conforme Figura 4, ou entre 75 e 78 mm (215/16 e 31/16 pol.) na roda de polimento curva da amostra, medidos da borda posterior à borda posterior do corrediça de borracha, ajuste levantando ou abaixando o instrumento com o parafuso de nivelamento frontal. Reajuste o nível do instrumento, se necessário. Coloque o pêndulo na posição de liberação e gire o arrasto ponteiro no sentido anti-horário até encostar no parafuso de ajuste no braço do pêndulo.



**Figura 4** – Ajuste do comprimento de contato

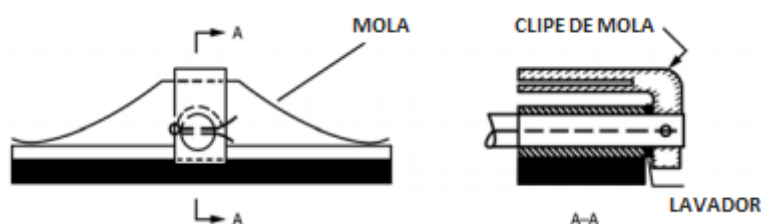
## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Aplique água suficiente para cobrir completamente a área de teste. Execute um balanço, mas não registre a leitura.

**Nota 1** - Sempre segure o pêndulo durante a parte inicial após retornar do balanço. Ao retornar o pêndulo à sua posição inicial, eleve o controle deslizante com sua alça de levantamento para evitar o contato entre o controle deslizante e a superfície de teste. Antes de cada balanço, o ponteiro deve ser devolvido até ele está apoiado no parafuso de ajuste.

8.2. Sem demora, faça mais quatro oscilações, sempre umedecendo a área de teste a cada oscilação e registre os resultados.

**Nota 2** - Deve-se tomar cuidado para que o controle deslizante permaneça paralelo à superfície de teste durante as oscilações, e não gire de modo que uma extremidade ao invés de toda a borda de impacto faça o contato inicial. Os dados disponíveis indicam que a inclinação do controle deslizante pode causar leituras de VRD erradas. A instalação de uma pequena mola plana irá aliviar o problema. A mola pode ser inserida em uma ranhura no clipe de mola e o conjunto preso pelo contra pino conforme mostrado na Figura 4. As extremidades livres da mola podem repousar sobre a placa de apoio do controle deslizante para impedir que o controle deslizante se incline.



**Figura 4** - Clipe de mola e mola para inibir a rotação do controle deslizante

- 8.3. Verifique novamente o comprimento do contato deslizante de acordo com 7.3.
- 8.4. O resultado médio obtido deverá ser corrigido em função da temperatura da água durante a realização do ensaio, conforme tabela a seguir:

Correção em função da temperatura da água											
Temperatura	0°C	2°C	5°C	8°C	10°C	13°C	15°C	20°C	25°C	30°C	40°C
Correção	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3

## 9. RELATÓRIO

- 9.1. Relate as seguintes informações:
- 9.1.1. Valores individuais em VRD,
  - 9.1.2. Temperatura da superfície de teste,
  - 9.1.3. Valor médio das leituras realizadas, com correção em função da temperatura da água,
  - 9.1.4. Tipo, idade, condição, textura e localização do teste superfície,
  - 9.1.5. Tipo e fonte de agregado para testes de polimento,
  - 9.1.6. Tipo e idade do controle deslizante de borracha.

## **E-965 - MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DA MACROTEXTURA DE PAVIMENTOS UTILIZANDO TÉCNICA VOLUMÉTRICA**

Este método é uma adaptação e modificação do método ASTM-E-965-01.

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento descreve o procedimento padrão para determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos pela aplicação cuidadosa de um volume conhecido de areia na superfície do pavimento e a subsequente medição da área total coberta por ela. A técnica é utilizada para fornecer um valor médio da profundidade da macrotextura do pavimento e não possui sensibilidade para avaliar as características de microtextura dos pavimentos.

1.2. Os resultados obtidos utilizando este procedimento não tem correlação direta com qualquer outro método de avaliação da macrotextura de pavimentos.

1.3. Os valores expressos em unidades do sistema internacional devem ser considerados como padrão.

1.4. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos, e não tem o objetivo de analisar nenhum problema de segurança associado à sua utilização. É de responsabilidade do usuário deste método estabelecer as práticas de segurança apropriadas e os equipamentos de proteção individuais necessários antes do início do ensaio.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. Métodos ASTM:

- E-178 – Práticas para lidar com observações periféricas,
  - E-867 – Terminologia relativa aos sistemas veículo-pavimento.
- 

### **3. TERMINOLOGIA**

3.1. Macrotextura de pavimentos – Rugosidade formada pelo conjunto agregados-mástique, tendo como referência uma superfície perfeitamente plana.

---

### **4. SUMÁRIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

4.1. Os materiais e equipamentos utilizados neste método consistem de uma quantidade conhecida de um material uniforme, um recipiente de volume conhecido, uma barreira de proteção

contra ventos de dimensões mínimas de 50cm por 50cm, pinceis para limpeza da superfície do pavimento, um disco plano para espalhar o matérias na superfície e uma trena ou outro aparelho de medição para determinação da área coberta pelo material. Uma balança pode ser necessária para garantir a quantidade exata de material a ser utilizada no ensaio.

4.2. O método de ensaio consiste no espalhamento circular de um volume conhecido de areia na superfície limpa e seca do pavimento, medição da área coberta pelo material e cálculo da profundidade média entre a parte inferior da rugosidade e o topo dos agregados da superfície do pavimento. Esta medição da textura superficial dos pavimentos reflete as características da macrotextura dos pavimentos.

---

## **5. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

5.1. Este método de ensaio é realizado em campo para determinar a profundidade média da macrotextura da superfície de pavimentos. O conhecimento da profundidade da macrotextura do pavimento serve como uma ferramenta para caracterização de sua textura superficial. Quando utilizado em conjunto com outros testes físicos, os valores de profundidade da macrotextura obtidos através deste método de ensaio podem ser utilizados para determinar a capacidade de resistência a derrapagem e a adequação dos materiais e técnicas construtivas. Quando utilizado combinado com outros ensaios, deve-se garantir que ambos sejam realizados exatamente no mesmo local. Melhorias nas práticas de acabamento e programações de manutenção podem ser adotadas através da realização deste ensaio.

5.2. A profundidade média da macrotextura do pavimento utilizando este método de ensaio é influenciada pelas características de macrotextura do pavimento e não é afetada significativamente pela microtextura do pavimento. A forma das partículas do agregado do pavimento, assim como seu tamanho e distribuição são características de textura não abordadas neste procedimento de ensaio. Este método de ensaio não se destina a fornecer uma avaliação completa das características de textura da superfície do pavimento.

5.3. A profundidade média da macrotextura do pavimento medida através deste método de ensaio, com os materiais e equipamentos descritos neste método, não possuem correlação direta com outras técnicas de medição da textura superficial de pavimentos. Este método de ensaio deve ser utilizado apenas para os propósitos descritos nesta especificação.

---

## 6. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os equipamentos e materiais utilizados neste método são mostrados na figura 1:



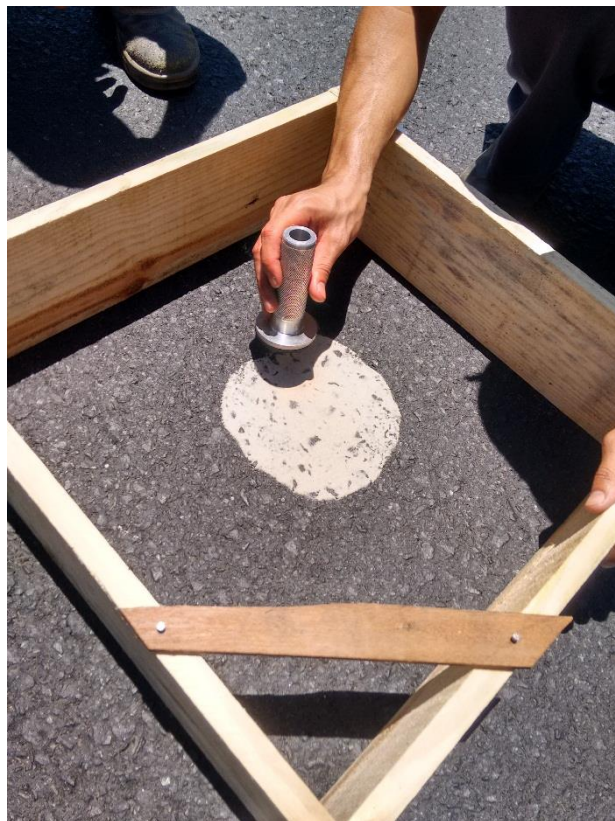
**Figura 1** - Materiais e equipamentos utilizados para realização do ensaio

### 6.1. Materiais:

- 6.1.1. Microesferas de Vidro com no mínimo 90% em massa passante na peneira nº60 (0,250mm) e retida na peneira nº 80 (0,180mm), ou Areia Natural, com no mínimo 90% em massa passante na peneira nº50 (0,300mm) e retida na peneira nº 100 (0,150mm).
- 6.1.2. Recipiente de metal ou plástico, com um volume interno predeterminado de 25000mm<sup>3</sup>, para ser preenchido com a areia que será espalhada na superfície do pavimento,
- 6.1.3. Um disco plano de aproximadamente 25 mm de espessura e entre 60 e 75 mm de diâmetro para o espalhamento da areia na superfície do pavimento.
- 6.1.4. Pincel, para completa limpeza da superfície do pavimento antes do espalhamento do volume de areia.



6.1.5. Dispositivo de proteção com dimensões mínimas de 50 cm x 50 cm para ser posicionado em volta da areia durante a realização do ensaio, a fim de proteger o material do vento e da turbulência criada pelo tráfego, como na figura 2:



**Figura 2** - Dispositivo de proteção contra ventos e turbulência criada pelo tráfego

6.1.6. Régua ou trena com divisões milimétricas para medição do diâmetro do círculo de areia espalhado na superfície do pavimento

---

## 7. PROCEDIMENTO

7.1. Área de teste – Inspeccionar a superfície do pavimento que será ensaiada e selecionar uma área seca, homogênea, livre de trincas e emendas. Limpar completamente a superfície utilizando pinceis, com a finalidade de remover qualquer resíduo, detrito ou partículas de agregado livres na superfície. Posicionar o dispositivo de proteção ao redor da área a ser ensaiada.

7.2. Amostra de areia – Preencher o cilindro de volume conhecido com areia seca e bater gentilmente a base do cilindro em uma superfície rígida de forma a adensar o material. Adicionar mais areia até preencher o cilindro completamente. Rasar o topo do cilindro com uma régua, de forma a garantir que o volume de areia não ultrapasse 25000 mm<sup>3</sup>.

7.3. Realização do ensaio – Despejar o volume de areia medido no cilindro na superfície limpa e seca do pavimento, com a área a ser ensaiada protegida pelo dispositivo de proteção. Cuidadosamente, espalhar a areia de forma circular com o disco plano emborrachado (presente na parte inferior do cilindro utilizado para determinação do volume de areia), preenchendo os vazios superficiais até o surgimento das pontas dos agregados, formando uma superfície plana no círculo formado pela areia espalhada. Medir e anotar o diâmetro da área circular coberta pela areia, com um mínimo de quatro medições espaçadas igualmente em torno da amostra. Calcular o diâmetro médio através das quatro medições.

7.4. Número de medições – o mesmo operador deve realizar, em áreas selecionadas aleatoriamente no mesmo segmento, no mínimo quatro medições da profundidade média da macrotextura do pavimento. A média aritmética das medições individuais da profundidade da macrotextura deve ser considerada como a profundidade da macrotextura do segmento avaliado.

---

## 8. CÁLCULOS

8.1. Volume do cilindro – Calcular o volume interno do cilindro como a seguir:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}$$

Onde:

V = Volume interno do cilindro, mm<sup>3</sup>;

d = Diâmetro interno do cilindro, mm; e

h = Altura do cilindro, mm.

Média da profundidade da macrotextura do pavimento – Calcular a média da profundidade da macrotextura do pavimento como a seguir:

$$H = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Onde:

H = Espessura média da macrotextura do pavimento, mm;

V = Volume da areia, mm<sup>3</sup>; e

D = Diâmetro médio da área recoberta pela areia, mm.

---

## 9. RELATÓRIO

- 9.1. O relatório para cada superfície do pavimento ensaiada deve conter os dados a seguir:
- 9.2. Localização e identificação da superfície do pavimento ensaiada;
- 9.3. Data;
- 9.4. Volume do material utilizado para cada ensaio, mm<sup>3</sup>;
- 9.5. Número de ensaios realizados;
- 9.6. Diâmetro médio da área recoberta pela areia, mm;
- 9.7. Profundidade média da textura do pavimento, para cada ensaio, mm;
- 9.8. Profundidade média da textura do pavimento, para todos os ensaios realizados, mm.

## **ET-001 - PROJETO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE (MAQ)**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém o procedimento para determinar o teor ótimo de ligante asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente (MAQ). Define os passos necessários à obtenção do resultado.

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. Esta norma decorreu da necessidade de se atualizar o método de Dosagem de Misturas Asfálticas para aplicação em projetos de Misturas Asfálticas a Quente com utilização de ligantes asfálticos convencionais ou modificados por polímero para a ARTERIS, adequando-o aos mais recentes avanços técnicos na área de pavimentação, principalmente os do programa SHRP (Strategic Highway Research Program), que deu origem à uma nova metodologia de projeto de misturas denominado SUPERPAVE nos EUA. Em 2004 a AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) adotou oficialmente os procedimentos do programa SUPERPAVE com algumas modificações (publicações R30 – R 35 e M 323). Estas publicações estão traduzidas para o português e fazem parte do acervo técnico da ARTERIS.

2.2. Este método fixa o modo pelo qual se determina, entre outros parâmetros, a percentagem ótima de ligante asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente.

2.3. Para dosagens de misturas asfálticas com utilização de ligante asfáltico modificado por borracha, deve ser considerado o emprego de compactador giratório.

### **3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

3.1. Para elaboração desta norma foram consultados os seguintes documentos, que também devem ser consultados para a elaboração do Projeto de Misturas Asfálticas:

- ARTERIS ES-027 - Especificação Particular para Execução de Concreto Asfáltico - CA.
- DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço.
- DNIT-ES 386 - Especificação de serviço - Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero - Camada Porosa de Atrito.
- ARTERIS ET-35 Projeto Volumétrico Superpave para Mistura Asfáltica a Quente (AASHTO R 35).

- ARTERIS ET-323 Projeto Volumétrico Superpave de Mistura (AASHTO M 323).
- ARTERIS ET-30 Condicionamento de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) AASHTO R 30.
- ANP-R19/2005 - Cimentos Asfálticos de Petróleo Classificação por Penetração.
- ABNT-NBR 6576 - Materiais Asfálticos - Determinação de Penetração.
- ABNT-NBR 14950 - Materiais Asfálticos - Determinação da Viscosidade “Saybolt-Furol”.
- ABNT-NBR 6560 - Materiais Asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento.
- ARTERIS ET-003 - Especificação Técnica para Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas e Agregados em Caminhões e Pilhas de Estocagem.
- DNIT - PRO 0199 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaios de laboratório.
- ABNT-NBR 6465 - Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles.
- ARTERIS T-001 - Cal Hidratada – Percentagem de óxido de cálcio (CaO).
- ABNT-NBR 6465 - Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles.
- ARTERIS T-27 Agregados – Análise Granulométrica de Agregados Finos e Graúdos - AASHTO T-27.
- ARTERIS T-11 - Agregados – Análise Granulométrica de Agregado passante na peneira de 0,075mm (nº200), por lavagem - AASHTO T-11.
- ARTERIS T-84 - Massa específica e absorção de agregado fino - AASHTO T-84.
- ARTERIS T-85 - Massa específica e absorção de agregado graúdo - AASHTO T-85.
- ABNT-NBR 12052 - Agregados – Equivalente de Areia.
- ABNT-NBR-7809 - Agregados – Determinação do índice de forma.
- ARTERIS T-304 - Porcentagem de vazios de agregados finos não compactados - AASHTO T-304.
- ARTERIS T-104 - Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio e Magnésio - AASHTO T-104.
- ARTERIS T 003 - Resistência a Tração por Compressão Diametral de Misturas Asfálticas Compactadas
- ARTERIS T-209 - Determinação da Massa Específica Máxima de Misturas Asfálticas - AASHTO T-209
- ARTERIS T-164 - Determinação da Percentagem de Ligante Asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente - AASHTO T-164

- ARTERIS T-30 - Granulometria com amostras utilizadas no ensaio Determinação da porcentagem de ligante - AASHTO T-30
- ARTERIS T-269 - Porcentagem de vazios de misturas densas e abertas compactadas - AASHTO T-269
- ARTERIS T-166 - Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas, usando amostras saturadas – superfície seca - AASHTO T 166
- ARTERIS T-275 - Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas, usando amostras impermeabilizadas com parafina - AASHTO T 275
- ARTERIS T-283 - Resistência de Misturas Asfálticas a Danos por Umidade Induzida -AASHTO T-283
- DNIT-ME 383 - Desgaste por Abrasão de Misturas Asfálticas com Asfalto Polímero - ensaio Cântabro

3.2. Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, quando da consulta desta norma.

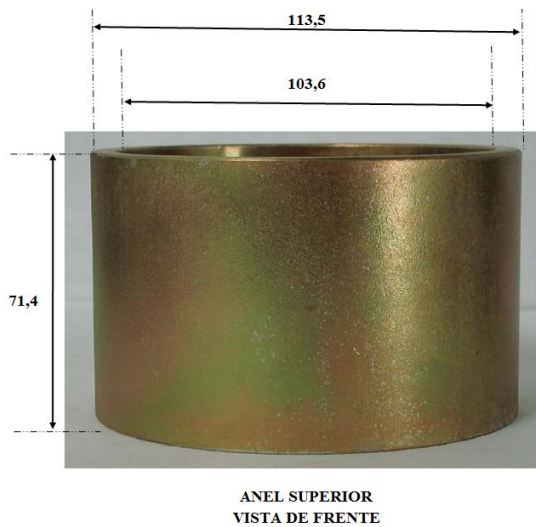
---

#### **4. APARELHAGEM:**

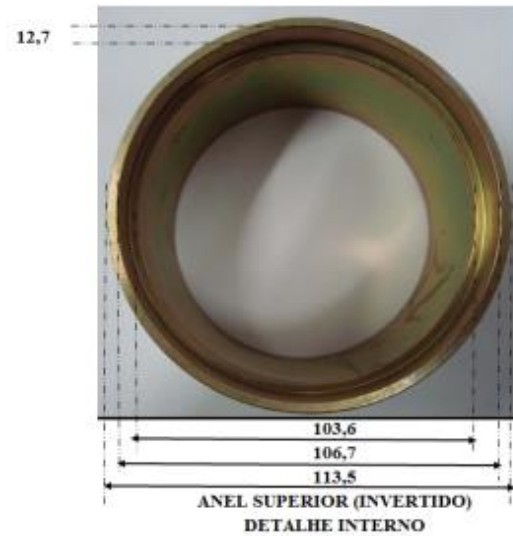
4.1. Molde de compactação de aço, consistindo de anéis superior e inferior e uma placa base. A placa base e o anel superior devem se encaixar perfeitamente nas extremidades do anel inferior (Figura 1);



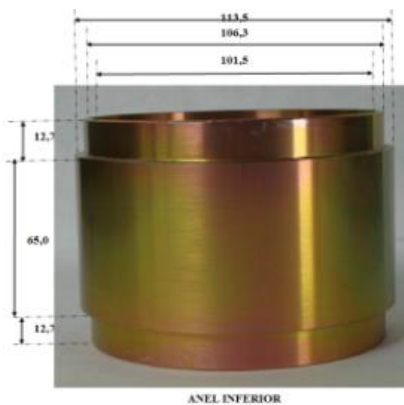
**Figura 1**



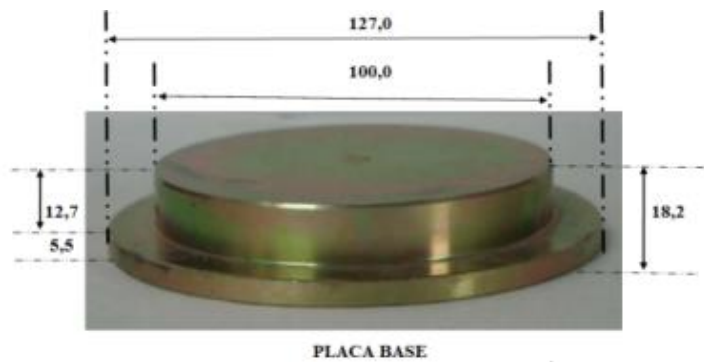
**Figura 1a**



**Figura 1b**



**Figura 1c**



**Figura 1d**

- 4.2. Repartidores de amostras de 1,3 cm e de 2,5 cm de abertura;
- 4.3. Placa elétrica ou estufa capaz de manter temperaturas até 200C, com variação de 2C;
- 4.4. Balança com capacidade de 5 kg, com resolução de 1 g, capaz de permitir pesagem hidrostática;
- 4.5. Bandeja metálica de cerca de 50 cm x 30 cm x 5 cm;
- 4.6. Extrator de corpo-de-prova;
- 4.7. Peneiras de 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2,4 ou 2,0 mm de abertura inclusive, tampa e fundo;
- 4.8. Colher de metal, com capacidade de 30 a 50 ml, possuindo cabo com cerca de 25 cm, semelhante à usada por jardineiros;

4.9. Aparelhagem para mistura preferencialmente mecânica do tipo bateadeira orbital, que produza uma ação homogênea, na temperatura e tempo requeridos, e que a retirada da mistura seja simples, sem perda de material. São normalmente equipadas com recipientes em aço estampado, em forma de calota esférica, fundo chato e munido de duas alças laterais, com capacidade de cerca de 5 litros (Figura 2);



**Figura 2**

4.10. Recipiente em aço estampado, cilíndrico, munido de asa lateral de material isolante térmico e bico vertedor. Capacidade de meio litro;

4.11. Termômetro de vidro com proteção ou termômetro de haste metálica de leitura digital graduado em 1°C, de 10 a 200°C, para medir temperaturas de agregado, asfalto e mistura asfáltica;

4.12. Espátula de aço, com ponta arredondada, com lâmina de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura;

4.13. Suporte de compactação de madeira dura, de 200x200x450 mm capeada por uma placa de aço de 300x300x25 mm, deve ser instalada em nível perfeitamente estável, livre de vibração ou trepidação (Figura 3);





**Figura 3**

4.14. Compactador com Soquete de Compactação, de aço, Mecânico, com peso de 4.540 g e uma altura de queda livre de 457,2 mm. A face de compactação no pé do soquete é plana e circular (Figura 4).



Figura 4

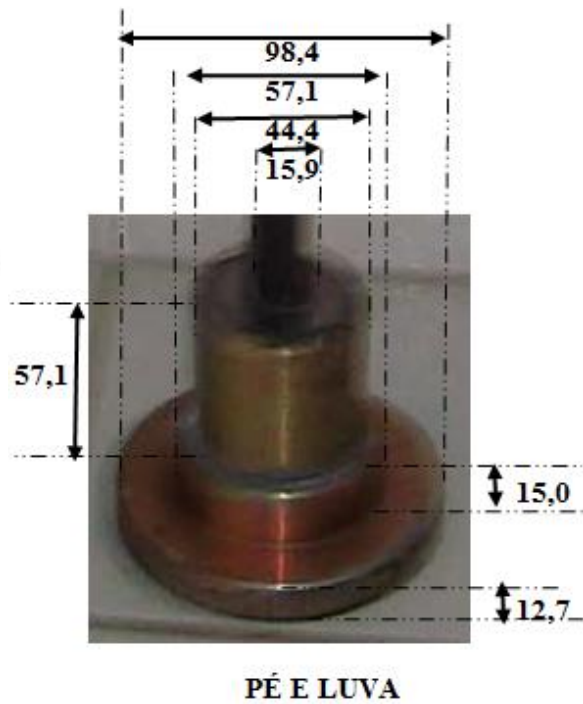


Figura 4a

Figura 4b

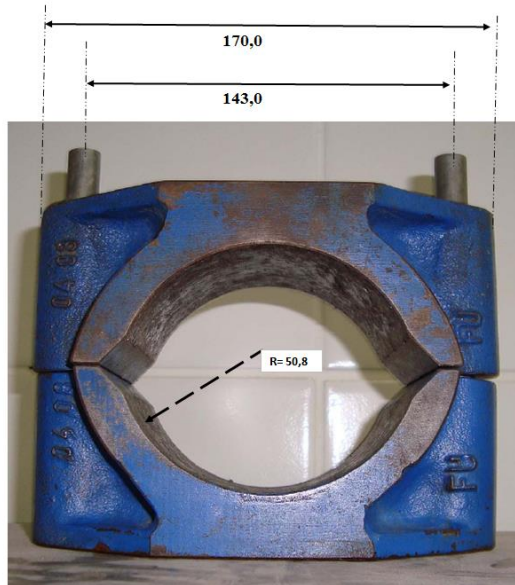


**Figura 4c**

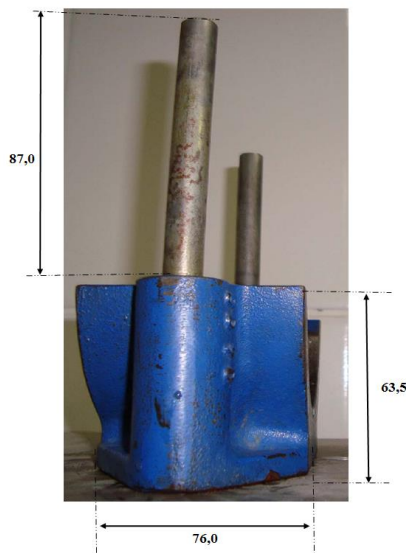


**Figura 4d**

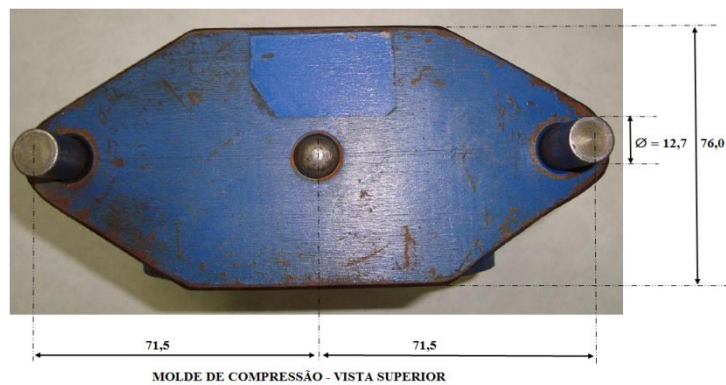
- 4.15. Paquímetro com precisão de 0,1 mm;
- 4.16. Luva com isolamento térmico;
- 4.17. Relógio de alarme para intervalos de tempo até 60 minutos, com resolução de 1 minuto;
- 4.18. Filme de PVC, parafina, pincel e papel filtro de diâmetro de 101,6 mm;
- 4.19. Banho d'água, com capacidade para 8 (oito) corpos-de-prova, provido de uma prateleira plana e perfurada, 50 mm acima do fundo, para permitir a circulação de água por baixo dos corpos-de-prova. O nível d'água deve ficar, no mínimo, 3 cm acima dos corpos-de-prova; o aquecimento deve ser, preferivelmente, elétrico, com controle automático de temperatura, para  $60^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,
- 4.20. Molde de compressão, de aço (Figura 5);



**Figura 5 - Molde de Compressão**



**Figura 5a**



**Figura 5b**

4.21. Medidor de Fluência dotado de Relógio Comparador, com graduações em mm (Figura 6);



MEDIDOR DE FLUÊNCIA

Figura 6



VISTA LATERAL

Figura 6a

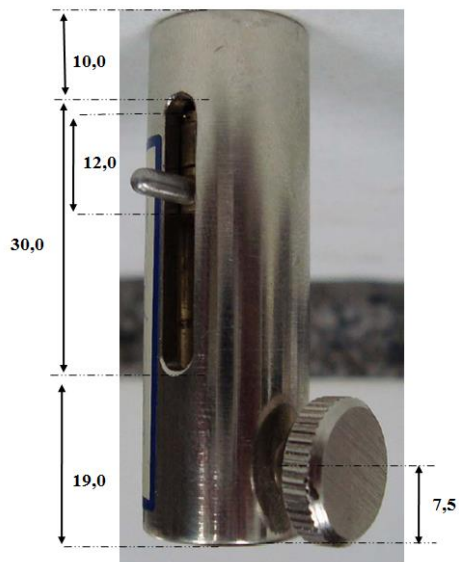


Figura 6b

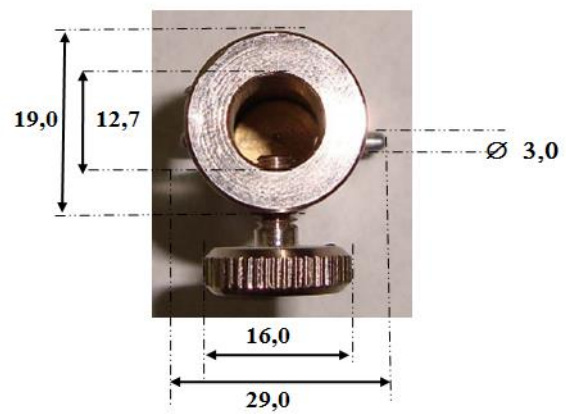


Figura 6c

4.22. Prensa capaz de aplicar cargas até 39,2 kN (4.000 kgf), com erro inferior a 24,5 N (2,5 kgf), mecânica ou manual, com êmbolo movimentando a uma velocidade de 5 cm por minuto, equipada com célula de carga ou anel dinamométrico equipado com um defletômetro, com graduação de 0,001 mm, para medir encurtamentos e avaliação de carga, com capacidade de 22,2 kN (2.265 kgf), com as sensibilidades de 44,5 N (4,5 kgf), até 4,45 kN (454 kgf) e de 111,2 N (11,34 kgf), entre 4,45 kN (454 kgf) e 22,2 kN (2.265 kgf) (figura 7).



**Figura 7**

**Nota 1** – Todas as medidas em mm.

---

## **5. AMOSTRAS**

- 5.1. A amostra representativa de asfalto deve ser coletada no tanque de depósito da usina.
- 5.2. As amostras representativas dos agregados devem ser coletadas nos estoques de agregados da usina (pilhas) de acordo com o procedimento ARTERIS ET-003 - Especificação Técnica para Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas e Agregados em Caminhões e Pilhas de Estocagem.
- 5.3. A amostra representativa de cal hidratada CH "I" ou cimento Portland deve ser coletada no depósito da usina ou no silo, no caso de entrega a granel.

---

## 6. PROCEDIMENTOS

- 6.1. Executar todos os ensaios previstos do cimento asfáltico conforme a especificação a que se destina o Projeto de Mistura Asfáltica.
- 6.2. Elaborar o gráfico “temperatura x viscosidade” do cimento asfáltico para definir as temperaturas ideais de mistura e compactação. A faixa de temperatura para mistura é definida como a faixa de temperatura onde o ligante não envelhecido tem uma Viscosidade Saybolt Furol de  $85 \pm 10$  segundos (aproximadamente  $0,17 + 0,02 \text{ Pa.s}$ ). A faixa de temperatura para compactação é definida como a faixa de temperatura onde o ligante não envelhecido tem uma Viscosidade Saybolt Furol de  $140 \pm 15$  segundos (aproximadamente  $0,28 + 0,03 \text{ Pa.s}$ ).
- 6.3. Reduzir as amostras de agregados nas quantidades necessárias para cada ensaio de acordo com o procedimento DNIT-PRO 199 ou equivalente AASHTO ou ASTM.
- 6.4. Executar todos os ensaios previstos dos agregados conforme a especificação a que se destina o Projeto de Mistura Asfáltica.
- 6.5. Executar as análises granulométricas dos agregados por via úmida (granulometria lavada), de acordo com o método de ensaio T-27.
- 6.6. Executar os ensaios de Massas específicas e absorção dos agregados miúdos - T-84 e Massas específicas e absorção dos agregados graúdos - T-85.
- 6.7. Fazer a composição da mistura de agregados por método analítico ou por tentativas, a fim de enquadrar na faixa especificada, conforme a especificação a que se destina o Projeto de Mistura Asfáltica e buscar o mais próximo possível o centro da faixa.

**NOTA 2** As faixas granulométricas para misturas densas das especificações da ARTERIS já contemplam o disposto na ET 323, Projeto Volumétrico Superpave de Mistura e são classificadas como de Graduação Grossa.

- 6.8. Definidas as proporções de cada agregado, calcular a quantidade em kg de cada agregado para 60kg de amostra total.
- 6.9. Fracionar a quantidade assim obtida de cada agregado nas peneiras:
  - 1" (25,4mm) a 3/4" (19,1mm)
  - 3/4" (19,1mm) a 1/2" (12,7mm)
  - 1/2" (12,7mm) a 3/8" (9,52mm)
  - 3/8" (9,52mm) a Nº 4 (4,76mm)

- Nº 4 (4,76mm) a Nº 10 (2,0mm) ou Nº 8 (2,38mm).

6.10. Juntar as frações retidas em cada peneira, (de todos os agregados) em bandejas separadas.

6.11. Juntar também o passante na peneira Nº 8 ou Nº 10 (de todos os agregados) numa bandeja.

6.12. Preparar as amostras individuais para 15 corpos de prova no mínimo, da seguinte maneira:

6.13. De acordo com a granulometria obtida na composição, pesar a quantidade em g, (para obtenção de 1 corpo de prova com altura de  $6,35 \pm 0,13\text{mm}$ ), de cada fração retida, de acordo com a porcentagem retida em cada uma delas, inclusive o passante na peneira Nº 8 ou Nº 10 e a cal CH "I" ou cimento Portland. Juntar num recipiente, todas as frações assim pesadas para 1 corpo de prova. Ao final serão 15 recipientes, no mínimo, com amostras.

**NOTA 2** Para uma aproximação inicial poderá ser utilizada uma das equações desenvolvidas através de vários projetos realizados:

- $P = 270,054D + 421$  para Concreto Asfáltico Usinado a Quente.
- $P = 193,625D + 622$  para Microrrevestimento Asfáltico Usinado a Quente.
- $P = 318,14D + 184$  para Pré Misturado a Quente.

Onde:

$P$  = Peso da amostra (agregados) para 1 corpo de prova com altura  $6,35 \pm 0,13\text{mm}$ .

$D$  = Densidade Real Seca da mistura de agregados (T-84 e T-85).

6.14. Preparar também no mínimo 3 amostras nas quantidades indicadas na tabela, para Densidade Máxima Teórica da Mistura (vazios=0%) T-209.

Diâmetro Máximo do Agregado Combinado mm (pol.)	Quantidade Mínima de amostra (g)
19,0 (3/4")	2.000
16,0 (5/8")	1800
12,5 (1/2")	1.500
9,5 (3/8")	1.000
4,75 (No. 4)	500

6.15. Aquecer em estufa o asfalto, na temperatura indicada para mistura no gráfico "temperatura x viscosidade".



6.16. Calcular o peso de asfalto para 5 teores diferentes de asfalto, variando de 0,5% em 0,5%, de maneira que o terceiro teor seja o ótimo estimado, e os demais, dois abaixo e dois acima deste, para cada amostra individual (no mínimo 3 amostras por teor). Para Densidade Máxima Teórica da Mistura (vazios=0) T-209 serão os 3 pontos mais próximos do teor ótimo estimado.

$$Paf = P \times \frac{Pa}{100 - \%a}$$

Onde:

Paf = Peso do asfalto

P = Peso de agregado para 1 corpo de prova.

Pa = Porcentagem de asfalto

6.17. Colocar os recipientes na placa quente ou na estufa e aquecer à temperatura aproximadamente 10°C a 15°C acima da temperatura de aquecimento do ligante, não devendo ultrapassar 180°C.

6.18. Misturar os agregados de cada recipiente individualmente e em cada um deles abrir uma cratera para receber o ligante que deve ser aí pesado. Neste momento a temperatura dos agregados e do ligante asfáltico deve estar dentro dos limites estabelecidos.

6.19. Efetuar a mistura rapidamente, de 2 a 3 minutos, até cobertura completa dos agregados, inclusive as de Densidade Máxima Teórica da Mistura (vazios=0%) T-209, preferencialmente em misturador mecânico do tipo bateadeira orbital (Figura 2). Após a mistura, colocar cada amostra em uma bandeja, e deixar as amostras individuais em estufa na temperatura indicada para compactação por 2 horas, para permitir a absorção de ligante durante a execução do projeto de dosagem, de acordo com a ET-30, Condicionamento de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ).

6.20. Após este período de condicionamento em estufa por 2 horas, determinar as Densidades Máximas Teórica da Mistura (vazios=0%) de acordo com o método T-209.

6.21. Após este período de condicionamento em estufa por 2 horas, proceder também à compactação de cada amostra individual da seguinte forma:

6.22. Limpar o molde de compactação (Figura 1) e a base do soquete (Figura 4d) e aquecer em estufa ou placa a 150°C.

6.23. Introduzir no molde uma folha de papel-filtro cortada conforme a seção do molde. Colocar a mistura no molde de uma só vez. Acomodar a mistura quente com 15 golpes vigorosos de espátula no ao redor do molde e 10 no centro da massa. Remover o anel superior (Figura 1a) e alisar a mistura com uma colher ligeiramente aquecida. A temperatura da mistura imediatamente antes da compactação deve estar nos limites fixados.

6.24. Recolocar o anel superior e colocar o molde com a amostra em posição no suporte de compactação (bloco de madeira com chapa de ferro – (Figura 3), e aplicar com o soquete (Figura 4), determinado número de golpes sobre a mistura, com altura de queda livre de 45,72 cm. Remover o anel superior, inverter o anel inferior (Figura 1c) com a amostra, recolocar o anel superior e aplicar o mesmo número de golpes na outra face do corpo-de-prova.

6.25. O molde com o corpo-de-prova compactado deve ser retirado do anel inferior e cuidadosamente colocado numa superfície lisa e plana e deixado em repouso durante no mínimo 12 horas, à temperatura ambiente, só então retirar os corpos de prova dos moldes, utilizando o extrator de amostras. Deverão ser tomados cuidados no manuseio do corpo-de-prova para evitar fratura ou deformação. A altura do corpo-de-prova deverá ser de  $6,35 \pm 0,13$  cm, medida com o paquímetro em quatro posições diametralmente opostas. Adota-se como altura o valor da média aritmética das quatro leituras. O resfriamento do corpo-de-prova por circulação forçada de ar (ventilador), pode ser utilizado quando houver necessidade de resultados imediatos.

6.26. O número de golpes a ser aplicado em cada face do corpo de prova, será definido na especificação a que se destina o projeto da mistura. (Nota 3).

**NOTA 3** – A compactação deve ser executada com 1 golpe por segundo, com queda livre do martelo em posição vertical (velocidades maiores levam a arremessar o martelo contra o limitador de altura do soquete, causando uma aceleração inicial na queda). A figura 3 mostra um suporte para este fim.

6.27. Determinar a densidade aparente dos corpos de prova, de acordo com o método de ensaio T-166 - Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas, usando amostras saturada-superfície seca, ou T-275 - Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas, usando amostras impermeabilizadas com parafina ou filme de PVC, conforme o caso.

6.28. Determinação da Estabilidade e da Fluência

- 6.28.1. Os corpos-de-prova serão imersos em água (banho-maria) a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por um período de 30 a 40 minutos. Como alternativa, podem ser colocados em estufa nas mesmas temperaturas pelo período de 2 horas.
- 6.28.2. Em seguida, serão colocados nos moldes de compressão (Figura 5), que deverão estar nas
- 6.28.3. Temperaturas de 21 a  $38^{\circ}\text{C}$  convenientemente limpo, e com os pinos-guia lubrificados.
- 6.28.4. O molde de compressão, contendo corpo-de-prova, será posicionado na prensa (Figura 7) segundo a geratriz, e o medidor de fluência (Figura 6) será colocado e ajustado na posição de ensaio.
- 6.28.5. A prensa será operada de tal modo que seu êmbolo se elevará com uma velocidade de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo-de-prova, o que será observado no deflectômetro pela indicação de um máximo. A leitura deste máximo será anotada e convertida em N (kgf), pelo gráfico de calibração do anel dinamométrico.

**Nota 4** - O espaço de tempo entre retirar o corpo-de-prova do banho e o seu rompimento não deverá exceder de 30 segundos.

- 6.28.6. A carga, em N (kgf), necessária para produzir o rompimento do corpo-de-prova à temperatura especificada será anotada como “estabilidade lida”. Este valor deverá ser corrigido para a espessura do corpo-de-prova ensaiado, através da fórmula:

$$EM = 0,070922x^2 - 1,172400x + 5,584061$$

onde:

EM = Estabilidade Marshall corrigida;

x = é a espessura do corpo de prova

Ou utilizando a tabela abaixo:

Espessura [cm]	Fator	Espessura [cm]	Fator	Espessura [cm]	Fator
5,08	1,46	5,63	1,22	6,43	0,98
5,10	1,45	5,66	1,21	6,47	0,97
5,12	1,44	5,68	1,20	6,51	0,96
5,16	1,43	5,71	1,19	6,56	0,95
5,18	1,42	5,74	1,18	6,61	0,94
5,20	1,41	5,77	1,17	6,67	0,93
5,22	1,40	5,81	1,16	6,71	0,92
5,24	1,39	5,84	1,15	6,75	0,91
5,26	1,38	5,87	1,14	6,79	0,90
5,29	1,37	5,90	1,13	6,83	0,89
5,31	1,36	5,93	1,12	6,88	0,88
5,33	1,35	5,97	1,11	6,93	0,87
5,35	1,34	6,00	1,10	6,98	0,86
5,38	1,33	6,03	1,09	7,03	0,85
5,40	1,32	6,06	1,08	7,08	0,84
5,42	1,31	6,09	1,07	7,14	0,83
5,45	1,30	6,11	1,06	7,22	0,82
5,47	1,29	6,14	1,05	7,30	0,81
5,49	1,28	6,19	1,04	7,35	0,80
5,51	1,27	6,23	1,03	7,40	0,79
5,54	1,26	6,27	1,02	7,46	0,78
5,56	1,25	6,31	1,01	7,54	0,77
5,58	1,24	6,35	1,00	7,62	0,76
5,61	1,23	6,39	0,99	-	-

O resultado assim obtido é o valor da Estabilidade Marshall.

6.28.7. O valor da Fluência Marshall será obtido, simultaneamente ao da estabilidade.

Durante a aplicação da carga, a luva-guia do medidor de fluência (Figura 6) será firmada, com a mão, contra o topo do segmento superior do molde de compressão, diretamente sobre um dos pinos-guia. A pressão da mão sobre a luva do medidor de fluência deverá ser relaxada, no momento em que se der o rompimento do corpo-de-prova, ocasião em que será lido e anotado o valor da fluência (Figura 8).



**Figura 8**

## 7. CÁLCULOS e RESULTADOS

7.1. Fórmulas usadas para cálculo da Densidade Máxima Teórica da Mistura, da Densidade Efetiva dos Agregados e Absorção de asfalto:

$$Mba = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{Mb1} + \frac{P2}{Mb2} + \dots + \frac{Pn}{Mbn}}$$

$Mba$  = Massa específica aparente (SSS) do agregado combinado

$P1, P2, Pn$  = Porcentagem na mistura do agregado 1,2,n

$Mb1, Mb2, Mbn$  = Massa específica aparente (SSS) do agregado 1,2,n

$$Mes = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{Ms1} + \frac{P2}{Ms2} + \dots + \frac{Pn}{Msn}}$$

$Mes$  = Massa específica real seca do agregado combinado

$P1, P2, Pn$  = Porcentagem na mistura do agregado 1,2,n

$Ms1, Ms2, Msn$  = Massa específica real seca do agregado 1,2,n

$$DRe = \frac{Pt - Pa}{\frac{Pt}{Met} - \frac{Pa}{Masf}}$$

$Dre$  = Densidade Real efetiva do agregado combinado.

$Pt$  = Porcentagem total da mistura (100%)

$Pa$  = Porcentagem de asfalto

$Met$  = Massa específica teórica da mistura (vazios=0%) Obtida no ensaio executado -T-209

$Masf$  = Massa específica do asfalto

$$Met \neq Pa = \frac{100}{\frac{PA}{DRem} + \frac{Pa}{Masf}}$$

$Met \neq Pa$  = Massa específica teórica para diferentes % de asfalto

$PA$  = Porcentagem de agregado combinado na mistura total = (100- $Pa$ )

$DRem$  = Média aritmética das 3 ( $DRe$ ) calculadas com resultados dos 3 ensaios T-209 realizados. (Se necessário eliminar a que se afastar mais da média)

$$abs = 100 \left( \frac{DRem - Mba}{Mba \times DRem} \right) Ma$$

$abs$  = Absorção de asfalto pelo agregado

$$asfefet = Pa - \left( \frac{abs}{100} \right) PA$$

$asfefet$  = Asfalto efetivo

7.2. Cálculo da massa específica aparente do Corpo de Prova Compactado – CP (T-166):

$$Ma = \frac{Mas}{Masss - Mi}$$

$Ma$  = Massa específica aparente do CP

$Mas$  = Massa ao ar seca do CP

$Masss$  = Massa ao ar saturado superfície seca do CP (CP imerso por  $4 \pm 1$  minuto)

$Mi$  = Massa imersa do CP

7.3. Cálculo da massa específica aparente do CP com filme ou parafinado (T-275):

$$Ma = \frac{Mas}{Maf - Mif - \frac{Maf - Mas}{Mf}}$$

$Ma$  = Massa específica aparente do CP

$Mas$  = Massa ao ar seca do CP

$Maf$  = Massa ao ar + filme ou parafina do CP

$Mif$  = Massa imersa + filme ou parafina do CP

$Mf$  = Massa específica do filme ou parafina

7.4. Calcular os parâmetros, Porcentagem de Vazios (VV), Vazios do Agregado Mineral (VAM) e Vazios Cheios de Asfalto (VCA) de acordo com o procedimento descrito na ET-35, Projeto Volumétrico Superpave para Mistura Asfáltica a Quente. (NOTA 6).

7.5. Cálculo dos parâmetros VV; VAM; VCA dos corpos de prova

$$VV\% = 100 \frac{Met - Ma}{Met}$$

$VV\%$  = Porcentagem de vazios no CP

$Met$  = Massa específica teórica máxima da mistura

$Ma$  = Massa específica aparente do CP

$$VAM = 100 - \frac{MaxPA}{Mba}$$

$VAM$  = vazios do agregado mineral (total de vazios)

$Ma$  = Massa específica aparente do CP

$PA$  = Porcentagem de agregado combinado na mistura total

$Mba$  = Massa específica aparente (SSS) do agregado combinado

$$VCA = 100 \frac{VAM - VV\%}{VAM}$$

VCA = Vazios Cheios de Asfalto

**NOTA 5** - A fórmula de cálculo do VAM contempla a relação volumétrica da MAQ. Com isto, para tráfego pesado, adotar o VCA entre 65 e 75% para misturas densas.

7.6. Plotar os resultados em gráficos do tipo: teor de asfalto x valores calculados conforme exemplo.

% DE CAP	Massa Específica Aparente da MAQ Compactada	Massa Específica Máxima da MAQ (%VV=0)	Porcentagem de Vazios na MAQ (%VV)	Vazios do Agreg. Mineral na MAQ (%VAM)	Vazios Cheios de Asfalto na MAQ (%VCA)	Resistência a Tração Indireta a 25°C (MPa)	Deformação do CP de MAQ a 25°C (mm)
3,5%	2,349	2,527	7,0%	14,2%	50,4%	1,47	1,20
4,0%	2,381	2,508	5,1%	13,5%	62,4%	1,78	1,73
4,5%	2,406	2,489	3,3%	13,0%	74,4%	1,79	1,93
5,0%	2,418	2,470	2,1%	13,1%	83,8%	1,81	2,47
5,5%	2,414	2,451	1,5%	13,7%	88,9%	1,63	2,97

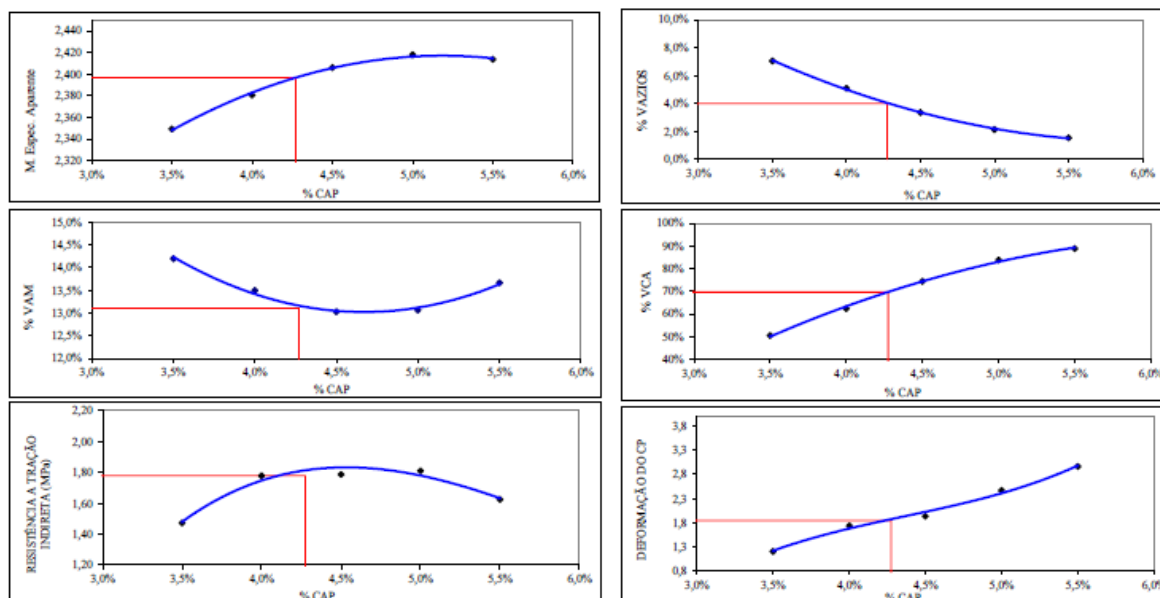
ESPECIFICAÇÃO: Particular para Execução de Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CA - Designação ARTERIS ES 027- Rev. 011 (Junho/2016)

<b>Mínimo</b>	-	-	3,0%	13,0%	65,0%	1,0	-
<b>Máximo</b>	-	-	5,0%	15,0%	75,0%	-	-

Definição do teor ótimo de cap em função da porcentagem de vazios

**4,3%**      **2,397**      **2,497**      **4,0%**      **13,1%**      **69,5%**      **1,8**      **1,8**

O teor ótimo de CAP refere-se à mistura total como 100% (AGREGADOS + CAP = 100%).



7.7. Para Concreto Asfáltico (CA), definir como teor ótimo aquele em que apresente porcentagem de vazios (VV%) = 4%, que atenda ao especificado na especificação ARTERIS ES-027 - Especificação



Particular para Execução de Concreto Asfáltico - CA, e também que a porcentagem de vazios de agregados minerais (VAM) esteja dentro do especificado, e no lado “seco” do gráfico, cerca de 0,5% de asfalto do seu ponto mínimo.

7.8. Para outro tipo de mistura, definir como teor ótimo àquele em que atenda ao especificado conforme a especificação a que se destina o Projeto de Mistura Asfáltica.

---

## 8. RELATÓRIO DE APRESENTAÇÃO

8.1. No relatório de apresentação deve constar:

- A energia de compactação (Nº de golpes);
- O teor ótimo de asfalto em peso adicionado e sua respectiva variação permitida;
- O teor ótimo de asfalto em volume adicionado e sua respectiva variação permitida;
- Cálculo da porcentagem de Asfalto em volume (%CAPv):

$$\%CAPv = Met \frac{Pa}{Masf}$$

- A porcentagem em peso de absorção de asfalto pelos agregados;
- O teor ótimo de asfalto em peso - efetivo;
- O gráfico granulométrico da mistura obtida e a respectiva faixa de trabalho;
- As porcentagens de cada agregado e da cal ou cimento;
- As densidades Real, aparente e efetiva de todos agregados;
- A densidade aparente dos corpos de prova para o teor ótimo definido;
- A porcentagem de vazios da mistura (VV%) para o teor ótimo definido;
- A porcentagem de vazios de agregados minerais (VAM) para o teor ótimo definido;
- A porcentagem de vazios cheios de asfalto (VCA) para o teor ótimo definido;
- Todos os parâmetros especificados conforme a especificação a que se destina o Projeto de Mistura Asfáltica para o teor ótimo definido;
- Os gráficos de teor de asfalto x cada parâmetro calculado;

---

## 9. ENSAIOS COMPLEMENTARES

9.1. Uma vez definido o teor ótimo de asfalto, executar nesse teor, ensaios complementares que traduzem a durabilidade da massa, quais sejam:

- Resistência de Misturas Asfálticas a Danos por Umidade Induzida – T-283
- Resistência a Tração por Compressão Diametral de Misturas Asfálticas Compactadas ARTERIS T 003.
- Desgaste por Abrasão de Misturas Asfálticas com Asfalto Polímero - ensaio Cântabro- DNIT- ME 383 (para misturas abertas).
- Outros ensaios especificados.

## **ET-002 - CALIBRAÇÃO DE USINAS GRAVIMÉTRICAS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém o procedimento para calibração de Usinas de Asfalto do tipo Gravimétricas de Fluxo Intermitente (Dosagem em Traços Individuais). Define os passos necessários à obtenção do resultado.

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. Esta norma decorreu da necessidade de se unificar os procedimentos de calibração de usinas de asfalto para obras do grupo ARTERIS, com a finalidade de obtenção de massas asfálticas homogêneas e de acordo com as especificações pertinentes.

### **3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

3.1. Para elaboração desta norma foram consultados os seguintes documentos, que também devem ser consultados:

- ARTERIS ES-27 - Especificação Particular para Execução de Concreto Asfáltico - CA
- DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço
- DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço
- ARTERIS ET-003 - Especificação Técnica para Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas e Agregados em Caminhões e Pilhas de Estocagem
- DNIT-PRO 0199 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaios de laboratório
- ARTERIS T-27 Agregados – Análise Granulométrica de Agregados Finos e Graúdos - AASHTO T-27
- ARTERIS T-11 - Agregados – Análise Granulométrica de Agregado passante na peneira de 0,075mm (nº200), por lavagem - AASHTO T-11

3.2. Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, quando da consulta desta norma.

#### 4. PROCEDIMENTOS PARA CALIBRAÇÃO

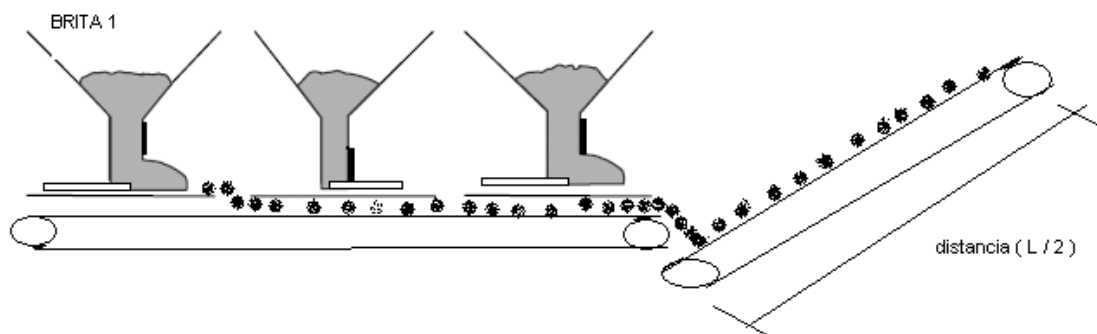
##### 4.1. Calibração dos Silos Frios da Usina

- 4.1.1. Medir o comprimento total (L) em metros (volta completa) da correia principal (que leva o agregado ao secador).
- 4.1.2. Fazer uma marca na correia ou aproveitar a emenda da correia como referência e medir o tempo (T) em segundos (s) que leva para a correia dar uma volta total. (A marca voltar ao mesmo ponto).
- 4.1.3. Fazer 3 medições e tirar a média.
- 4.1.4. Calcular a velocidade (V) em m/s da correia transportadora.
- 4.1.5. Calcular a velocidade em m/h da correia transportadora (multiplicar m/s por 3600).

#### EXEMPLO (NÃO MANDATÓRIO):

$$L = 20\text{m} \quad T = 18\text{s}$$

$$V = \frac{20}{18} = 1,1\text{m/s} \quad 1,1 \times 3600 = 3960\text{m/h}$$



- 4.1.6. Abrir a comporta do silo frio de brita 1, numa abertura (a) e deixar a brita 1 vazar para o secador da usina.

- 4.1.7. Parar a correia que leva a brita 1 para o secador carregada.
- 4.1.8. Medir na correia transportadora exatamente 1 metro de brita 1, isolar e recolher este metro de brita 1 num recipiente, tomando o cuidado de recolher tudo, inclusive com o auxílio de um pincel.
- 4.1.9. Pesar com precisão de 10g toda a brita 1 assim recolhida, anotar como (Pa).
- 4.1.10. Calcular a vazão (vza) em tonelada por hora (t/h) do silo de brita 1 na abertura (a) conforme segue:

$$vza = \frac{Pa \cdot V}{1000}$$

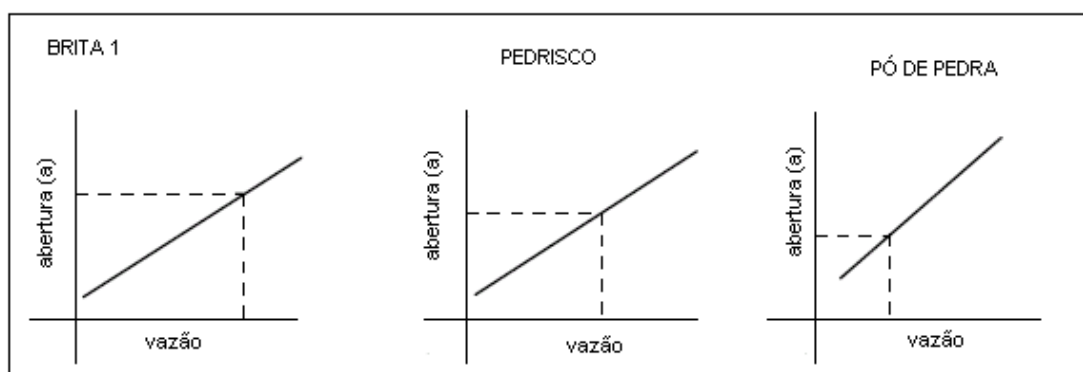
**PARA O EXEMPLO:**

Para abertura (a) = 3cm - Pa= 5,010kg

$$vza = \frac{5,010 \times 3960}{1000} = 19,8 \text{ t/h}$$

**Na abertura de 3 cm da comporta de brita 1, a vazão é de 19,8 t/h.**

- 4.1.11. Repetir este processo para aberturas (2a); (3a) e (4a).
- 4.1.12. Proceder da mesma forma para os outros silos, de Pedrisco, Pó de Pedra e outros porventura existentes.
- 4.1.13. Com os dados obtidos desta forma, construir gráficos do tipo mostrados abaixo, que servirão de base para a produção diária da usina.



Relações: abertura e vazão do agregado

#### 4.2. Calibração do Panelão de Asfalto

- 4.2.1. Colocar a alavanca do panelão em uma posição (p) e descarregar todo o asfalto em um vasilhame.
- 4.2.2. Pesar o asfalto recolhido com precisão de 10 g.
- 4.2.3. Repetir o procedimento com a alavanca nas posições (2p); (3p) e (4p).
- 4.2.4. Com os dados obtidos, construir um gráfico semelhante aos dos agregados.

Se a usina tiver balança para pesagem de asfalto, a dosagem será direta no painel de controle da usina (Nota 1).

Estes procedimentos devem ser revistos a cada 6 meses de operação da Usina, ou mudança de agregados.

---

### 5. OPERAÇÃO DIÁRIA DA USINA

#### 5.1. Regulagem dos Silos Frios da Usina

- 5.1.1. Colher amostras de cada silo frio.
- 5.1.2. Fazer a granulometria do agregado de cada silo frio pelo método de ensaio T-27.
- 5.1.3. Em função da curva granulométrica da dosagem, fazer a composição (por tentativas ou método analítico) e definir a porcentagem com que cada silo frio vai contribuir para a granulometria pretendida.
- 5.1.4. Em função das porcentagens de cada agregado na dosagem, e da velocidade de produção pretendida, abrir as comportas com as aberturas lidas nos gráficos.

**PARA O EXEMPLO:**

Velocidade de produção pretendida = 80 t/h.

Dosagem (traço seco):

Porcentagem de Brita 1 = 30%       $vazão_{B1} = \frac{80 \times 30}{100} = 24,0 \text{ t/h}$

Porcentagem de Pedrisco = 30%       $vazão_{Pd} = \frac{80 \times 30}{100} = 24,0 \text{ t/h}$

Porcentagem de Pó de Pedra = 40%       $vazão_{Pó} = \frac{80 \times 40}{100} = 32,0 \text{ t/h}$

5.1.5. No gráfico de cada silo de agregados, ler as aberturas correspondentes às vazões calculadas, e abrir as comportas com estas aberturas.

5.2. Regulagem dos Silos Quentes e Panelão da Usina

5.2.1. Estando as comportas dos silos frios com as aberturas definidas, ligar a usina e operar como se estivesse produzindo normalmente por 5 a 10 minutos.

5.2.2. Parar a usina e descarregar completamente cada silo quente (normalmente são 4 silos) na caçamba da carregadeira ou caminhão basculante.

5.2.3. Pesar cada agregado na balança rodoviária (NOTA 2).

5.2.4. Colher amostras e fazer a granulometria do agregado de cada silo quente pelo método de ensaio T- 27.

5.2.5. Em função da curva granulométrica da dosagem, fazer a composição (por tentativas ou método analítico) e definir a porcentagem com que cada silo quente vai contribuir para a granulometria pretendida.

5.2.6. Em função do peso da batelada pretendida, e das porcentagens definidas, calcular o peso de agregado de cada silo quente.

**PARA O EXEMPLO:**

Teor ótimo de asfalto = 5,1 %

Porcentagem de agregados = 100 - 5,1 = 94,9 %

Batelada Pretendida = 1100 kg

$$\text{Peso do asfalto} = \text{PesoASF} = \frac{1100 \times 5,1}{100} = 56,1 \text{ kg}$$

Colocar a alavanca do panelão na posição lida no gráfico relativa a 56 kg, ou pesar diretamente se for balança (NOTA 1).

Peso de agregados = 1100 - 56,1 = 1043,9 kg

$$\text{Porcentagem de Silo Quente 1} = 25\% \quad \text{PesoSQ1} = \frac{1043,9 \times 25}{100} = 261 \text{ .kg}$$

$$\text{Porcentagem de Silo Quente 2} = 22\% \quad \text{PesoSQ2} = \frac{1043,9 \times 22}{100} = 230 \text{ .kg}$$

$$\text{Porcentagem de Silo Quente 3} = 18\% \quad \text{PesoSQ3} = \frac{1043,9 \times 18}{100} = 188 \text{ .kg}$$

$$\text{Porcentagem de Silo Quente 4} = 35\% \quad \text{PesoSQ4} = \frac{1043,9 \times 35}{100} = 365 \text{ .kg}$$



**Nota 1** – As balanças da usina devem ser periodicamente calibradas por empresas credenciadas.

**Nota 2** – Em função dos pesos obtidos de cada agregado na balança rodoviária, calcular a porcentagem que cada silo quente tinha no momento que a usina foi parada. Estas porcentagens devem ser bem próximas das calculadas em 5.2.

## **ET-003 - COLETA DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS E AGREGADOS EM CAMINHÕES E PILHAS DE ESTOCAGEM**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém o procedimento para coleta de amostras de misturas asfálticas e agregados em caminhões e pilhas de estocagem. Indica os utensílios necessários e define os passos à obtenção da amostra.

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. Esta norma decorreu da necessidade de se padronizar e garantir a representatividade e integridade das amostras de misturas asfálticas e agregados enviados a laboratórios para análises.

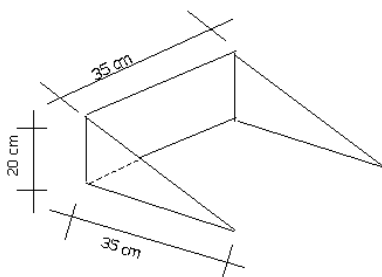
### **3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

3.1. Para elaboração desta norma foram consultados os seguintes documentos

- ARTERIS T 2-91 - Amostragem de Agregados
- ARTERIS ES-027 - Especificação Particular para Execução de Concreto Asfáltico - CA
- DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço
- DNIT-ES 386 - Especificação de serviço - Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero - Camada Porosa de Atrito

### **4. UTENSÍLIOS**

4.1. Gabarito de ferro com as características e dimensões indicadas abaixo:



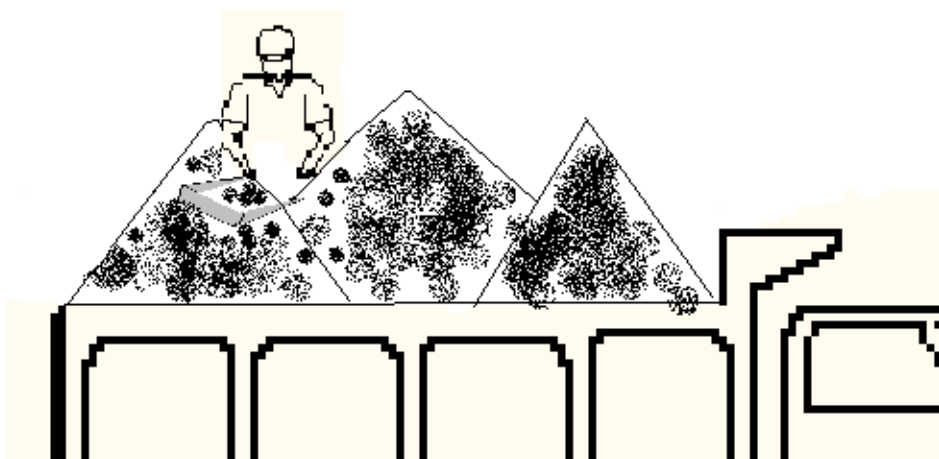
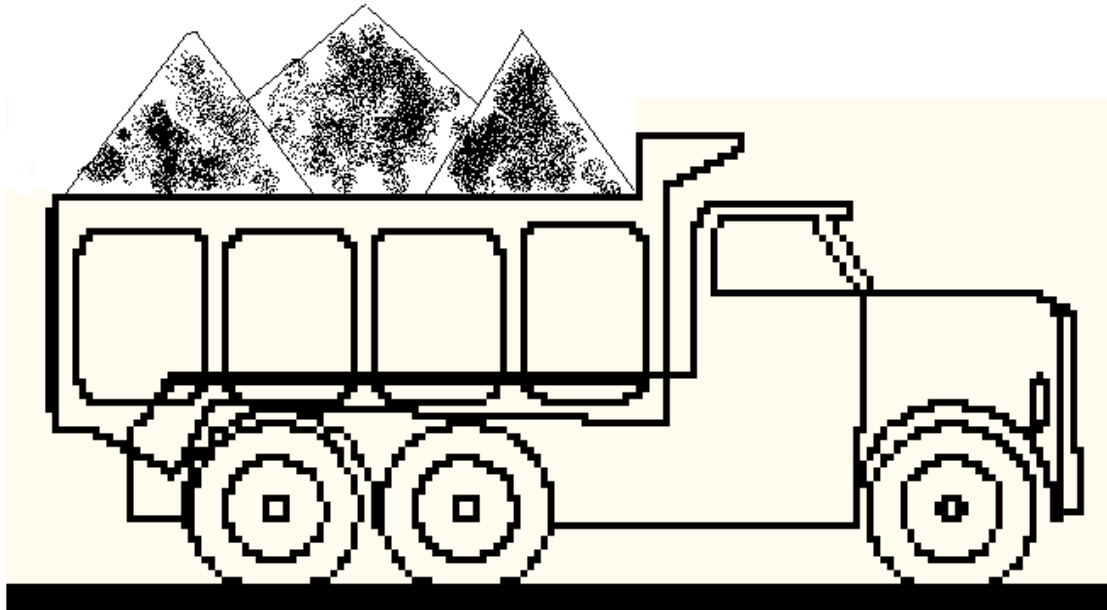
- 4.2. Pá de bico
- 4.3. Bandeja de 60 x 40 x 5 cm
- 4.4. Saco de lona ou plástico resistente de 80 x 50 cm.
- 4.5. Etiqueta de identificação de amostra (Anexo 1).

---

## 5. PROCEDIMENTO

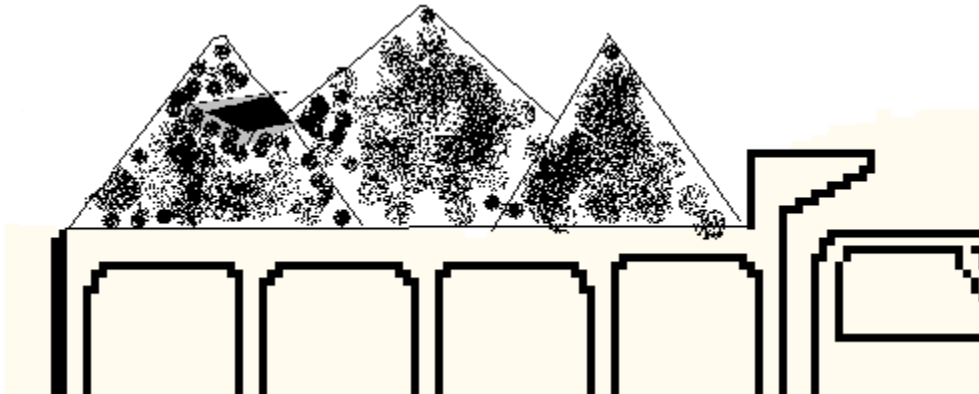
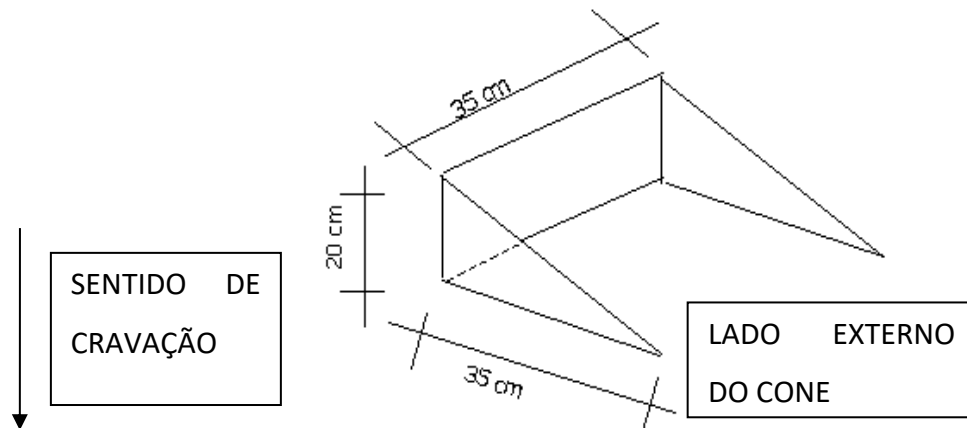
### 5.1. COLETA DE AMOSTRAS EM CAMINHÕES

5.1.1. Caminhão com a carga de MISTURA ASFÁLTICA completa.

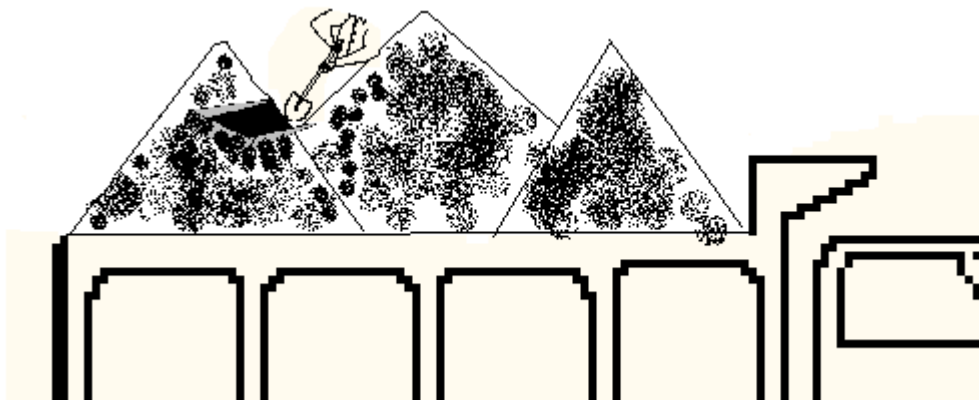


5.1.2. Cravar verticalmente o gabarito de amostragem no cone formado pela MISTURA ASFÁLTICA, limitando a área de amostragem, e impedindo a segregação por escorrimento de pedras.

5.1.3. Modo de cravação



5.1.4. Gabarito cravado no cone



5.1.5. Transferir a amostra contida no gabarito para a bandeja, com auxílio de uma pá.

5.1.6. Identificar a amostra utilizando a etiqueta de identificação (anexo 1)

5.1.7. Após resfriamento, transferir a amostra para o saco de lona ou plástico resistente.

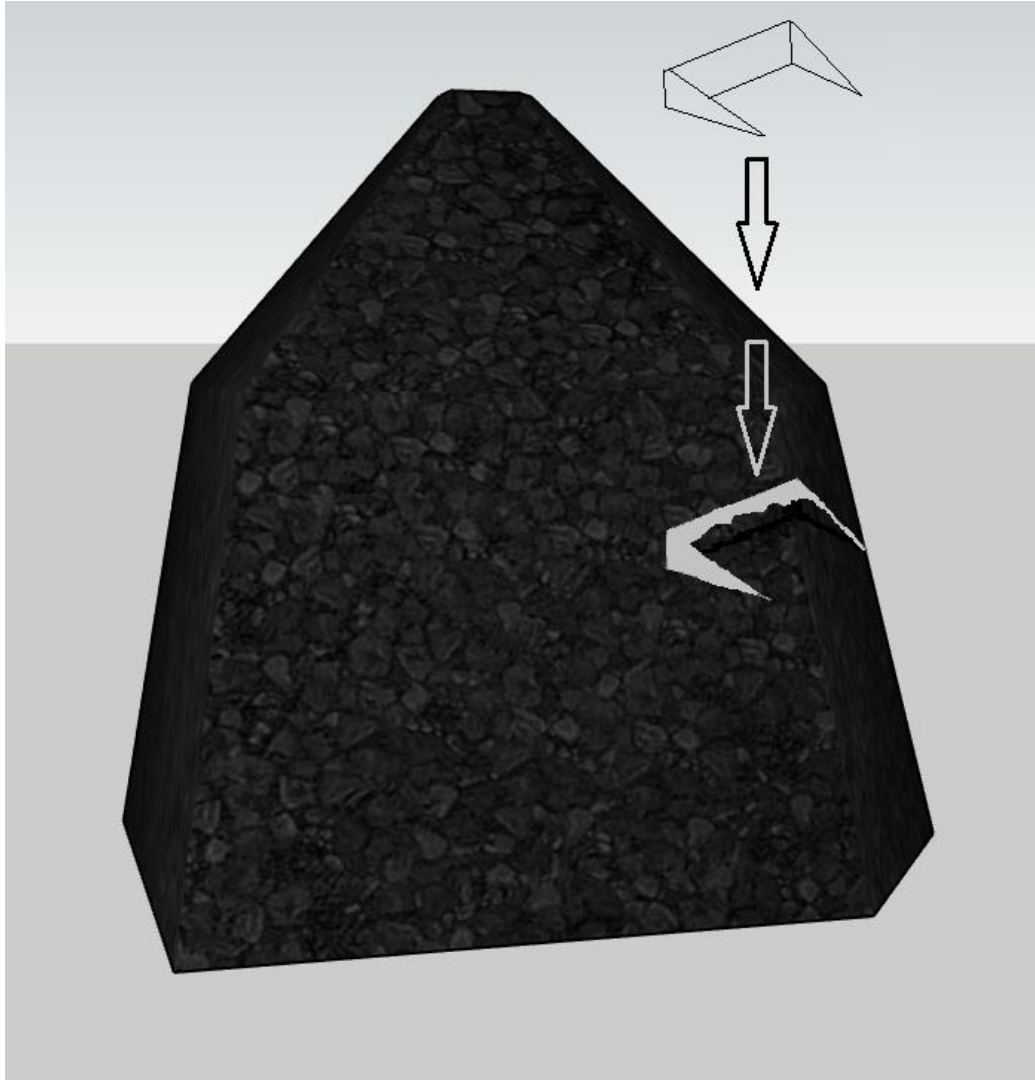
5.1.8. Enviar a amostra ao laboratório para análises.

## 5.2. COLETA DE AMOSTRAS EM PILHAS DE AGREGADOS GRAÚDOS e MIÚDOS

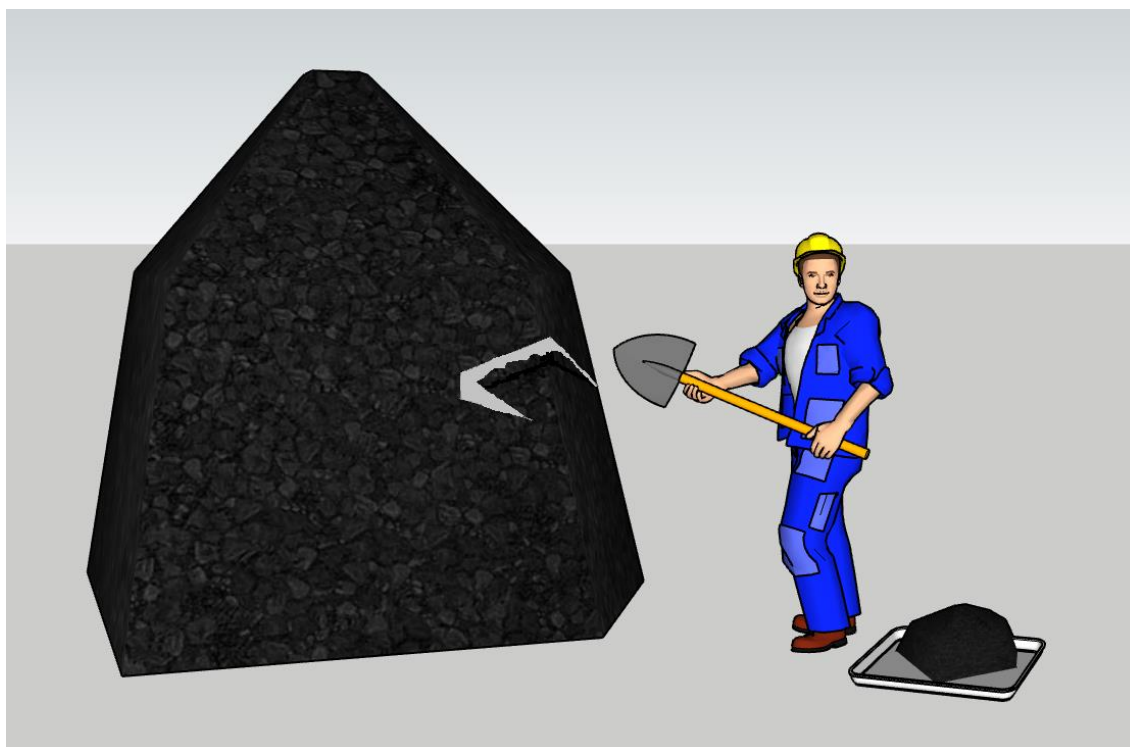


5.2.1. Cravar verticalmente o gabarito de amostragem no cone formado pelo agregado, limitando a área de amostragem, e impedindo a segregação por escorrimento de pedras.

5.2.2. GABARITO CRAVADO NO CONE:



5.2.3. Transferir a amostra contida no gabarito para a bandeja, com auxílio de uma pá:



5.2.4. Repetir esta operação em outros pontos do cone, quantas vezes forem necessárias para obter a amostra total definida na tabela 1.c

<b>TABELA 1</b>		<b>Tamanho das amostras</b>	
Tamanho nominal máximo do agregado <sup>A</sup>		Massa aproximada mínima da amostra de campo (kg) <sup>B</sup>	
<b>Agregado Fino</b>			
Nº 10 (2,0 mm)		10	
Nº 4 (4,8 mm)		10	
<b>Agregado Graúdo</b>			
3/8" (9,5 mm)		10	
1/2" (12,5 mm)		15	
5/8" (16,0 mm)		20	
3/4" (19,0 mm)		25	
1" (25,0 mm)		50	
1 1/2" (38,0 mm)		75	
2" (50,0 mm)		100	

<sup>A</sup>Para agregado processado, a dimensão nominal máxima das partículas é o maior tamanho de peneira listado na especificação aplicável, no qual o material pode ficar retido.

<sup>B</sup>Para misturas de agregados graúdos e finos (por exemplo, bases ou sub-bases) o peso mínimo será o do agregado graúdo acrescido de no mínimo 10 kg.

**Nota 1** – Para projetos de mistura, multiplicar as quantidades indicadas por 3.

5.2.5. Identificar a amostra utilizando a etiqueta de identificação (anexo 1)

5.2.6. Transferir a amostra para o saco de lona ou plástico resistente.

5.2.7. Enviar a amostra ao laboratório para análises.

RODOVIA		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA		
CONTRATADA:		
OBRA:	CONTRATO	
MATERIAL:		
LOCAL DA COLETA		
<input type="checkbox"/> PISTA	<input type="checkbox"/> USINA	<input type="checkbox"/> JAZIDA <input type="checkbox"/> CORTE / EMP.
PROCEDÊNCIA:	TEMPERATURA DA MASSA:	
UTILIZAÇÃO PREVISTA:		
TRAÇO:	FAIXA GRANULOMÉTRICA	
USINA:	PEDREIRA:	
TIPO DE LIGANTE (CAP)		
Km:	PISTA:	
ESTACA:	LADO:	FAIXA TRÁFEGO:
DATA COLETA:	HORA:	VEICULO:
JAZIDA:	AREA:	FURO:
PROFUNDIDADE FURO:	PROFUNDIDADE ÚTIL:	
VOLUME ESTIMADO:	MATERIAL COLETADO POR:	
OBSERVAÇÕES:		
ENSAIOS:	<input type="checkbox"/> COMPACTAÇÃO	<input type="checkbox"/> TEOR DE LIGANTE
	<input type="checkbox"/> CBR	<input type="checkbox"/> GRANULOMETRIA AGREG.
	<input type="checkbox"/> LIMITE	<input type="checkbox"/> RICE
	<input type="checkbox"/> SEDIMENTAÇÃO	<input type="checkbox"/> DUI
	<input type="checkbox"/> GRANULOMETRIA SOLOS	<input type="checkbox"/> UMIDADE
	<input type="checkbox"/> OUTROS: .....	<input type="checkbox"/> TRAÇO DE CBUQ
		<input type="checkbox"/> TRAÇO DE .....
		<input type="checkbox"/> CARACTERIZAÇÃO DO CAP
		<input type="checkbox"/> DENS. APARENTE CBUQ
*(SE FOR JAZIDA FAZER CROQUI NO VERSO)		

**Anexo 1** – Etiqueta padrão



## **ET-004 - CONTROLE DE QUALIDADE DE OBRAS**

---

### **1. OBJETIVO**

1.1. Garantir que as obras sejam executadas com Qualidade, atendendo aos parâmetros de vida útil, conforto e custos estabelecidos, através da aplicação de procedimentos de fiscalização, controle e análises específicas da ARTERIS. Uma obra tem a Qualidade esperada quando atende integralmente ao projeto, às especificações e às normas e métodos de ensaios aplicáveis.

**NOTA 1** - Esta Especificação Técnica deve ser amplamente divulgada, para todas as equipes envolvidas com a supervisão e fiscalização de obras. O Engenheiro Fiscal deve ressaltar o objetivo, dar destaque para as premissas e explicar os procedimentos e as responsabilidades de cada colaborador.

---

### **2. PREMISSAS**

- O controle de qualidade da obra é de total responsabilidade da Empresa Construtora Contratada para a execução dos serviços.
- As Especificações Particulares de Serviço da ARTERIS devem ser de conhecimento de todas as áreas envolvidas na execução dos serviços, tais como Construtora, Supervisão e Fiscalização.
- O Trabalho de Supervisão e Fiscalização com julgamento da Qualidade deve ser realizado em bases factuais, e interagindo com a estrutura das Construtoras;
- Os ensaios devem ser executados em laboratórios credenciados pela ARTERIS para as liberações das camadas;
- Acesso irrestrito de qualquer funcionário da Supervisão/Fiscalização às dependências da Construtora e aos registros de ensaios executados;
- Treinamento das equipes envolvidas no processo de execução de obras, baseadas nos seguintes pontos:
  - a) Simplicidade para sua compreensão e engajamento de todos os envolvidos;
  - b) Transmissão de experiências e aprendizados ocorridos em projetos e obras e em especial nas do período de concessão;
  - c) Estabelecimento de responsabilidades claras na execução dos trabalhos de supervisão/fiscalização;

- O Gerente de Obras programará a aplicação de treinamento para toda Construtora/Supervisora que for contratada pela primeira vez para obras da ARTERIS.

---

### **3. CONCEITOS BÁSICOS**

3.1. Para que os trabalhos das equipes de Supervisão e Fiscalização atinjam seu objetivo é imprescindível e fundamental o entendimento e aplicação dos seguintes conceitos:

3.2. De Ordem Técnica:

- Devem ser realizadas inspeções de fornecedores dos principais materiais produzidos fora do canteiro e um trabalho de conscientização junto às equipes de produção de agregados, no canteiro ou em instalações de terceiros, mostrando o impacto de seus produtos na qualidade final das obras;
- Os ensaios previstos nas especificações devem ser executados com aparelhos que estejam calibrados e em conformidade com os métodos de ensaios específicos, para que possam fornecer resultados confiáveis. Desta forma, no início dos trabalhos, devem ser catalogados todos os aparelhos a serem utilizados nos laboratórios e elaboradas planilhas resumo com as calibrações necessárias e suas frequências. Os aparelhos devem ser calibrados por empresas certificadas.
- Os materiais devem satisfazer às Especificações em vigor indicada para cada caso. Recomenda-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes de cada especificação ou método de ensaio.
- Os anexos 1 e 2 trazem uma síntese das atividades que devem ser realizadas nas diversas camadas que compõem o pavimento.

3.3. De Ordem Gerencial:

- As normas, métodos de ensaios e especificações que regem o julgamento da Qualidade devem ser estudados e analisados detalhadamente por todos os integrantes da equipe;
- A Construtora deve entregar para a equipe de qualidade da Concessionária, um relatório mensal de acompanhamento dos serviços, de acordo com as premissas, juntamente com a medição. Uma cópia deste relatório mensal (papel e magnética) deve ser encaminhada ao CDT para análise e arquivo.
- Os anexos 6; 7; 9 e 11 devem ser utilizados no relatório.

– Nota – Os contatos encontram-se no final desta Especificação Técnica.

---

#### 4. ANEXOS

##### **ANEXO 1**

Exemplo de Planilha para Estudos de Subleito; Jazidas de Solos e BGS.

Ensaio abrangentes:

Granulometrias;

Limites Físicos;

Classificação dos Solos;

Compactação, CBR e expansão;

Umidade Higroscópica

##### **ANEXO 2**

Exemplo de Planilha para Estudos de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC.

Ensaio abrangentes:

Granulometrias;

Porcentagem de Cimento;

Compactação;

Resistência a Compressão e tração;

Umidade Higroscópica

## ET-005 - COLETA DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS NA PISTA (ATRÁS DA ACABADORA)

---

### 1. ESCOPO

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém o procedimento para coleta de amostras de misturas asfálticas na pista. Indica os utensílios necessários e define os passos à obtenção da amostra.

### 2. DEFINIÇÃO

2.1. Esta norma decorreu da necessidade de se padronizar e garantir a representatividade e integridade das amostras de misturas asfálticas enviadas a laboratórios para análises.

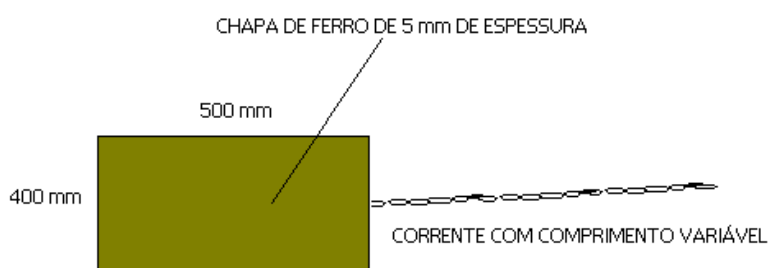
### 3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

3.1. Para elaboração desta norma foram consultados os seguintes documentos:

- ARTERIS ES-27 - Especificação Particular para Execução de Concreto Asfáltico - CA
- DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço
- DNIT-ES 386 - Especificação de serviço - Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero - Camada Porosa de Atrito

### 4. UTENSÍLIOS

4.1. Placa de ferro com as características e dimensões indicadas abaixo:



4.2. Pá de bico

4.3. Fôrma metálica com as características e dimensões indicadas abaixo:



20 x 35 x 15

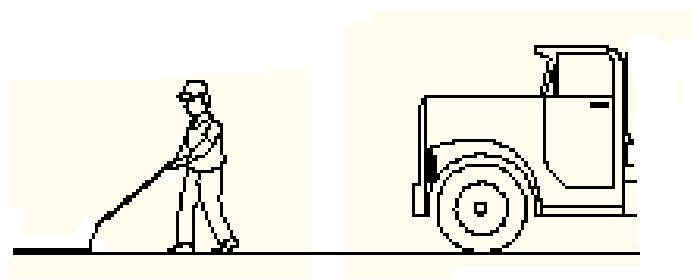
4.4. Saco de plástico resistente de 70 x 50 cm.

4.5. Etiqueta de identificação de amostra (Anexo 1).

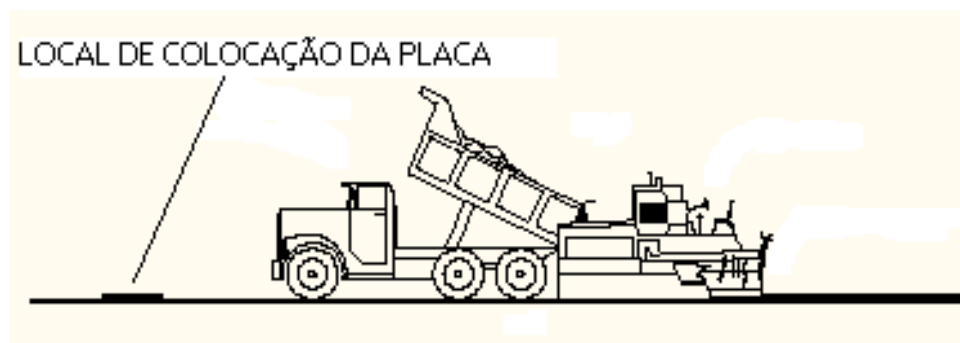
---

## 5. PROCEDIMENTO

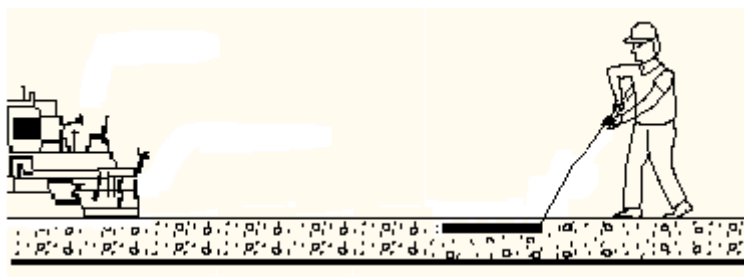
5.1. Colocar a placa na frente e entre as rodas do caminhão e da acabadora e esticar a corrente para fora da faixa em execução.



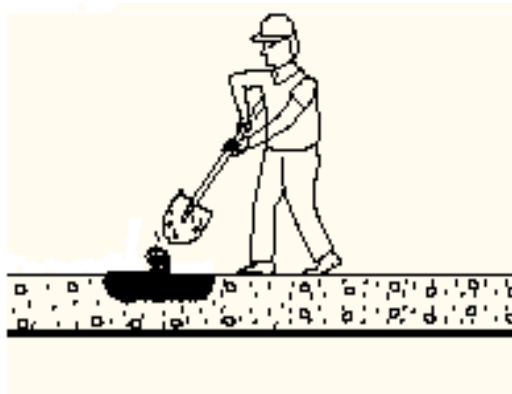
5.2. Detalhe da placa colocada entre as rodas do caminhão e com a corrente esticada para fora da faixa em execução



5.3. Após a passagem da acabadora e antes da compactação, retirar a placa com a amostra de MISTURA ASFÁLTICA usando a corrente como guia.



5.4. Após a retirada da placa, tapar o buraco deixado tomando o cuidado de nivelar a superfície, antes da compactação da camada executada.

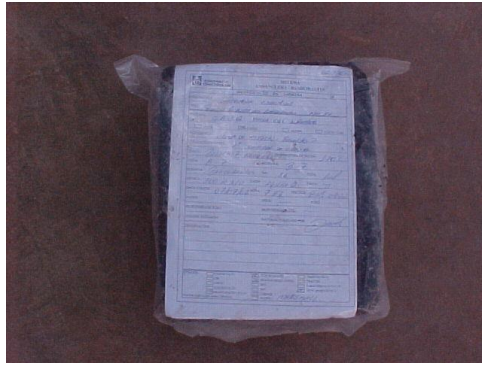


5.5. Transferir a amostra de MISTURA ASFÁLTICA para a fôrma metálica até o seu resfriamento.



5.6. Identificar a amostra utilizando a etiqueta padrão (FO-001).

5.7. Embalar a amostra identificada e em forma de paralelepípedo no saco de plástico.



5.8. Enviar a amostra ao laboratório para análises.

## **ET-008 - MEDIÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS COM EQUIPAMENTO MERLIN**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém o procedimento para medição de irregularidade longitudinal de pavimentos com equipamento Merlin. Define os passos necessários à obtenção do resultado.

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. MERLIN (**M**achine for **E**valuating **R**oughness using **L**ow-cost **I**Nstrumentation)

2.2. Este método fixa o modo pelo qual se determina o valor **IRI** (**I**nternational **R**oughness **I**ndex) e por retro análise, o **QI** (**Q**uociente de **I**rregularidade) Nota 1.

2.3. O equipamento Merlin oferece uma boa exatidão das medidas na faixa de IRI entre 2,4 e 15,9 m/km.

**Nota 1** – IRI (m/km) - QI (contagem/km).

### **3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

- TRL (Transport Research Laboratory) Report 229, 1996.

3.1. Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, quando da consulta desta norma.

### **4. APARELHAGEM:**

4.1. Equipamento Merlin em estrutura de metal formada por dois elementos verticais e um horizontal de duas barras. A parte dianteira é constituída basicamente de uma roda com aproximadamente 2m de perímetro.

- Na parte central do equipamento está situada uma barra vertical que não chega ao piso e que pivota em um eixo solidariamente com outra barra horizontal que serve para fixar o patim central. Essas duas barras formam o braço móvel do equipamento que captura a medida da irregularidade do pavimento e transfere para uma escala localizada na parte superior.



- A relação dos comprimentos das barras que constituem o braço móvel é de 1:10 e pode ser mudada para 1:5 conforme necessidade do usuário. Utilizando-se da relação de braço 1:10, cada desvio vertical de 1mm da superfície do pavimento em relação a uma superfície ideal, vai gerar um deslocamento de 10 mm do ponteiro localizado na extremidade superior da barra vertical sobre a escala. Essa relação de braços é mais adequada para levantamentos em pavimentos novos ou pouco deteriorados. Já a relação de 1:5 é mais utilizada para levantamentos em pavimentos com a superfície deteriorada.
- Uma escala localizada na parte superior do equipamento para uma melhor visualização por parte do usuário, possui 60 divisões principais, cada uma com 5mm, sendo que a divisão central de número 15 marca a irregularidade zero, coincidente com a superfície horizontal ideal definida pelos apoios rígidos, e medidas muito dispersas dessa marca central indicam irregularidades altas. Em relação a uma superfície ideal projetada, as marcas situadas abaixo dela indicam elevação e as que ficam acima indicam rebaixamento em relação essa superfície ideal. (Figuras 1 a 3).



**Figura 1**



**Figura 2**



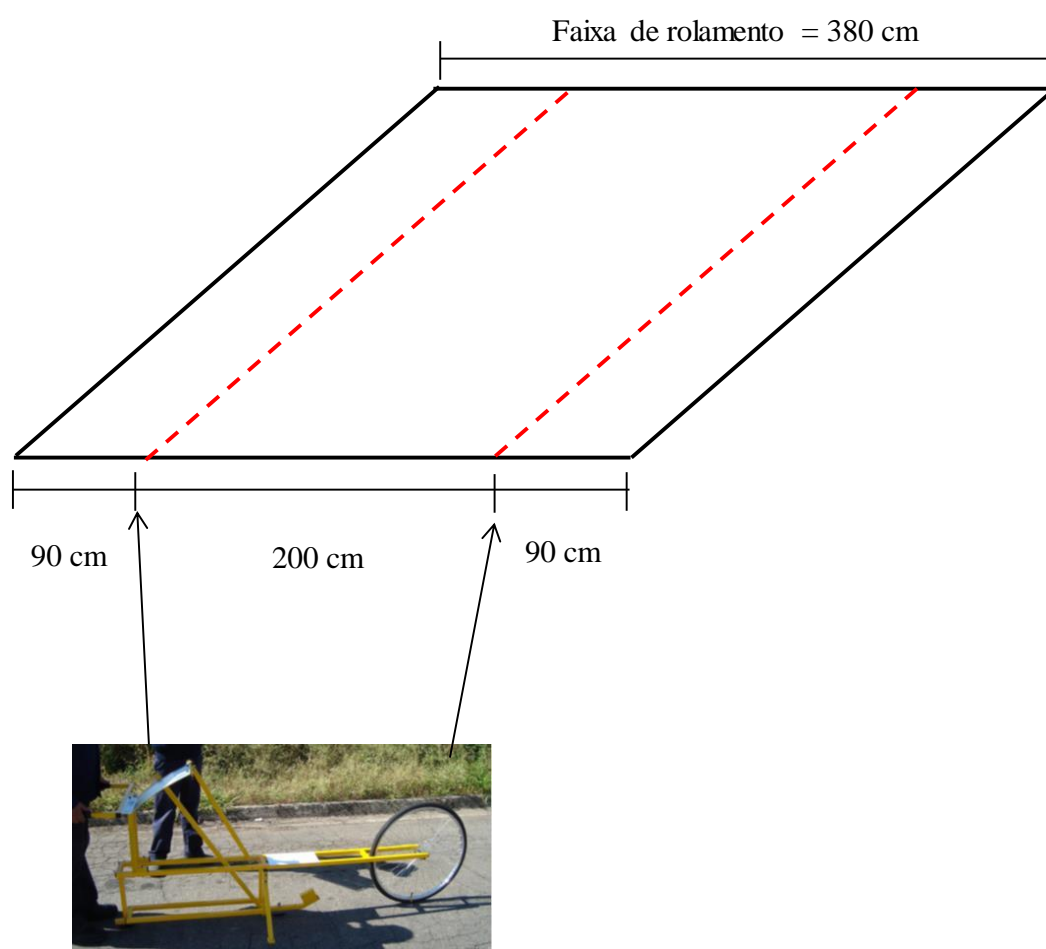
**Figura 3**

4.2. Disco de calibração, de metal usinado em um torno com velocidade de avanço de 50 mm por minuto. O disco tem como dimensões 6 mm de espessura e de 25 mm de diâmetro, com certificado de calibração.

---

## 5. PROCEDIMENTOS

5.1. Para determinação da irregularidade do pavimento, o seguimento a ser analisado deve ser  $\geq 100$  m, de forma que as leituras devem ser realizadas nos trilhos de roda de forma a se obter 200 medidas. Em cada medida o equipamento deve estar com a roda e os pés verticalmente descansado sobre o pavimento e o pé central móvel deve estar em contato com a superfície da estrada.



**Figura 4**

5.2. A posição do ponteiro sobre a escala indica a marca que deve ser registrada no quadro de registro até chegar à marca de número 200 (figura 5).

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

**Figura 5**

5.3. Realizada uma medição, a próxima deve feita levantando pelos punhos o equipamento de modo que o pé traseiro e o móvel se separem da superfície deslocando o equipamento 2m para frente (uma volta da roda). Esse processo é realizado sucessivas vezes até o final do número de medidas.

5.4. Quando as 200 medidas são realizadas é feito o tratamento estatístico dos resultados, através de um histograma de frequência, onde 10% das medidas são descartadas, ou seja, 20 valores são rejeitados, 10 de cada lado do histograma.

5.5. A largura do histograma é medida em milímetros, essa medida é chamada de “D” que através de fórmulas de correlação possibilita chegar ao parâmetro de irregularidade IRI (Índice de Regularidade Internacional).

---

## 6. CÁLCULOS E RESULTADOS

$$IRI = 0,593 + 0,0471D$$

IRI (m/km)

6.1. Esta fórmula foi elaborada pelo TRL com o uso de programas computacionais onde IRI é a rugosidade (R) nos termos do Índice Internacional de Irregularidade (m/km) e D é a largura do histograma do processo de determinação de rugosidade MERLIN.

$$QI = 13 IRI$$

QI (contagem/km)

---

## 7. APENDICE

### 7.1. Calibração do equipamento.

- Antes do uso do equipamento, deve ser realizada a calibração, verificando a amplificação dos valores medidos da seguinte forma: o MERLIN é descansado com a ponta de prova (patim central) em contato com a superfície de aferição, anotando-se o valor da medida na escala marcado pelo ponteiro. Em seguida, é levantada a ponta de prova e coloca-se o disco de calibração descrito em 4.2.
- A seguir abaixa-se o braço com a ponta de prova sobre o disco, a nova posição do ponteiro é marcada. O processo deve ser repetido para certificar-se de que os valores sejam consistentes.
- Se o espaço entre duas marcas for “S” e a espessura do disco for “T”, então as medidas na carta devem ser multiplicadas pelo fator de correção:

$$F = \frac{10T}{S}$$

## **ET-30 - CONDICIONAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE**

---

### **1. RESUMO**

1.1. Esta especificação descreve o procedimento para o condicionamento de Misturas Asfálticas à Quente, compactadas ou não compactadas (soltas). Três tipos de condicionamento são descritos: (1) condicionamento para projeto volumétrico de mistura; (2) condicionamento de curto prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas (ambos simulam a fase de pré-compactação do processo de construção); e (3) condicionamento de longo prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas para simular o envelhecimento que ocorre ao longo do período de vida de serviço de um pavimento. Os procedimentos de condicionamento de longo prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas são precedidos pelo procedimento de condicionamento de curto prazo para teste de propriedades mecânicas e misturas.

1.2. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS CONSULTADOS**

#### 2.1. Normas

- ARTERIS T 312, Preparo e determinação da densidade de amostra de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) através do Compactador Giratório Superpave.
- AASHTO PP 3 – Preparing Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Rolling Wheel Compactor<sup>iii</sup>
- AASHTO T 316 – Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer
- ABNT-NBR 14950 - Materiais Asfálticos – Determinação da Viscosidade “Saybolt-Furol”
- ARTERIS ET-001 - Especificação Técnica para projeto de misturas asfálticas a quente.

---

### **3. SUMÁRIO DO MÉTODO**

3.1. Para o condicionamento para projetos volumétricos de misturas asfálticas, uma mistura de agregado com ligante asfáltico é condicionada em uma estufa ventilada por 2 horas na temperatura de compactação da mistura especificada. Para o condicionamento de misturas para testes de propriedades mecânicas, uma mistura de agregado com ligante asfáltico é condicionada em uma estufa ventilada por 4 horas, a 135°C. Para o condicionamento de longo prazo para ensaios de propriedades mecânicas, uma mistura compactada de agregado e ligante asfáltico é condicionada em uma estufa ventilada por 5 dias a 85°C.

---

### **4. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

4.1. As propriedades e o desempenho da MAQ podem ser melhor previstos usando amostras testadas. O procedimento de condicionamento para projetos de misturas volumétricas é feito para permitir a absorção do ligante durante o projeto de dosagem da mistura. O procedimento de condicionamento de curto prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas é feito para simular os efeitos da usinagem e da construção na mistura. O procedimento de condicionamento de longo prazo para o teste de propriedades mecânicas em misturas é feito para simular o envelhecimento que a mistura irá sofrer durante 7 a 10 anos de serviço.

---

### **5. EQUIPAMENTO**

5.1. Estufa – Uma estufa ventilada, controlada termostaticamente, capaz de manter qualquer configuração de temperatura desejada a partir da temperatura ambiente até 176°C, podendo variar  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

5.2. Termômetros – Termômetros com intervalo de 50 até 206°C e escala de 1°C.

5.3. Diversos – Uma bandeja metálica para aquecer agregados, uma bandeja metálica rasa para aquecer MAQ não compactada, uma espátula ou colher metálica, cronômetro, luvas para manusear equipamentos quentes.

---

### **6. RISCOS**

6.1. Esta norma envolve o manuseio de ligante asfáltico e agregados quentes, bem como a própria MAQ, que pode causar queimaduras severas se entrar em contato com a pele. Siga precauções de segurança para evitar queimaduras.

---

### **7. PROCEDIMENTOS DE CONDICIONAMENTO DA MISTURA**

7.1. Condicionamento para Projeto de Mistura Volumétrica:

7.1.1. O procedimento de condicionamento de misturas para projeto volumétrico se aplica somente para misturas soltas feitas em laboratório. Nenhum condicionamento de mistura é necessário para realização de ensaios para controle de qualidade e aceitação de serviços, considerando misturas produzidas em usina e que foram transportadas e coletadas na obra.

**Nota 1** – A Contratante pode identificar a necessidade de condicionar misturas feitas em usinas, particularmente onde agregados absorventes são usados.

7.1.2. Coloque a mistura em uma bandeja e a espalhe para uma espessura uniforme variando entre 25 e 50 mm. Coloque a mistura e a bandeja em uma estufa ventilada por 2 h ( $\pm 5$  min) numa temperatura igual à temperatura de compactação da mistura ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ). O intervalo de temperatura de compactação da MAQ é definido pelo intervalo de temperatura onde o ligante asfáltico não envelhecido tem uma viscosidade cinemática de  $280 \pm 30 \text{ mm}^2/\text{s}$  (aproximadamente  $0,28 \pm 0,03 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) medidos de acordo com T 316 (nota 2). O alvo de temperatura de compactação é geralmente o ponto médio do intervalo.

**Nota 2** – Ligantes modificados podem não aderir aos requisitos de viscosidade equivalente descritas. A agência pode considerar as recomendações do fabricante quando estabelecer a mistura e temperaturas de compactação para ligantes modificados. Praticamente, a temperatura de mistura não deve exceder  $165^\circ\text{C}$  e a temperatura de compactação não deve ser menor do que  $115^\circ\text{C}$ .

7.1.3. Mexa a mistura depois de 60 ( $\pm 5$  min) para manter o condicionamento uniforme.

7.1.4. Depois de 2 h ( $\pm 5$  min), remover a mistura da estufa ventilada. A mistura condicionada agora está pronta para a compactação ou ensaio.

7.2. Condicionamento de Curto Prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas:

7.2.1. O procedimento de condicionamento de curto prazo para testes de propriedades mecânicas em misturas é aplicado somente para misturas soltas feitas em laboratório.

7.2.2. Coloque a mistura em uma bandeja, e espalhe para uma espessura uniforme variando entre 25 e 50 mm. Coloque a mistura e a bandeja na estufa condicionadora por 4 h ( $\pm 5$  min) em uma temperatura de  $135 (\pm 3^\circ\text{C})$ .

7.2.3. Mexa a mistura a cada 60 min ( $\pm 5$  min) para manter o condicionamento uniforme.



7.2.4. Depois de 4 h ( $\pm 5$  min), remova a mistura da estufa ventilada. A mistura condicionada agora está pronta para próximos condicionamentos ou testes, como for necessário.

7.3. Condicionamento de Longo Prazo para Testes de Propriedades Mecânicas em Misturas:

7.3.1. O procedimento de condicionamento de longo prazo para testes de propriedades mecânicas se aplica a misturas que foram submetidas previamente ao procedimento de condicionamento de curto prazo para testes de propriedades mecânicas, conforme descrito na Seção 7.2, para misturas produzidas em usina, e para amostras extraídas do pavimento compactado.

7.3.2. Preparando amostra de MAQ solta:

7.3.2.1. Amostras compactadas usando o Compactador Giratório Superpave:

7.3.2.1.1. Compacte as amostras de acordo com T 312. Resfrie a amostra de teste à temperatura ambiente por 16 h ( $\pm 1$  h).

**Nota 3:** Extraia a amostra do molde depois de resfriar por 2 a 3 h.

**Nota 4:** O resfriamento das amostras é normalmente uma etapa feita durante a noite. O resfriamento pode ser acelerado se a amostra for colocada em frente à ventilação.

7.3.2.2. Amostras compactadas usando o Compactador por Rolagem:

7.3.2.2.1. Resfrie a amostra de acordo com PP 3.

7.3.2.2.2. Resfrie a amostra de teste à temperatura ambiente por  $16 \pm 1$  h.

7.3.2.2.3. Remova a placa do molde, e serre ou tire a parte necessária da placa.

7.3.3. Preparando amostras de pavimento compactado:

7.3.3.1. Resfrie as amostras de teste à temperatura ambiente por 16 h ( $\pm 1$  h).

7.3.4. Condicionamento de Longo Prazo de Amostras de Teste Preparadas – Coloque as amostras compactadas na estufa ventilada por 120 h ( $\pm 0,5$  h) em uma temperatura de  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ).

7.3.5. Depois de 120 h ( $\pm 0,5$  h), desligue a estufa, abra a porta, e permita a amostra resfriar à temperatura ambiente. Não toque ou remova a amostra até que tenha resfriado à temperatura ambiente.

7.3.6. Depois de resfriar à temperatura ambiente, remova a amostra de teste da estufa. A amostra condicionada para longo prazo está pronta para teste como for necessário.

---

## **8. RELATÓRIO**

8.1. Reporte o tipo de ligante asfáltico, o teor de ligante (aproximação de 0,1%) e o tipo de agregado e a granulometria, se aplicável.

8.2. Reporte as informações abaixo de condicionamento da mistura para as condições do projeto volumétrico de mistura, se aplicável:

8.2.1. A temperatura do condicionamento da mistura no laboratório (temperatura de compactação, com precisão de 1°C).

8.2.2. Duração do condicionamento da mistura no laboratório (com precisão em minutos).

8.2.3. Temperatura de compactação do laboratório (com precisão de 1°C).

8.3. Reporte as informações abaixo de condicionamento de curto prazo para testes de propriedades mecânicas na mistura, se aplicável:

8.3.1. Temperatura de condicionamento de curto prazo da mistura no laboratório (com precisão de 1°C).

8.3.2. Duração do condicionamento de curto prazo da mistura no laboratório (com precisão em minutos).

8.3.3. Temperatura de compactação do laboratório (com precisão de 1°C).

8.4. Reporte as informações abaixo de condicionamento de longo prazo para testes de propriedades mecânicas na mistura, se aplicável:

8.4.1. Temperatura de condicionamento de longo prazo da mistura no laboratório (com precisão de 1°C).

8.4.2. Duração do condicionamento de longo prazo da mistura no laboratório (com precisão em minutos).

8.4.3. Temperatura de compactação do laboratório (com precisão de 1°C).

---

## **9. PALAVRAS CHAVES**

9.1. Condicionamento, mistura asfáltica à quente, condicionamento de longo prazo, condicionamento de curto prazo.

<sup>1</sup> Esta norma está baseada no Produto 1031 da SHRP.

<sup>1</sup> PP 3-94 foi impressa pela última vez na Edição de Maio 2002 de Normas Provisórias da AASHTO.

## **ET-231 - INSTRUMENTOS DE PESAGEM UTILIZADOS EM ENSAIOS DE MATERIAIS**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método estabelece os requisitos para escalas, balanças, e massas avulsas padrão usadas com balanças, utilizadas em ensaios de materiais de construção.
- 1.2. Os requisitos das balanças são citados por um número de método de ensaio da AASHTO / ARTERIS. A especificação geral das balanças descritas aqui pode não ser suficientemente precisa para certos ensaios, especialmente quando um alto grau de exatidão é requerido em balanças de grande capacidade. Neste caso, os requisitos para a balança devem ser incluídos no próprio método de ensaio.
- 1.3. Os requisitos incluídos aqui não são suficientes para serem usados como especificações de compra do instrumento, sem ser aplicado um fator de tolerância de aceitação para a compra.
- 1.4. Os valores em unidades do padrão internacional (SI) são indicados como padrão.

---

### **2. CLASSIFICAÇÃO**

- 2.1. A especificação está dividida em duas classes de balança; analítica designada A e B, e cinco classes de escalas e balanças, designadas G1, G2, G5, G20 e G100.
- 2.2. As Massas padrão classificadas como Classe 1,2,3 e 4, listadas na ASTM E 617, devem ser usadas com a balança analítica. As Massas padrão listadas na tabela 2, Seção 2.23 do NIST Handbook 44 (1992 Edition) devem ser usadas com especificações gerais de balanças.

---

### **3. TERMINOLOGIA**

- 3.1. Tolerância de aceitação – o desvio máximo permissível do valor verdadeiro para massas avulsas ou balanças novas, e massas ou balanças padrão. Usualmente igual à metade da tolerância do processo.
- 3.2. Precisão - desvio máximo permitido da indicação do valor verdadeiro em uma balança ou escala, dentro das tolerâncias aplicáveis.
- 3.3. Balança - um instrumento para determinar a massa, na sua forma mais simples, possui um eixo apoiado exatamente no meio e dois pratos de massas iguais suspensos nas suas extremidades. Geralmente um instrumento de pesagem com relativo alto grau de exatidão, usado para determinação de massa em laboratório.

- 3.4. Balança de leitura direta - uma balança em que a massa de cargas aplicadas em várias magnitudes é automaticamente indicada ou é indicada por meio de um braço calibrado, por toda ou por uma porção do alcance da balança.
- 3.5. Balança de pratos iguais - uma balança que tem um eixo suportado exatamente no meio, com 2 pratos suspensos pelas extremidades, em que a massa de quantidade não conhecida em um prato é comparada com uma massa padrão colocada no outro prato.
- 3.6. Massas avulsas - massa padrão usada para determinação da massa, geralmente sendo menos precisa que a massa analítica padrão.
- 3.7. Tolerância do processo – desvio máximo permitido do valor verdadeiro para massas ou balanças em serviço.
- 3.8. Carregamento fora do centro – aplicação de uma carga no prato de uma balança em um ponto deslocado do centro do prato.
- 3.9. Resolução – a menor unidade de massa que pode ser lida sem estimação do valor a ser medido, diretamente ou por uso de um micrometro.
- 3.10. Escala – um instrumento ou máquina usada para determinação de massa, normalmente incluindo um sistema de multiplicação de alavanca.
- 3.11. Sensibilidade – massa necessária para produzir um movimento perceptível no sistema de indicação da balança ou escala.
- 3.12. Condição de sensibilidade – mudança mínima na posição de descanso do elemento de indicação da escala ou balança em resposta à mudança específica na carga de teste existente no elemento de recebimento de carga da balança ou escala.
- 3.13. Balança simples – uma balança designada primeiramente para uso em conjunto com a massa padrão regulada. Pode ter ou não um eixo.
- 3.14. Massa padrão analítica – massa avulsa usada para trabalho analítico, tendo tolerâncias relativamente pequenas para além dos valores fixados.

---

#### **4. REQUISITOS**

- 4.1. Balança Analítica – Balanças analíticas de classe especificada, são indicadas na Tabela 1. Estes requisitos se aplicam para ambas as balanças com massa incorporada e balanças usadas com massas avulsas. A classe para massa padrão é sugerida levando em conta a precisão requerida. (nota 1)

**Tabela 1 - Balança Analítica Padrão**

Classe da Balança	Precisão	Sensibilidade	Resolução <sup>a</sup>	Classe de Massa Padrão <sup>b</sup>	Capacidade <sup>c</sup>
A	0,0002 g	0,0001 g	0,0001 g	1,2 ou 3	200g
B	0,002 g	0,001 g	0,001 g	3	200g

<sup>a</sup> Resolução da divisão na balança de leitura direta

<sup>b</sup> Classe sugerida para uso com balança simples

<sup>c</sup> Capacidade máxima geralmente disponível para balança de precisão e sensibilidade indicada para a classe.

Dependendo da fabricação e se é leitura direta ou balança simples

**Nota 1** - A tolerância para massas padrão é tal que, um único desvio da massa em relação à tolerância total pode fazer a balança exceder os requisitos de precisão. Em geral, uma massa individual será desviada ligeiramente dos valores fixados, e grupos de massas terão alguma variação positiva e alguma variação negativa, uma variação compensando a outra.

4.2. Especificação geral de balanças e escalas – Especificações para instrumentos de pesagem de acordo com a precisão, resolução e sensibilidade são indicados na tabela 2. A precisão na indicação da carga deve ser menor que 0,1 por cento no intervalo igual a 10 por cento da capacidade da balança. (Nota 2). O instrumento não deve ser carregado em excesso da sua capacidade nominal ou capacidade indicada.

**Tabela 2 – Especificações Gerais de Balança e Escalas**

Classe	Resolução e Sensibilidade	Precisão <sup>a</sup>
G1	0,01 g	0,02 g ou 0,1 por cento
G2	0,1 g	0,2 g ou 0,1 por cento
G5	1 g	2 g ou 0,1 por cento
G20	5 g	5 g ou 0,1 por cento
G100	20 g	20 g ou 0,1 por cento

<sup>a</sup> Precisão igual à massa indicada ou 0.1 por cento da massa da amostra, vale o maior, para toda faixa de uso

**Nota 2-** Este requisito é para assegurar um desempenho linear da balança ou escala. É recomendado que sejam checados 5 ou mais pontos em toda esta faixa.

4.2.1. A balança selecionada para uso será baseada na precisão, resolução, sensibilidade e capacidade requerida para o ensaio a ser executado. Amostras parciais serão pesadas

com pelo menos a precisão requerida para a amostra total, no instrumento de pesagem (Nota 3).

**Nota 3** – Balanças têm uma variação considerável na qualidade. Balanças mais baratas, podem não ter a precisão requerida em toda a sua faixa de capacidade especificada, especialmente se submetida em uso numa superfície irregular.

4.2.2. Balanças com leituras no sistema inglês de unidades (libras e onça), ou massas avulsas usadas com estes instrumentos, deverão ter níveis de precisão, resolução e sensibilidade equivalentes àqueles mostrados na Tabela 2 para balanças e Tabela 4 para massas.

4.3. Características de Balança – As características de projeto de uma balança deverão estar de acordo com os requisitos da seção 4.1 e 4.2.

4.3.1. A repetição de uma pesagem deverá reproduzir indicação de carga que esteja de acordo com as outras medições, dentro das condições de sensibilidade especificada para a balança.

4.3.2. Mecanismos para adicionar ou subtrair massa interna incorporada deverão ter funcionamento suave.

4.3.3. Mostradores e indicadores de aumento de massa mostrarão claramente a leitura que eles foram projetados para mostrar.

4.3.4. A precisão requerida deverá ser atendida em qualquer ponto de aplicação de carga no prato da balança ou outro elemento de colocação de carga.

4.4. Massas serão selecionadas de tal modo que os requisitos de precisão, sensibilidade e/ou resolução especificados na seção 4.1 e 4.2 sejam atendidos quando usadas com a balança apropriada.

4.4.1. Balança Analítica padrão – Massas analíticas para uso com balança de pratos iguais devem ser de Classe 1,2,3 ou 4, e apropriadas para a precisão da balança com a qual elas estão sendo usadas. Os requisitos para estas massas estão descritos na ASTM E 617. Tolerâncias aplicáveis estão descritas na Tabela 3. Massas de classe 1 e 2 são massa de referência, geralmente usadas para calibração de massas de classe menor, embora massas de Classe 2 sejam usadas como massa de trabalho para determinação de massas de alta precisão. Classes 3 e 4 são consideradas como massas de trabalho (Nota 1).

**Tabela 3 – Tolerâncias para Massa Analíticas Padrão**

Tolerância de Aceitação						
Denominação	Classe 1 <sup>a</sup>		Classe 2 <sup>b</sup>		Classe 3 <sup>c</sup>	Classe 4 <sup>c</sup>
	Tolerância		Tolerância			
	Individual,	Grupo, mg	Individual,	Grupo, mg	Tolerância,	Tolerância, mg
	mg		mg		mg	
1000 g	2,5		5,0		10,0	20,0
500 g	1,2		2,5		5,0	10,0
300 g	0,75	1,35	1,5	2,7	3,0	6,0
200 g	0,50		1,0		2,0	4,0
100 g	0,25		0,50		1,0	2,0
50 g	0,12		0,25		0,60	1,2
30 g	0,074	0,16	0,15	0,29	0,45	0,90
20 g	0,074		0,10		0,35	0,70
10 g	0,050		0,074		0,25	0,50
5 g	0,034		0,054		0,18	0,36
3 g	0,034		0,054		0,15	0,30
2 g	0,034	0,065	0,054	0,105	0,13	0,26
1 g	0,034		0,054		0,10	0,20
500 g	0,010		0,025		0,080	0,16
300 g	0,010		0,025		0,070	0,14
200 g	0,010	0,020	0,025	0,055	0,060	0,12
100 g	0,010		0,025		0,050	0,10
50 g	0,010		0,014		0,042	0,085
30 g	0,010		0,014		0,038	0,075
20 g	0,010	0,020	0,014	0,034	0,035	0,070
10 g	0,010		0,014		0,030	0,060
5 g	0,010		0,014		0,028	0,055
3 g	0,010		0,014		0,026	0,052
2 g	0,010	0,020	0,014	0,034	0,025	0,050
1 g	0,010		0,014		0,025	0,050

<sup>a</sup> Tolerância do processo é a mesma que a tolerância de aceitação

<sup>b</sup> Tolerância do processo para massas padrão abaixo de 100 mg são as mesmas que tolerância de aceitação. Para massa padrão e acima de 100mg, a tolerância do processo é duas vezes a tolerância de aceitação.

<sup>c</sup> Tolerância do processo é duas vezes a tolerância de aceitação.

4.4.2. Especificação geral das massas – Especificação geral das massas para uso com balança de pratos iguais são apresentados nos requisitos da NIST Handbook 44 (1992), Tabela 2, Seção 2.23, Pesos. Massas para uso com balança de prato único terão suficiente precisão para que as balanças satisfaçam os requisitos para tal dispositivo. Tolerâncias aplicáveis são mostradas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Tolerâncias para especificações Gerais de Massas**

Denominação	Tolerância para manutenção <sup>a</sup>	Denominação	Tolerância para manutenção <sup>a</sup>
20 kg	1500 mg	30 mg	30 mg
10 kg	1000 mg	20 mg	20 mg
5 kg	800 mg	10 mg	15 mg
3 kg	500 mg	5 mg	10 mg
2 kg	400 mg	3 mg	8 mg
1 kg	250 mg	2 mg	6 mg
500 g	175 mg	1 mg	4 mg
300 g	150 mg	500 mg	3,0 mg
200 g	100 mg	300 mg	2,0 mg
100 g	70 mg	200 mg	1,5 mg
50 g	40 mg	100 mg	1,0 mg

<sup>a</sup> Tolerância de aceitação em massas novas é metade da tolerância de manutenção.



## **ET-323 - PROJETO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MISTURA**

---

### **1. RESUMO**

- 1.1. Esta especificação para Projeto Volumétrico Superpave de Mistura utiliza as propriedades do agregado e da mistura para produzir uma fórmula de trabalho para a Mistura Asfáltica Quente.
- 1.2. Esta norma especifica as necessidades mínimas de qualidade para ligante asfáltico, agregado, e Concreto Asfáltico em projetos Superpave de dosagem de mistura.
- 1.3. Esta Norma pode envolver materiais, operações ou equipamentos prejudiciais à saúde. Esta Norma não se propõe a atender a todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É da responsabilidade de seus usuários estabelecerem, antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos ao seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS CONSULTADOS**

#### 2.1. Normas

- AASHTO M 320, Grau de desempenho do ligante asfáltico.
- ARTERIS ET-35, Projeto Volumétrico Superpave para Mistura Asfáltica a Quente.
- ARTERIS T 11, Análise granulométrica de agregados passante na peneira de 75mm (nº.200), por lavagem.
- ARTERIS T 27, Análise granulométrica para agregados miúdos e graúdos.
- ARTERIS T 164, Determinação da Percentagem de Ligante Asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente.
- AASHTO T 170, Recuperação de Ligante asfáltico pelo Método de Abson.
- AASHTO T 176, Finos Plásticos em Agregados Graduados e Solos usando o Ensaio de Equivalente de Areia.
- ARTERIS T 283, Resistência de Misturas Asfálticas Compactadas a Danos por Umidade Induzida.
- ARTERIS T 304, Porcentagem de vazios de agregados finos não compactados.
- ARTERIS T 308, Determinação do Teor de ligante Asfáltico de Concreto Asfáltico (CA) pelo Método de Ignição.

- ARTERIS T 312, Preparo e determinação da densidade de corpos de prova de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) através do Compactador Giratório Superpave.
- AASHTO T 319, Extração quantitativa e recuperação de ligante Asfáltico de misturas Asfálticas.
- ARTERIS D 4791, Partículas Planas, Partículas Alongadas, ou Partículas Planas Alongadas em Agregado Graúdo.
- ARTERIS TP 61, Determinação da Porcentagem de Partículas Fraturadas em Agregado Graúdo.

## 2.2. Normas do Asphalt Institute

- MS-2, Método de projeto de mistura para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas à quente.

## 2.3. Publicações da Associação Nacional de Pavimento Asfáltico

- IS 128, Guia MAQ de Seleção do Tipo de Mistura.

## 2.4. Outras Referências

- LTPP Modelos Periódicos de Temperatura do Pavimento de Concreto Asfáltico. FHWA-RD-97-103. FHWA, Departamento de Transporte dos EEUU, Washington, DC, Setembro, 1998.
- Relatório 452 NCHRP: Uso Recomendado de Pavimento Asfáltico Reciclado no Método Superpave de Projeto de Mistura: Manual do Técnico. “National Cooperative Highway Research program Project” D9-12, “Transportation Research Board”, Washington, DC, 2001.

---

## 3. TERMINOLOGIA

3.1. MAQ - Misturas Asfáltica a Quente.

3.2. Design ESALs – Fator de equivalência de carga (80 kN) carga de eixo simples.

3.2.1. Debate – Design ESALs é a projeção do nível esperado de tráfego de projeto. Para pavimentos projetados para mais ou menos 20 anos, determine o Design ESALs para 20 anos, quando aplicar esta Norma.

3.3. Teor de vazios ( $V_a$ ) – O volume total de pequenas bolsas de ar entre as partículas de agregado cobertas por toda parte com asfalto nas misturas asfálticas compactadas, expressa em porcentagem do volume aparente da mistura compactada (Nota 1).

**Nota 1** – Termo definido no Manual MS-2 do *Asphalt Institute* - Método de projeto de mistura para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas à quente

3.4. Vazios no Agregado Mineral (VAM) – Volume de espaço vazio intergranular entre as partículas de agregados de uma mistura compactada que inclui os vazios de ar e volume do ligante asfáltico efetivo (não absorvido pelos agregados), expresso em porcentagem do volume total da amostra.

3.5. Vazios cheios de Asfalto (VCA) – A porcentagem de VAM cheio de ligante (o volume efetivo de ligante dividido pelo VAM).

3.6. Relação filler / ligante(P0,075/Pbe) –, a relação em massa entre a porcentagem passante pela peneira (P0,075) 75 µm (Nº200) e o conteúdo efetivo de ligante (Pbe).

3.7. Tamanho nominal máximo do agregado – Um tamanho maior que a primeira peneira que retenha mais que 10 % de agregado (Nota 2).

3.8. Tamanho máximo de agregado – Um tamanho maior de agregado que o tamanho nominal máximo de agregado (Nota 2).

**Nota 2** – A definição dos Itens 3.7 e 3.8 se aplicam somente para misturas Superpave e diferem da definição publicada em outras Normas AASHTO.

3.9. Pavimento Asfáltico Reciclado (PAR) – Material de pavimento removido e/ou processado contendo ligante asfáltico e agregado.

3.10. Peneira de Controle Primária (PCP) - A peneira que define a diferença entre misturas de graduação finas e grossas para cada tamanho nominal máximo de agregado.

---

#### **4. SIGNIFICADO E USO**

4.1. O Método descrito nesta Norma pode ser usado em seleção e avaliação de materiais para Projetos Volumétricos de Mistura Superpave.

---

#### **5. EXIGÊNCIAS PARA O LIGANTE**

5.1. O ligante deverá ser um ligante grau de performance (PG), satisfazendo as exigências da M 320, que é apropriado para o clima e condições de tráfego do local do projeto de pavimentação, ou como especificado pelos documentos do Contrato.

5.1.1. Determine a média e o desvio padrão anual, com média de 7 (sete) dias, da temperatura máxima do pavimento, medidas a 20 mm abaixo da superfície do pavimento; e a média e o desvio padrão anual da temperatura do pavimento de mínimas

de 1 (um) dia, medida na superfície do pavimento, no local do projeto de pavimentação. Estas temperaturas podem ser determinadas com o uso da ferramenta de computação LTPPind ou fornecidas por setor responsável. Se o programa de computador é usado, os modelos LTPP de alta-baixa-temperatura devem ser selecionados no software quando determinado o teor de ligante. Geralmente, informações reais do local não estarão disponíveis e dados representativos de uma estação climática próxima deverão ser utilizados.

5.1.2. Selecione o nível de confiabilidade do projeto para o desempenho desejado de alta-baixa-temperatura. A confiabilidade do projeto exigida é estabelecida pela política da Agência.

**Nota 3** – A seleção do nível de confiabilidade para o desempenho desejado pode ser influenciada pelo custo inicial dos materiais e custos subsequentes de manutenção.

5.1.3. Utilizando os dados de temperatura determinadas do pavimento, selecione o ligante PG (PG binder), classificado por grau de desempenho, que satisfaça a confiabilidade do projeto.

5.2. Se a velocidade de tráfego ou o Design ESALs permitem, aumente o grau de temperatura pelo valor de graus equivalentes indicados na Tabela 1, para levar em conta a previsão das condições de tráfego no local de projeto.

**Tabela 1** – Seleção do Ligante baseado na Velocidade de Tráfego e Nível de Tráfego

Design ESALs <sup>b</sup> (Milhão)	Adaptação ao Grau de Alta-Temperatura do Ligante <sup>a</sup>		
	Taxa de Carga do tráfego		
	Parado <sup>c</sup>	Lento <sup>d</sup>	Normal <sup>e</sup>
< 0,3	— <sup>f</sup>	—	—
0,3 a < 3	2	1	—
3 a < 10	2	1	—
10 a < 30	2	1	— <sup>f</sup>
≥ 30	2	1	1

<sup>a</sup> Aumente o grau de alta-temperatura pelo valor de graus equivalentes indicados, (1 (um) grau é equivalente a 6°C). Use o grau de baixa-temperatura como determinado no Item 5.

<sup>b</sup> O nível desejado previsto de tráfego de projeto em uma faixa de projeto para um período de 20 anos. Apesar do projeto real de vida da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>c</sup> Tráfego Parado – onde a velocidade média do tráfego é menor que 20 Km/h.

Design ESALs <sup>b</sup> (Milhão)	Adaptação ao Grau de Alta-Temperatura do Ligante <sup>a</sup>		
	Taxa de Carga do tráfego		
	Parado <sup>c</sup>	Lento <sup>d</sup>	Normal <sup>e</sup>

<sup>d</sup> Tráfego Lento - onde a velocidade média do tráfego varia entre 20 e 70 Km/h.

<sup>e</sup> Tráfego Normal - onde a velocidade média do tráfego é maior que 70 Km/h.

<sup>f</sup> Deve ser levado em consideração o grau de alta-temperatura em 1 (um) grau equivalente.

**Nota 4** – Normalmente um ligante PG mais rígido que o PG 82-xx deve ser evitado. Em casos em que o ajuste necessário no grau de alta temperatura do ligante resulte em um ligante com um grau maior que o PG 82, devem ser feitas considerações em especificar um PG 82-xx e aumentar o Design ESALs em 1 (um) nível (ex: de 10 a < 30 milhões aumentar para ≥ 30 milhões).

5.3. Se PAR vai ser usado na mistura, ajuste o teor do ligante selecionado nos Itens 5.1.3 e 5.2 de acordo com a Tabela 2 para levar em consideração o nível de rigidez do ligante do PAR. Procedimentos para traçar um gráfico combinado (novo+recuperado), são fornecidos no Apêndice.

**Nota 5** – Uma pesquisa conduzida como parte do Projeto 9-12 NCHRP indica que o PAR de alta rigidez (PG 88-4 depois de recuperado) utilizado nos estudos tinham um maior efeito nas propriedades do ligante asfáltico combinado do que o PAR de média ou baixa rigidez (PG 82-16 e PG 82-22, respectivamente). Estes dados sugerem que os valores limites de PAR na Tabela 2 podem ser mudados dependendo da rigidez de baixa temperatura do ligante recuperado do PAR. Veja o Relatório NCHRP 452 para maiores detalhes.

**Tabela 2** – Guia para seleção de ligante de Misturas (PAR) de Pavimento Asfáltico Reciclado

Teor de Ligante Asfáltico Virgem Recomendado	Porcentagem de PAR
Nenhuma mudança na seleção do ligante	< 15
Selecione ligante virgem, 1 (um) grau mais macio que o normal (ex: selecione um PG58-28, se um PG 64-22 iria normalmente ser utilizado).	15 – 25
Siga as recomendações do gráfico da combinação dos ligantes.	> 25

## 6. EXIGÊNCIAS PARA OS AGREGADOS COMBINADOS

### 6.1. Exigências de Tamanho

6.1.1. Tamanho Nominal Máximo – O agregado combinado deve ter um tamanho nominal máximo de 4,75 a 19,0 mm para camadas superficiais de MAQ e não maior que 37,5 mm para camadas subsuperficiais de MAQ.

**Nota 6** – Informações adicionais na seleção do tamanho nominal máximo apropriado da mistura pode ser encontrado na IS 128 da “National Asphalt Pavement Association”.

6.1.2. Pontos de Controle da Graduação – O agregado combinado deverá ser conforme as exigências de graduação especificadas na tabela 3 quando testado de acordo com as T-11 e T-27.

**Tabela 3** – Pontos de Controle da Graduação de Agregado

Tam. da Peneira	Tamanho Nominal Máximo do Agregado – Pontos de Controle (% de passante)											
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm		4,75 mm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
50,0 mm	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37,5 mm	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25,0 mm	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—
19,0 mm	—	—	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—
12,5 mm	—	—	—	—	—	90	90	100	100	—	100	—
9,5 mm	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100	95	100
4,75 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100
2,36 mm	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67	—	—
1,18 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	60
0,075 mm	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12

6.1.3. Classificação da Graduação – A graduação do agregado combinado deverá ser classificada como graduação grossa quando passa abaixo do ponto de controle (PCP) Peneira de Controle Primária como definido na Tabela 4. Todas as outras graduações deverão ser classificadas como graduação fina.

**Tabela 4** – Classificação de Graduação

Ponto de Controle PCP para Mistura de Agregado de Tamanho Nominal Máximo (% passante)					
Tamanho de Agregado Nominal Máximo	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm
Peneira de Controle Primária	9,5 mm	4,75 mm	4,75 mm	2,36 mm	2,36 mm
Ponto de Controle PCP (% passante)	47	40	47	39	47

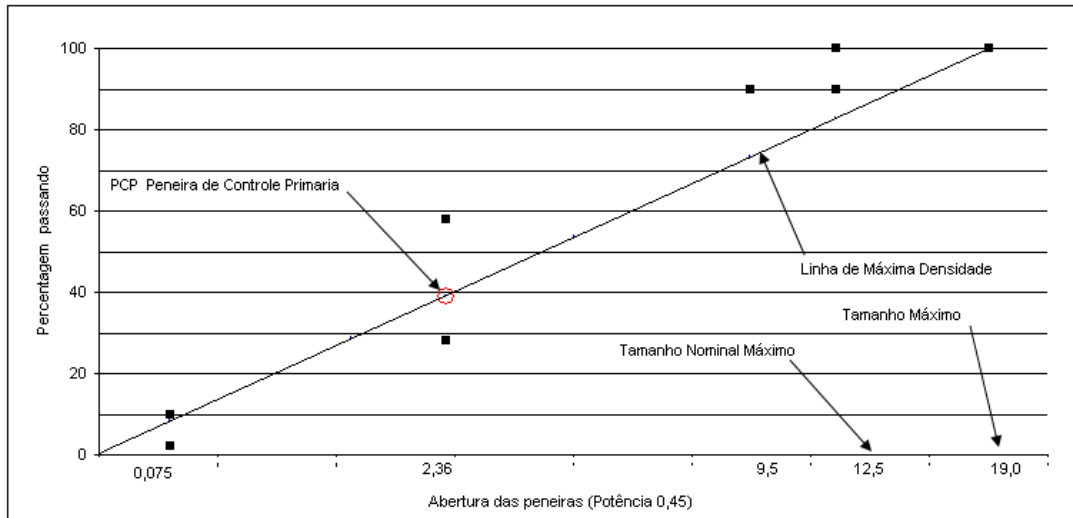


Figura 1 - Pontos de Controle para Graduação de um Tamanho Nominal Máximo de Agregado 12,5mm do Superpave.

6.2. Exigências de Angularidade de Agregado Graúdo – A porcentagem de faces fraturadas do agregado deverá estar conforme as exigências da Tabela 5, medido de acordo com a D 5821.

6.3. Exigências de Angularidade de Agregado Miúdo – A porcentagem de vazios não compactados do agregado deverá estar conforme as exigências da Tabela 5 para agregado miúdo, medido de acordo com o Método A, da T 304.

6.4. Exigências de Equivalente de Areia – O agregado deverá estar conforme as exigências para equivalente de areia da Tabela 5, medido de acordo com a T 176.

6.5. Exigências de Lamelaridade – O agregado deverá estar conforme as exigências de partículas planas e alongadas, especificado na Tabela 5, medido de acordo com a D 4791, com a exceção de que o material passante da peneira 9,5 mm e retido na peneira 4,75 mm deverá ser incluído. O agregado deverá ser medido usando a relação 5:1, comparando o comprimento (maior comprimento) à espessura (menor espessura) das partículas de agregado.

6.6. Quando PAR é utilizado na mistura, o agregado do PAR deverá ser extraído desta utilizando-se uma extração por solvente (T-164) ou um forno de ignição (T-308), como especificado pela Agência. O agregado de PAR deverá ser incluído nas determinações das exigências de granulometria, de angularidade de agregado graúdo, de angularidade de agregado miúdo e de lamelaridade. As exigências de equivalente de areia deverão ser ignoradas para o PAR, mas deverão ser aplicadas para o restante da mistura de agregado.

**Tabela 5 – Consenso de Exigências de Propriedades de Agregado**

Design ESALs <sup>a</sup> (Milhão)	Face Fraturada, Agregado Graúdo <sup>c</sup> , Porcentagem		Teor de Vazio Não Compactado de Agregado		Equivalente de Areia, Porcentagem	Lamelaridade <sup>c</sup> , Porcentagem
	Profundidade da Superfície		Profundidade da Superfície			
	≤ 100 mm	> 100 mm	≤ 100 mm	> 100 mm		
< 0,3	55 / ___	___ / ___	___	___	40	___
0,3 a < 3	75 / ___	50 / ___	40	40	40	10
3 a < 10	85 / 80 <sup>b</sup>	60 / ___	45	40	45	10
10 a < 30	95 / 90	80 / 75	45	40	45	10
≥ 30	100 / 100	100 / 100	45	45	50	10

<sup>a</sup> Projeção do nível esperado de tráfego de projeto para um período de 20 anos. Apesar da vida real de projeto da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>b</sup> 85 / 80 indica que, 85 por cento do agregado graúdo possuem 1 (uma) face fraturada e 80 por cento possuem 2 (duas) ou mais faces fraturadas.

<sup>c</sup> Este critério não se aplica para as misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm.

**Nota 7** – Se menos de 25 por cento da camada está a menos de 100 mm da superfície, a camada pode ser considerada abaixo de 100 mm, para a finalidade de projeto de mistura.

## 7. EXIGÊNCIAS DE PROJETO DE MAQ

7.1. O agregado e o ligante no MAQ deverão estar conforme às exigências dos Itens 5 e 6.

7.2. O Projeto de MAQ, quando compactado de acordo com a T 312, deverá estar conforme com as exigências de densidade relativa, VAM, VCA e a relação filler-ligante especificadas na tabela 6. Os giros, inicial, de projeto e de número máximo, estão especificados na R 35.

**Tabela 6 – Exigências de Projeto Superpave de MAQ**

Design ESALs <sup>a</sup> (Milhão)	Densidade Relativa Exigida, Porcentagem de Densidade Específica Teórica Máxima			Vazios no Agregado Mineral (VAM), Porcentagem Mínima						Faixa <sup>b</sup> de Vazios Cheios de Asfalto (VCA),	Faixa <sup>c</sup> de Relação filler-Ligante
	Tamanho de Agregado Nominal Máximo - mm										
	N <sub>inicial</sub>	N <sub>projeto</sub>	N <sub>máximo</sub>	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75		
< 0,3	≤91,5	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	70 - 80 <sup>d</sup>	0,6 – 1,2
0,3 a < 3	≤90,5	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 78	0,6 – 1,2
3 a < 10	≤89,0	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 75 <sup>e</sup>	0,6 – 1,2



10 a  $\leq 89,0$  96,0  $\leq 98,0$  11,0 12,0 13,0 14,0 15,0 16,0 65 – 75<sup>e</sup> 0,6 – 1,2  
<30

$\geq 30$   $\leq 89,0$  96,0  $\leq 98,0$  11,0 12,0 13,0 14,0 15,0 16,0 65 – 75<sup>e</sup> 0,6 – 1,2

<sup>a</sup> Projeção do nível esperado de tráfego de projeto para um período de 20 anos. Apesar da vida real de projeto da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>b</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 37,5 mm, o menor limite especificado da faixa de VCA deverá ser de 64 por cento, para todos os níveis de tráfego de projeto.

<sup>c</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm, a relação de filler-ligante deverá ser de 0,9 a 2,0.

<sup>d</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 25,0 mm, o menor limite especificado da faixa de VCA deverá ser de 67 por cento para níveis de tráfego de projeto < 0,3 milhões de ESALs.

<sup>e</sup> Para níveis de tráfego de projeto > 3 milhões de ESALs, misturas de tamanho nominal máximo de 9,5 mm, a faixa especificada de VCA deverá ser de 73 a 76 e para misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm, deverá ser de 75 a 78 por cento.

**Nota 8** – Se a granulometria do agregado passa por baixo do Ponto de Controle PCP especificado na Tabela 4, a faixa da relação Filler-Ligante pode ser aumentada de 0,6-1,2 para 0,8-1,6, com aprovação da Agência.

**Nota 9** – Misturas com VAM excedendo o valor mínimo em mais que 2 por cento podem ser propensas a fragmentar-se e ao afundamento de trilha de roda. A menos que uma experiência comprovada com misturas de alto VAM esteja disponível, misturas com VAM maior que 2 por cento acima do mínimo, devem ser evitadas.

7.3. O projeto de MAQ, quando compactado de acordo com a T 312, em  $7,0 \pm 0,5$  por cento de vazios e testada de acordo com a T 283, deverá ter uma resistência à tração retida de 0,80.

---

## APÊNDICE

(Informação Não Mandatória)

---

### 8. PROCEDIMENTOS PARA DESENVOLVER UM GRÁFICO DE MISTURA

8.1. Combinação de ligantes de PAR podem ser conseguidas conhecendo-se o teor final (temperatura crítica) desejado do ligante combinado, as propriedades físicas (e temperaturas críticas) do ligante recuperado do PAR e ambas as propriedades físicas (e temperaturas críticas) do ligante Asfáltico virgem ou a porcentagem desejada de PAR na mistura.

8.2. Determine as propriedades físicas e temperaturas críticas do ligante do PAR.

8.2.1. Recupere o ligante do PAR utilizando a T-319 (Nota 10) com um solvente apropriado.

Ao menos 50 g do ligante recuperado do PAR são necessários para os ensaios. Faça ensaios de classificação de ligante utilizando os ensaios descritos na M 320. Ensaios de

Viscosidade com o Viscosímetro Rotacional, de ponto de fulgor e de perda de massa, não são necessários.

**Nota 10** – Enquanto a T 319 é o método preferido, com a aprovação da Agência, a T 170 pode ser utilizada. A pesquisa conduzida durante o 9-12 NCHRP indica que a T 170 pode afetar as propriedades do ligante recuperado.

8.2.2. Conduza o ensaio de Cisalhamento (DSR) Dinâmico original, no ligante recuperado do PAR para determinar a maior temperatura crítica,  $T_c$  (Alta), com base nos valores originais do DSR onde  $G^*/\text{seno}\delta=1,00$  kPa. Calcule a temperatura alta crítica, como a seguir.

8.2.2.1. Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir.

$$\alpha = \Delta \log(G^*/\text{seno}\delta) / \Delta T \quad (8.1)$$

8.2.2.2. Determine o  $T_c$  (Alta), com uma aproximação de  $0,1^\circ\text{C}$ , usando a seguinte equação:

$$T_c(\text{Alta}) = \left( \frac{\text{Log}(1,00) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (8.2)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.1.

**Nota 11** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (1,00 kPa), para minimizar erros de interpolação.

8.2.3. Conduza o envelhecimento RTFO (Rolling Thin Film Oven) em Estufa de Filme Fino Rotativo, por oxidação e evaporação, do ligante remanescente.

8.2.4. Execute o ensaio RTFO DSR no ligante recuperado envelhecido por RTFO para determinar a temperatura alta crítica (baseado no RTFO DSR). Calcule a temperatura alta crítica (RTFO DSR).

8.2.5. Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(G^*/\text{seno}\delta) / \Delta T \quad (8.3)$$

8.2.5.1. Determine a  $T_c$  (Alta) baseada no RTFO DSR, com uma aproximação de 0,1°C, usando a seguinte equação:

$$T_c(\text{Alta}) = \left( \frac{\text{Log}(2,20) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (8.4)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.3.

**Nota 12** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (2,20 kPa), para minimizar erros de interpolação.

8.2.6. Determine a temperatura alta crítica do ligante recuperado de PAR como a menor do DSR original e temperaturas críticas do RTFO DSR. Determine o grau de desempenho em temperatura alta do ligante do PAR recuperado baseado nesta alta temperatura crítica.

8.2.7. Execute o ensaio DSR (com o Reômetro de Cisalhamento Dinâmico) de temperatura intermediária no ligante de PAR recuperado e envelhecido pelo RTFO para determinar a temperatura crítica intermediária  $T_c$  (Interm), como se o ligante de PAR fosse envelhecido por PAV (pressure aging vessel-Vaso de Pressão).

8.2.7.1. Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(G^*/\text{seno}\delta)/\Delta T \quad (8.5)$$

8.2.7.2. Determine a  $T_c$  (*Interm*) com uma aproximação de 0,1°C, usando a seguinte equação:

$$T_c(\text{Interm}) = \left( \frac{\text{Log}(5000) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (8.6)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.5.

**Nota 13**– Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser seleccionadas, é recomendável de se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (5000 kPa), para minimizar erros de interpolação.

8.2.8. Execute o ensaio BBR (com o Reômetro de Fluência em Viga) no ligante recuperado de RAP, envelhecido por RTFO, para determinar a temperatura baixa crítica  $T_c(S)$  ou  $T_c(m)$ , baseado nos valores  $S$  (rigidez) e  $M$  do Reômetro de Fluência de Viga (BBR).

8.2.8.1. Determine a inclinação da curva Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(S)/\Delta T \quad (8.7)$$

8.2.8.2. Determine  $T_c(S)$  com uma aproximação de 0,1°C usando a seguinte equação:

$$T_c(S) = \left( \frac{\text{Log}(300) - \text{Log}(S_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (8.8)$$

onde:

$S_1$  = o valor  $S$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.7.

**Nota 14** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $S_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o *valor-S* mais próximo do critério (300 MPa), para minimizar erros de interpolação.

8.2.8.3. Determine a inclinação da curva de Temperatura de valor-m, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \text{valor} - m / \Delta T \quad (8.9)$$

8.2.8.4. Determine  $T_c(m)$  com uma aproximação de 0,1°C usando a seguinte equação:

$$T_c(m) = \left( \frac{0,300 - m_1}{\alpha} \right) + T_1 \quad (8.10)$$

onde:

$m_1$  = o *valor-m* a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.9.

**Nota 15** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e o seu *valor-m* correspondente possam ser selecionados, é recomendável que se use o *valor-m* mais próximo do critério (0,300), para minimizar erros de interpolação.

8.2.8.5. Selecione a maior das 2 (duas) temperaturas baixas críticas,  $T_c(S)$  ou  $T_c(m)$ , para representar a temperatura baixa crítica do ligante asfáltico recuperado,  $T_c$  (Baixo). Determine o grau de desempenho de temperatura baixa do ligante de PAR recuperado baseado nesta única temperatura baixa crítica.

8.2.9. Assim que são conhecidas as propriedades físicas e as temperaturas críticas do ligante de PAR recuperado, prossiga com a combinação de uma porcentagem conhecida de RAP ou um teor conhecido de ligante virgem.

8.3. Combinando com uma porcentagem conhecida de RAP

8.3.1. Se o teor desejado de ligante combinado final, a porcentagem desejada de RAP e as propriedades de ligante de RAP recuperado são conhecidos, então as propriedades exigidas de um teor apropriado de ligante virgem podem ser determinadas.

8.3.1.1. Determine as temperaturas críticas do ligante Asfáltico virgem, em propriedades de alta, intermediária e baixa, utilizando a seguinte equação:

$$T_{virgem} = \frac{T_{combin} - (\%PAR \times T_{PAR})}{(1 - \%PAR)} \quad (8.11)$$

onde:

$T_{virgem}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico virgem (alta, intermediária ou baixa);

$T_{combin}$  = temperatura crítica de ligante asfáltico combinado (final desejada) (alta, intermediária ou baixa);

$\%PAR$  = porcentagem de RAP expressa na forma de um decimal; e

$T_{PAR}$  = temperatura crítica de ligante de RAP recuperado (alta, intermediária ou baixa).

8.3.1.2. Utilizando a Equação X1.11 para as temperaturas críticas alta, intermediária e baixa, respectivamente, as propriedades necessárias do ligante Asfáltico virgem podem ser determinadas.

8.4. Combinando com um ligante virgem conhecido

8.4.1. Se o teor ligante combinado final, o teor de ligante Asfáltico virgem e as propriedades do PAR reciclado forem conhecidas, então a porcentagem permitida de PAR pode ser determinada.

8.4.1.1. Determine a porcentagem de PAR permitida utilizando a seguinte equação:

$$\%PAR = \frac{T_{combin} - T_{virgem}}{T_{PAR} - T_{virgem}} \quad (8.12)$$

onde:

$T_{virgem}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico virgem (alta, intermediária ou baixa);

$T_{combin}$  = temperatura crítica de ligante asfáltico combinado (final desejada) (alta, intermediária ou baixa); e

$T_{PAR}$  = temperatura crítica de ligante de RAP recuperado (alta, intermediária ou baixa).

8.4.1.2. Utilizando a Equação 8.12 para as temperaturas críticas, alta, intermediária e baixa, respectivamente, a porcentagem permitida de RAP, que irá satisfazer todas as temperaturas, pode ser determinada.

## **ME-024 - DEFLEXÕES RECUPERÁVEIS PELA VIGA BENKELMAN**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio, que é uma norma técnica, tem como objetivo a determinação de deflexões recuperáveis em pavimentos rodoviários com aplicação da viga Benkelman, visando ao conhecimento da capacidade estrutural do pavimento. Prescreve como medir e calcular as deflexões, apresenta o esquema da viga, da carga aplicada e o posicionamento dos equipamentos para medição.

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. Padrões DNER

- DNER PRO 175-94 Aferição da viga Benkelman.
- DNER-ME024-87 Determinação das deflexões no pavimento pela viga benkelman.

### **3. TERMINOLOGIA**

3.1. Definições:

- 3.1.1. Viga Benkelman – aparelho destinado a medir deflexões no pavimento.
- 3.1.2. Eixo de carga – eixo do veículo de prova que transmite ao pavimento o peso da carga de ensaio.
- 3.1.3. Trilha Interna e Externa – Faixa do pavimento que suporta normalmente as rodas diretas dos veículos que por ela transitam.

### **4. APARELHAGEM**

4.1. A aparelhagem é constituída do seguinte:

4.2. Viga Benkelman, constituída por um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa, formando dois braços cujos comprimentos “a” e “b” obedecem às relações de 2/1, 3/1 ou 4/1, conforme figura 1 em anexo. A extremidade do braço maior contém a ponta de prova da viga. A extremidade do braço menor aciona o extensômetro com precisão de 0,01mm. Possui um vibrador destinado a evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro e dispõe de uma trava de proteção a ser utilizada na ocasião de transporte.

4.3. Caminhão com 8,2 tf de carga no eixo traseiro, simetricamente distribuída em relação as rodas. Pode ser usada carga diferente por eixo da indicada, quando julgada conveniente. O eixo traseiro é simples e com roda dupla.



4.4. Pneus com dimensões 1000x20 ou 900x20, com 12 lonas, tipo “com câmara” e com frisos na faixa de rodagem, calibrados a pressão de 0,56 MPa (5,6 Kgf/cm<sup>2</sup> ou 80 lb/pol<sup>2</sup>).

4.5. Calibrador para medir a pressão dos pneus.

---

## 5. EXECUÇÃO DO ENSAIO

5.1. A viga para ser executada deve ser previamente aferida, conforme DNER-PRO 175/94 (ver 2.1).

5.2. A locação dos pontos do pavimento em que deve ser medidas as deflexões devem ser convenientemente marcados e estarem a uma distância prefixada da borda do revestimento, de acordo com a tabela a seguir:

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

**Tabela 1** – Localização dos pontos

5.3. Posicionamento do caminhão

- Um dos conjuntos de rodas duplas traseiras do caminhão devem ser centrado sobre o ponto selecionado na trilha de roda a ser medida, conforme indicado no item 5.2. O eixo de carga deve ficar perpendicular ao eixo da pista de rolamento.

5.4. Posicionamento da viga benkelman

5.4.1. A ponta de prova da viga Benkelman deve ser posicionada entre os pneus de roda dupla.

5.4.2. O perfeito posicionamento da viga, na vertical do eixo traseiro, deve ser assegurado por meio de um sistema de referência, conforme figura 2 em anexo.

5.4.3. A trava da viga deve ser liberada.

5.4.4. O pé traseiro deve ser ajustado de modo que o extensômetro fique aproximadamente ao meio do curso.

#### 5.5. Leitura inicial

- Após acionar o vibrador, quando o extensômetro indicar um movimento  $\leq 0,01$  mm/min ou decorridos 3 minutos, faz-se a leitura inicial ( $L_o$ ).

#### 5.6. Leitura final

- O caminhão deve-se deslocar lentamente para a frente, numa distância de no mínimo 10 metros entre o ponto inicial, quando o extensômetro indicar um movimento  $\leq 0,01$  mm/min ou decorridos 3 minutos após o caminhão sair da posição inicial, faz-se a leitura final ( $L_f$ ).

#### 5.7. Raio de curvatura

- Para determinar o raio de curvatura da bacia de deformação, faz-se uma leitura adicional, deslocando o eixo do caminhão 25 cm para a frente da leitura inicial ( $L_o$ ).

#### 5.8. Transporte da viga

- Desligado o vibrador, a parte móvel da viga deve ser travada, para ser transportada para um novo ponto.

---

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Cálculo das deflexões

6.1.1. A deflexão do pavimento no ponto de prova é calculada por meio da fórmula:

$$D_o = (L_o - L_f) a/b$$

Onde:

$D_o$  = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

$L_o$  = leitura inicial, em centésimos de milímetro;

$L_f$  = leitura final, em centésimos de milímetro;

a e b = dimensões da Viga Benkelman; figura 1 em anexo;

6.1.2. Raio de curvatura da bacia de deformação no ponto de prova é calculado por meio da fórmula:

$$R = \frac{6\,250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Onde:

R= raio de curvatura em metros;

D<sub>0</sub> = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

D<sub>25</sub> = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimo de milímetro;

6.1.3. Calcula-se a média das deflexões:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

Onde:

$\bar{x}$  = deflexão média aritmética

$\sum Xi$  = somatória das deflexões

n = quantidade de leituras

6.1.4. Calcula-se o desvio padrão:

$$d = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

d= desvio padrão

$\sum (Xi - \bar{x})^2$  = diferença das deflexões em relação à média aritmética

n = quantidade de leituras

6.1.5. Calcula-se a deflexão característica:

$$D_c = \bar{x} + d$$

Onde:

$D_c$  = deflexão característica

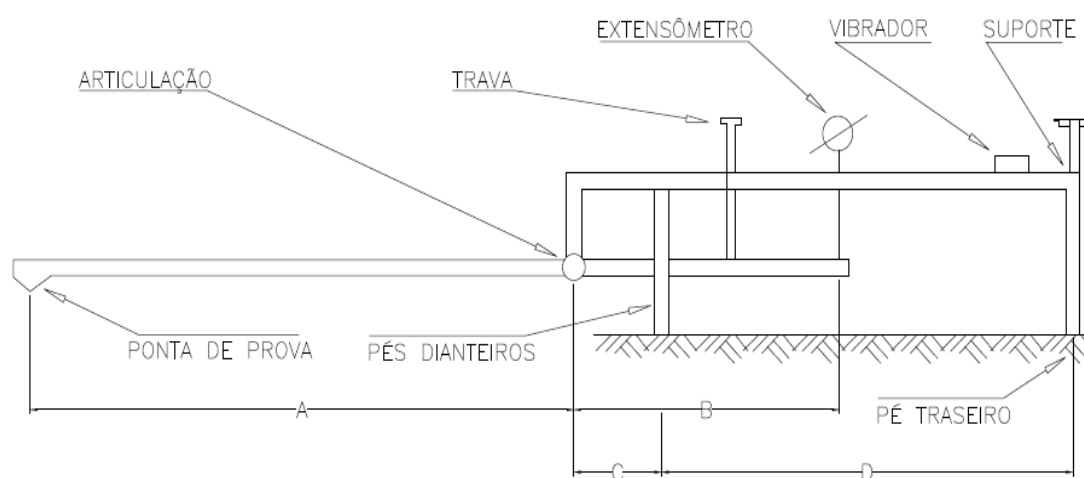
$\bar{x}$  = deflexão média aritmética

$d$  = desvio padrão

6.2. Aceitação do segmento:

6.2.1. O segmento será aceito se a deflexão característica for  $\leq$  deflexão máxima admissível.

6.3. Anexos:



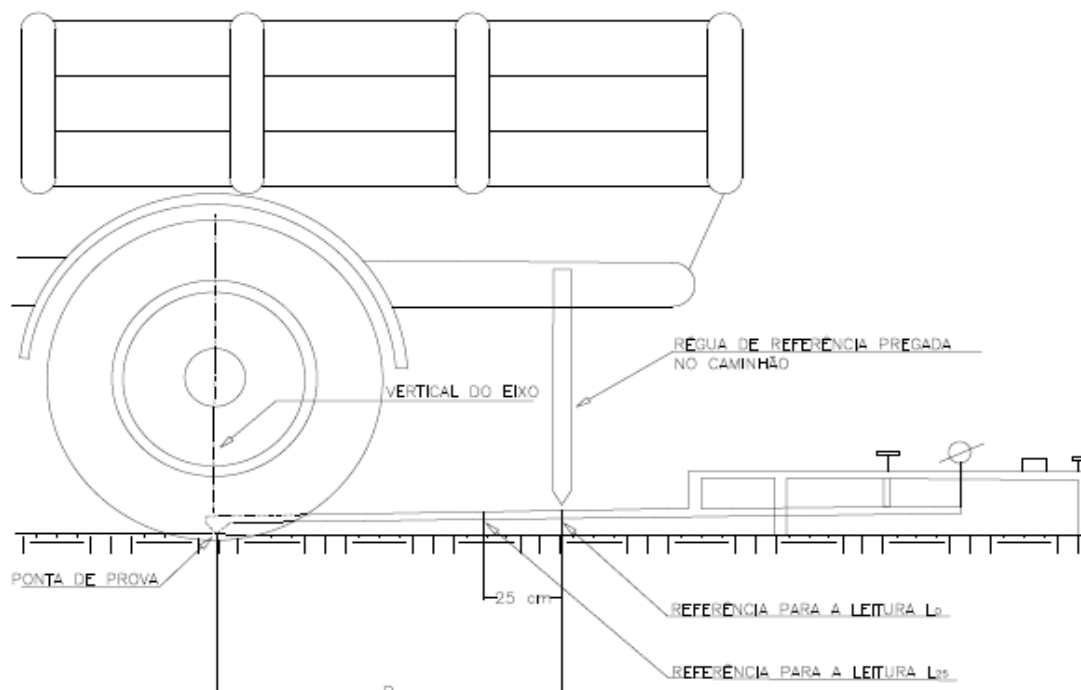
**Figura 1** - Esquema da Viga Benkelman

A= distância entre a articulação e a ponta de prova

B = distância entre o extensômetro e a articulação

C = distância entre a articulação e o pé dianteiros

D = distância entre a articulação e o pé traseiro



**Figura 2 - Eixo Padrão**

D= Distância marcada sobre o braço maior da viga Benkelman de forma que, ao se fazer coincidir a referência para a leitura  $L_0$ , com a ponta da régua de referência, a ponta de prova estará colocada na vertical do eixo do caminhão.

## **ME-9122 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS MÍNIMOS E MÁXIMOS DE SOLOS NÃO- COESIVOS – COMPACIDADE RELATIVA**

---

### **1. ESCOPO**

Esta norma prescreve o método de determinação do índice de mínimos ( $e_{\text{mín.}}$ ) de solos granulares, não coesivos, contendo no máximo 12% (em massa) de material que passa na peneira de 0,075mm. Prescreve, ainda, o método para o cálculo de compactidade relativa correspondente a um determinado índice de vazios do material ensaiado.

Classificação	Compactidade Relativa, (%)
Muito Fofa	0 – 15
Fofa	15 – 50
Média	50 – 70
Compacta	70 – 85
Muito Compacta	85 – 100

Toda camada executada deverá ser ensaiada para atestar se os resultados de campo estão compatíveis com o especificado nesse procedimento.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

As normas aqui relacionadas contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem-se em material de consulta, obrigatória, para o entendimento desta especificação particular.

As edições indicadas estavam em vigor no momento da elaboração deste documento. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que utilizarem esta especificação particular, que verifiquem a conveniência de usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir:

- - ARTERIS-ES-108 – Terraplenagem – Execução de Aterros
- - DNIT-ES 023:2006 – Drenagem – Bueiros Tubulares de Concreto – Especificação de Serviço
- - DNER-ET-DE-H00/004 – Reaterro.
- - ASTM D 4253 – Standard Test Method for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table

---

### 3. APARELHAGEM

O conjunto para na realização do ensaio deve conter o que se segue:

- a) Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- b) Peneiras de 75mm; 38mm; 19mm; 9,5mm; 4,8mm e 0,075mm.
- c) Balanças que permitam pesar nominalmente 40 kg, 10 kg e 1,5 kg, com resoluções de 5 g, 1 g e 0,1 g, respectivamente.
- d) Cilindro de Proctor, com o volume nominal de 1000 cm<sup>3</sup>, soldado à base, de modo que o conjunto resulte estanque. A base do molde deve ser mais espessa que normalmente utilizada no ensaio de compactação, além de ser dotada de dispositivo de fixação à mesa vibratória, da figura 1, do anexo A;
- e) Tubo-guia, constituído por outro cilindro de Proctor solidário ao colarinho;
- f) Sobrecarga de seção circular dotada de alça. A massa total disco-base e sobrecarga deve ser suficiente para aplicação de uma pressão de (13,8 ±0,1) KPa;
- g) Mesa vibratória, do tipo utilizado para realizar o peneiramento de amostras na análise granulométrica.
- h) Outros equipamentos como bandeja metálica, conchas metálicas, pá escova de cerdas macias, cronômetro com indicação de minutos e segundos e paquímetro que possibilite leituras de, no mínimo, 30 mm, com resolução de 0,2 mm.

---

### 4. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS MÍNIMO DE SOLOS NÃO COESIVOS

Os índices de vazios máximo e mínimo de material não coesivo (solos/areias) constituem-se nos parâmetros básicos para avaliação do estado de Compacidade. Para tanto, a Compacidade Relativa fornece uma indicação do estado de compacidade de uma determinada massa de material, seja uma ocorrência natural, seja construída pelo homem. No entanto, as propriedades de engenharia tais como a resistência ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade de um dado material, compactadas por métodos distintos, para um mesmo estado de compacidade, podem variar consideravelmente.

**Método B1** – Usando material seco em estufa e uma mesa vibratória, do tipo utilizado para realizar o peneiramento de amostras na análise granulométrica;

**Método B2** – Usando o material úmido e uma mesa vibratória, do tipo utilizado para realizar o peneiramento de amostras na análise granulométrica.

Recomenda-se a realização do ensaio pelos dois processos (via úmida e via seca estufa), por ocasião de um novo trabalho ou quando houver mudança no tipo de material.

#### 4.1. Método B1- Mesa Vibratória de Peneiramento e Material Seco

- a) Homogeneizar a amostra do solo previamente seca em estufa.
- b) Fixar firmemente o tubo-guia ao molde, tendo-se garantido previamente que as paredes internas destes estão alinhadas.
- c) Com auxílio de uma concha ou funil, encher parcialmente com a amostra do solo o conjunto molde+tubo guia, de forma que, depois de submetido à vibração, haja um excesso de 1 a 2 cm, acima do topo do molde. Golpear a parede externa do molde com uma barra de metal, martelo de borracha ou uma ripa de madeira, visando recalcar o material e assim facilitar o posicionamento da sobrecarga.
- d) Fixar o conjunto à mesa vibratória do tipo utilizado para realizar peneiramento.
- e) Colocar o correspondente disco-base (com um papel-filtro, se necessário) sobre a superfície da amostra do solo e girá-lo levemente algumas vezes, de forma que ele fique firme e uniformemente em contato com a superfície do material.
- f) Assentar a sobrecarga correspondente sobre o disco-base e vibrar o conjunto contendo a amostra durante o tempo previamente determinado, como indicado abaixo.

*A calibração consiste na determinação, minuto a minuto e em condições simuladas de ensaio, da variação da massa específica aparente seca com o tempo de vibração. O tempo de vibração a ser utilizado no ensaio é aquele a partir do qual as variações passam a ser pouco significativas. Para materiais semelhantes, tal calibração pode ser realizada uma única vez.*

- g) Desatarraxar o conjunto da mesa vibratória, remover a sobrecarga, o disco-base e o tubo-guia e rasar o excesso da amostra do solo, com o auxílio de uma régua de aço biselada. Retirar, com uma escova, o material que eventualmente tenha-se depositado na base do molde ou mesmo aderido na sua parede externa.
- h) Determinar e anotar a massa do molde preenchido com a amostra do solo, com resolução de 1 g. Calcular e anotar como  $M_s$ , com resolução de 1g, a massa da amostra do solo contido no molde, por subtração da massa do molde vazio.



i) Repetir as operações dos itens “a” até “h” preferencialmente com amostras ainda não submetidas ao ensaio, de modo a obter pelo menos três (03) valores de massa. Havendo suspeita de que está ocorrendo excessiva quebra de grãos, durante o ensaio, não se deve proceder ao reuso do material.

#### 4.2. Método B2- Mesa Vibratória de Peneiramento e Material Úmido

a) O método úmido pode ser empregado sobre uma amostra previamente seca, à qual se acrescenta água suficiente, ou, se preferível, sobre a amostra na umidade natural. Homogeneizar o material. No caso de acrescentar água ao solo seco, deixá-lo, em seguida, em repouso por um período mínimo de 30 min. A quantidade de água acrescentada deve ser o suficiente para que não se acumule água livre no recipiente e, portanto, a amostra basicamente saturar-se-á somente durante o processo de densificação.

b) Fixar firmemente o tubo-guia ao molde, tendo-se garantido previamente que as paredes internas destes estão alinhadas.

c) Colocar lentamente a amostra do solo no interior do conjunto tubo-guia e molde, usando uma concha. Depois que cada porção de amostra for acrescentada, golpear várias vezes a parede externa do molde com uma barra de metal, martelo de borracha, ou uma ripa de madeira e verificar se uma pequena quantidade de água se acumulou na superfície da amostra. Em caso negativo, adicionar a quantidade suficiente de água para tal, usando uma esponja encharcada, um pequeno recipiente ou outro meio semelhante. Durante e ao final da sequência de golpes na parede, que suceder à colocação da última porção de amostra, a água que aflorar acima da superfície da amostra deve ser removida, evitando-se, contudo, a remoção de material. A quantidade de amostra colocada deve ser suficiente para que, depois de submetido à vibração, haja um excesso de 1 a 2 cm acima do topo do molde.

d) Procede à fixação e colocação do disco-base da sobrecarga, e, a seguir, vibrar o conjunto na mesa vibratória do tipo usando para peneiramento.

e) Desatarraxar o conjunto da mesa vibratória, remover a sobrecarga, o disco-base e o tubo-guia e rasar o excesso da amostra do solo, sendo desejável a obtenção do teor de umidade da amostra do solo, determinar e anotar a massa do molde contendo a amostra.

f) Cuidadosamente, remover toda a amostra úmida do molde para um recipiente de massa conhecida; remover, por lavagem, todas as partículas aderidas no interior do molde e na face interior

do disco-base da sobrecarga, para o recipiente; e proceder à secagem do material, em estufa a 105°C - 110°C, até constância de massa.

- g) Determinar e anotar como  $M_s$  a massa de amostra seca, com resolução de 1 g.
- h) Repetir as operações dos itens “a” até “f” preferencialmente com amostras ainda não submetidas ao ensaio, de modo a obter pelo menos três (03) valores de massa. Havendo suspeita de que está ocorrendo excessiva quebra de grãos, durante o ensaio, não se deve proceder ao reuso do material.

Calcular a massa específica aparente seca da amostra do solo em cada determinação, de acordo com a expressão:

$$Y_s = M_s / V_s$$

Onde:

**$Y_s$**  = massa específica aparente seca da amostra do solo, em g/cm<sup>3</sup>

**$M_s$**  = massa da amostra do solo seca, em g

**$V_s$**  = volume da amostra do solo densificado

**$V_m$**  = volume do molde em cm<sup>3</sup> (Método B)

**$A_m$**  = área da seção transversal do molde, em cm<sup>2</sup>

**$\Delta H$**  = altura útil final do molde não preenchido pela amostra, em cm

Considerar satisfatórios os valores da massa específica aparente seca obtido que não diferirem, da correspondente média, de mais que 1,5% ou 2,5%, respectivamente para areia fina e média ou para outra, dependendo do material que tenha sido ensaiado.

Uma vez obtidos três valores, no mínimo, que atendam ao preconizado, com o valor médio, doravante denominado massa específica aparente seca máxima,  $Y_s$  máx. calcular o índice de vazios mínimo da amostra, de acordo com a expressão:

$$e_{\text{mín.}} = (\delta / Y_{s \text{ máx.}}) - 1$$

$e_{\text{mín.}}$  = índice de vazios mínimo da amostra do solo

$\delta$  = massa específica dos grãos da amostra do solo, g/cm<sup>3</sup>

$Y_{s \text{ máx.}}$  = massa específica aparente seca máxima da amostra do solo, em g/cm<sup>3</sup>

Se o índice de vazios máximo,  $e_{\text{máx.}}$  (ou massa específica aparente seca mínima,  $Y_{s \text{ mín.}}$ ) tiver sido determinado e o índice de vazios do depósito do solo ou aterro,  $e$  (ou massa específica aparente seca,  $Y_s$ ), é conhecido, a compactidade relativa CR, pode ser calculada conforme abaixo em %.

$$CR = \frac{e_{\text{máx.}} - e}{e_{\text{máx.}} - e_{\text{mín.}}} \times 100$$

O índice de vazios mínimo do solo deve ser expresso com aproximação de 0,01.

---

## 5. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS MÁXIMO DE SOLOS NÃO COESIVOS

A obtenção do índice de vazios máximo é necessária à determinação da massa específica aparente seca mínima, os quais correspondem ao estado mais fofo em que um solo não coesivo pode ser colocado, utilizando-se um procedimento laboratorial normalizado que impeça o empolamento e que minimize a segregação de partículas e a densificação do solo.

**Método A** – Usa-se um funil ou concha para colocar o material no molde.

**Método B** – Deposita-se o material dentro do molde pela extração de um tubo preenchido com o solo.

**Tabela 1 – Requisitos granulométricos para aplicação dos métodos**

-	Quantidade de material passante, (% em massa)		Quantidade máxima de material passante, %	Quantidade máxima de material retido, %	
	75	19		38	9,5
Peneira (mm)	75	19	0,075	38	9,5
Método A	100%	-	12%	30%	-
Método B	-	100%	12%	-	10%

**Tabela 2 – Massa necessária de material e aparelhagem a ser utilizada**

Diâmetro máximo dos grãos (mm)	Massa necessária de material seco (kg)	Aparelhagem para colocação do material do molde	Volume do molde a ser usado (cm <sup>3</sup> )
75	30	Pá ou concha metálica grande	14.200
38	30	Concha metálica	14.200
19	6	Concha metálica	2.830
9,5	6	Funil (Ø 2,5 cm)	2.830
4,8 ou menor	6	Funil (Ø 1,3 cm)	2.830

### 5.1. Método A

- a) Homogeneizar a amostra previamente seca.
- b) Se for utilizado o funil 9 (como especificado na tabela 2), colocar o molde, tão fofo quanto possível, vertendo-o através do bico em fluxo constante e mantendo o funil em posição vertical. Ajustar continuamente a altura do bico, de modo que a queda livre do material seja da ordem de 1cm ou apenas o suficiente para assegurar um fluxo contínuo das partículas do solo, sem que o bico entre em contato com o material já depositado. Mover o funil segundo uma trajetória espiralada, da borda para o centro do molde, de forma a resultar camadas com espessuras uniformes. O movimento em espiral deve ser suficientemente lento, de modo a minimizar a segregação das partículas.
- c) Encher o molde até 1 cm a 2 cm acima do topo dele (ou até que todos os pontos da superfície do solo estejam acima do plano da borda do molde).
- d) Rasar o excesso de solo com auxílio da régua de aço biselada. Cuidados devem ser tomados durante as operações de enchimento e rasamento para não sacudir ou vibrar o molde ou mesmo para evitar deformações excessivas da superfície do solo, o que provocaria rearranjo das partículas e recalques na amostra. Passando-se a régua de aço uma vez ou, se necessário, duas vezes, obtêm-se resultados mais reprodutíveis.
- e) Se for utilizado pá ou concha metálica (como especificado na tabela 2), colocar o molde, tão fofo quanto possível, mantendo-se a pá ou concha pouco acima da superfície do solo, de forma que

a deposição não seja efetuada por queda sobre o material já colocado. Se necessário, os grãos maiores devem ser depositados manualmente.

f) Encher o molde até que haja excesso de, no máximo, 2 cm acima do topo do molde. Para solos com diâmetro máximo dos grãos de até 19mm, usar a régua de aço (e os dedos, quando necessário) para nivelar a superfície do solo com o topo do molde. Para solos com maior diâmetro máximo dos grãos, nivelar com os dedos, de modo que o volume emergente dos grãos maiores, em relação ao plano do topo do molde, seja aproximadamente compensado pelo volume de vazios presentes na amostra, imediatamente abaixo deste plano.

g) Determinar e anotar a massa do molde preenchido com solo, com resolução de 5 g ou 1 g, respectivamente, conforme o molde usado tenha sido de 14.200 ou não. Calcular e anotar  $M_s$  a massa que preencheu o molde

h) Repetir as operações acima, reusando a amostra ensaiada, mas sem permitir a absorção de umidade, de modo a obter, pelo menos, três valores de massa.

## 5.2. Método B

a) Homogeneizar a amostra previamente seca.

b) Colocar tubo de parede delgada dentro do molde.

c) Preencher o tubo com a amostra até cerca de 1 cm abaixo do topo, com auxílio de concha ou funil, tomando o cuidado de minimizar a segregação do material durante o enchimento.

d) Sacar o tubo rapidamente, de modo que o solo preencha completamente o molde.

e) Rasar o excesso de solo

f) Com resolução de 1g, calcular e anotar  $M_s$  a massa do solo que preencheu o molde.

g) Repetir as operações acima, reusando a amostra ensaiada, mas sem permitir a absorção de umidade, de modo a obter, pelo menos, três valores de massa.

Calcular a massa específica aparente seca da amostra em cada determinação de acordo com a expressão abaixo.

$$Y_s = M_s / V_m$$

$Y_s$  = massa específica aparente seca da amostra do solo, em g/cm<sup>3</sup>

**Ms** = massa da amostra do solo seca que preencheu o molde, em g

**Vm** = volume do molde, cm<sup>3</sup>

Considerar satisfatórios os valores da massa específica aparente seca obtidos que não diferirem da média de mais que 1,5 % ou 2,5 %, respectivamente, conforme o material ensaiado tenha sido uma areia fina à média ou não.

Uma vez obtido três valores no mínimo que atendam ao preconizado, com o valor médio, doravante denominado massa específica aparente seca mínima,  $Y_s$  mín., calcular o índice de vazios máximo da amostra, de acordo com a expressão:

$$e_{\text{máx.}} = (\delta / Y_s \text{ mín.}) - 1$$

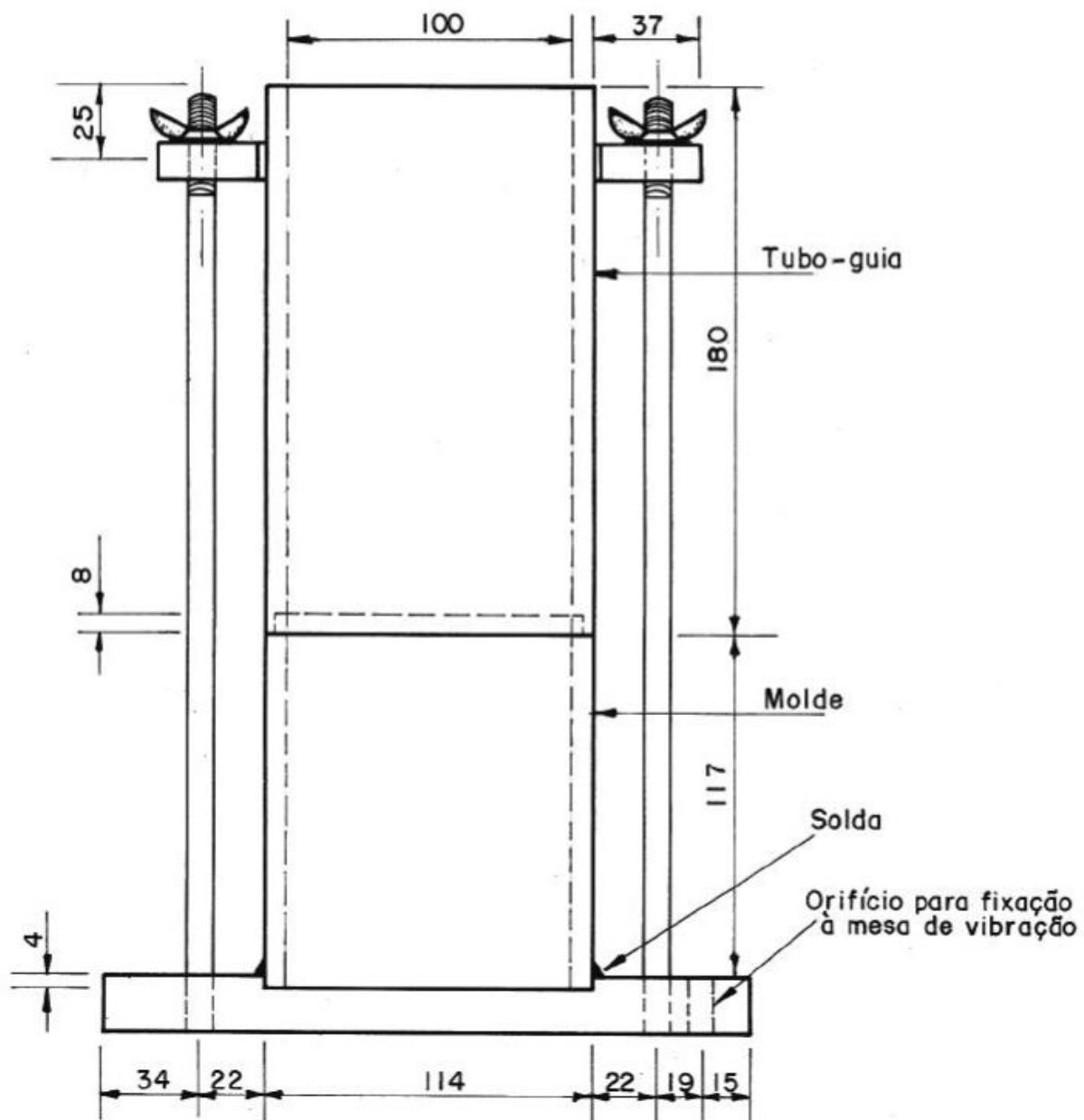
$e_{\text{máx.}}$  = índice de vazios máximo da amostra do solo

$\delta$  = massa específica dos grãos da amostra do solo, g/cm<sup>3</sup>

$Y_s \text{ máx.}$  = massa específica aparente seca mínima da amostra do solo, em g/cm<sup>3</sup>

O índice de vazios mínimo do solo deve ser expresso com aproximação de 0,01.

6. Anexo A



## **R-47 - REDUÇÃO DE AMOSTRAS DE MISTURA ASFÁLTICA PARA O TAMANHO DE ENSAIO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio descreve meios para redução de amostras grandes de misturas asfálticas para o tamanho apropriado para realização de ensaios, empregando técnicas destinadas a minimizar variações em características medidas entre amostras de ensaio reduzidas e a original (grande).

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- AASHTO R 97 – Sampling Asphalt Mixtures

---

### **3. TERMINOLOGIA**

3.1. mástique – uma mistura de ligante asfáltico e material mineral fino.

---

### **4. SIGNIFICADO E USO**

4.1. Especificações para misturas asfálticas requerem amostragem de porções de material para ensaio. Outros fatores sendo iguais, amostras maiores tenderão a ser mais representativas do suprimento total. Este método fornece procedimentos para redução da amostra maior obtida no campo ou produzida em laboratório para um tamanho conveniente para a condução de vários ensaios para descrever o material e medir sua qualidade, de maneira que a amostra menor seja provavelmente uma representação fiel da amostra maior, e assim, do suprimento total. Os métodos de ensaio individuais estabelecem uma quantidade mínima de material necessária.

---

### **5. SELEÇÃO DE MÉTODO**

5.1. A seleção de um método em particular para reduzir a amostra maior para o tamanho de ensaio depende da quantidade de material compondo a amostra maior. É possível que, para uma



grande quantidade de material, um repartidor mecânico seja empregado para diminuir o esforço e o tempo necessário para redução além de minimizar a perda de temperatura. De qualquer forma, o método do quarteamento pode ser usado, tomando os cuidados descritos neste documento.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. Obtenha amostras de misturas asfálticas de acordo com a R 97 ou como necessário para os métodos de ensaio individuais. Quando ensaios adicionais serão conduzidos, assegure que o tamanho inicial da amostra de campo é adequado para completar todos os ensaios desejados. Use procedimentos similares para misturas asfálticas produzidas em laboratório.

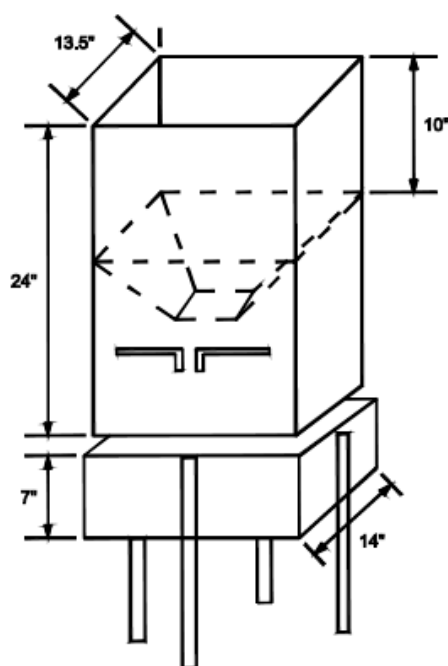
---

## MÉTODO COM REPARTIDOR MECÂNICO

### 7. EQUIPAMENTOS

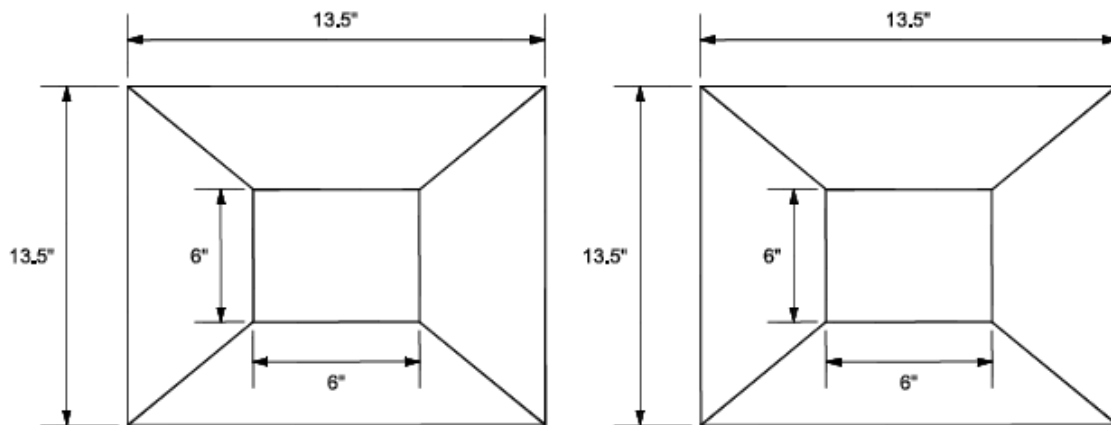
7.1. Repartidor Mecânico Tipo A – O repartidor deve ter quatro rampas de largura igual que descarregam o material em quatro recipientes de tamanho adequado. O repartidor deve ter um funil de recepção que irá segurar a amostra de campo até que uma alça libere o material a cair por um divisor e distribua em quatro porções iguais. O repartidor deve ser apropriado para permitir o fluxo livre e suave através do divisor, sem restrições ou perda de material (Veja as Figuras 1 a 3).

**Figura 1** – Repartidor Mecânico do Tipo A



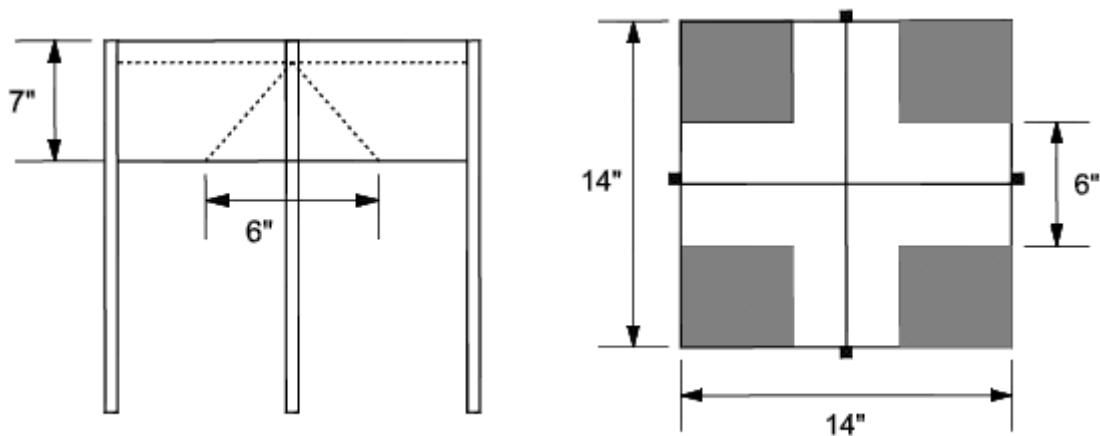
Medidas equivalentes	
pol.	mm
7	178
10	254
13.5	343
14	356
24	610

**Figura 2 – Visão Plana por cima do Repartidor**



Medidas equivalentes	
pol.	mm
6	152
13.5	343

**Figura 3 – Elevação e Visão Plana da Porção Inferior do Repartidor**

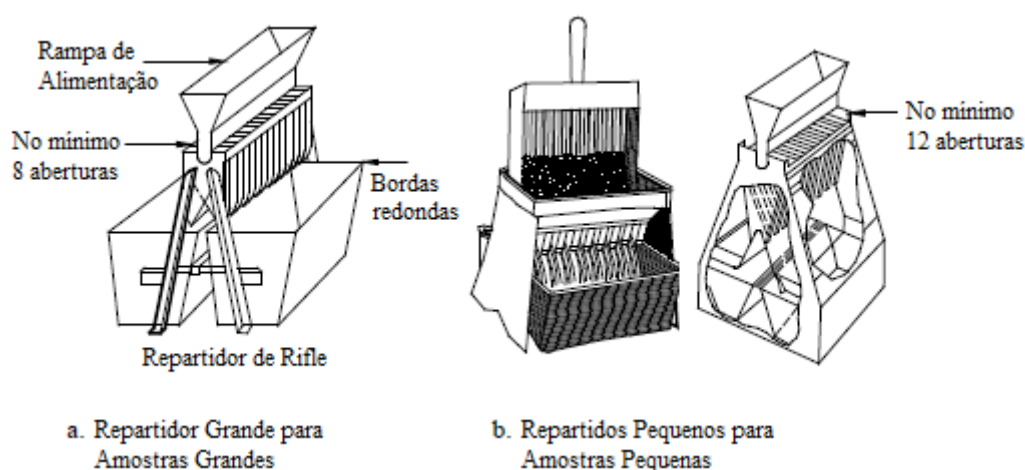


**a. Elevação e Visão da Porção Inferior do Repartidor    b. Visão Plana da Porção Inferior do Repartidor**

Medidas equivalentes	
pol.	mm
6	152
7	178
14	356

7.2. Repartidor Mecânico Tipo B – Este repartidor deve ter um número par de rampas de largura igual (não menos do que um total de oito para um Repartidor Grande e não menos do que 12 para um Repartidor Pequeno), que descarreguem alternativamente para cada lado do repartidor. A largura mínima da rampa individual deve ser aproximadamente 50 por cento maior que a maior particular a ser separada. O repartidor deve ser equipado com dois receptáculos para pegar as duas metades da amostra passando pelo repartidor. Também deve ser equipado com um funil ou bandeja de bordas retas e de largura igual ou levemente menor do que a largura total do conjunto de rampas, o qual alimentará o repartidor com a amostra a uma taxa controlada. O repartidor e seus acessórios devem ser feitos para permitir o fluxo livre e suave através do divisor, sem restrições ou perda de material (Veja a Figura 4).

**Figura 4 – Repartidor Mecânico do Tipo B**



**Nota 1** – Repartidores mecânicos do Tipo B são comumente disponíveis em tamanhos adequados para misturas asfálticas tendo um tamanho máximo de agregado não maior do que 25,4 mm (1 pol.) Use versão parecidas para tamanhos maiores.

7.3. Dispositivo de temperatura sem contato (opcional) – Um dispositivo de temperatura sem contato, adequado para determinação da temperatura de um repartidor aquecido.

7.4. Agente antiaderente – Não deve conter nenhum solvente ou produtos à base de petróleo que pode afetar as propriedades do ligante asfáltico.

---

## **8. PROCEDIMENTO PARA MÉTODO COM REPARTIDOR MECÂNICO**

8.1. Coloque o repartidor em uma superfície nivelada. O repartidor e seus acessórios podem ser aquecidos, sem exceder a temperatura máxima de mistura para misturas asfálticas, determinada por um dispositivo de temperatura sem contato. As superfícies do repartidor que podem entrar em contato com a mistura asfáltica devem ser levemente revestidas com um agente antiaderente aprovado para prevenir acúmulo e perda de ligante asfáltico e material fino. O agente antiaderente não deve conter nenhum solvente ou produtos à base de petróleo que pode afetar as propriedades do ligante asfáltico.

8.2. Repartidor Mecânico do Tipo A – Coloque a mistura asfáltica produzida em laboratório ou de campo no funil do repartidor mecânico, e posicione os quatro receptáculos para receber as porções reduzidas da amostra original. Preencha o funil de maneira que evite a segregação da mistura asfáltica, geralmente derramando de forma contínua e segmentada em múltiplas direções pelo funil. Solte a alça para liberar a mistura asfáltica pelos divisores e para os receptáculos. Reintroduza receptáculos selecionados de cantos opostos dentro do funil do repartidor quantas vezes forem necessárias para reduções futuras de amostras de misturas asfálticas para o tamanho especificado pelo ensaio desejado.

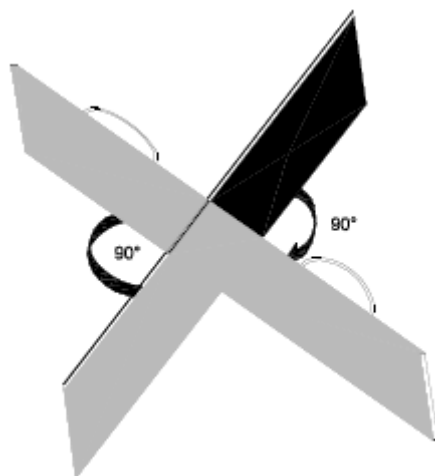
8.3. Repartidor Mecânico do Tipo B - Coloque a mistura asfáltica produzida em laboratório ou de campo no funil do repartidor mecânico, e uniformemente distribua a amostra de borda a borda para que quando for introduzida nas rampas, quantidades aproximadamente iguais fluam pelas rampas e para os receptáculos embaixo. A amostra inteira pode ser misturada por uso repetido do repartidor mecânico. Reintroduza receptáculos selecionados de cantos opostos dentro do funil do repartidor quantas vezes forem necessárias para reduções futuras de amostras de misturas asfálticas para o tamanho especificado pelo ensaio desejado. A porção de ensaio do material coletado no outro receptáculo pode ser reservada para redução em tamanho para outros ensaios.

---

## MÉTODO DE DIVISÃO EM QUATRO - QUARTEAMENTO

### 9. EQUIPAMENTOS

9.1. Molde para quarteamento – Um molde para divisão em quatro fabricado com um metal adequado que suporte calor e uso sem deformação é recomendado. O molde deve ser configurado em forma de cruz com lados de comprimento igual, suficiente para ser 1,1 vezes o diâmetro de um cone achatado da amostra de mistura asfáltica a ser dividido em quatro. A altura dos lados deve ser suficiente para estender acima da espessura do cone achatado da amostra de mistura asfáltica a ser dividido em quatro. Os lados devem formar um ângulo de 90° em sua junta. (Veja a Figura 5).



9.2. Colher de fundo plano – Uma colher grande, de bordas retas e fundo plano deve ser usada para amostrar a mistura asfáltica. Uma pá quadrada ou espátula irá atender este requisito.

9.3. Espátula reta – uma espátula grande ou espátula metálica.

9.4. Papel antiaderente.

9.5. Agente antiaderente – Não deve conter nenhum solvente ou produtos à base de petróleo que pode afetar as propriedades do ligante asfáltico.

---

## 10. PROCEDIMENTO PARA MÉTODO DE DIVISÃO EM QUATRO

10.1. Coloque a amostra original em uma superfície rígida, nivelada, limpa e não aderente onde não haverá perda de material ou adição acidental de material estranho. Pode-se tornar a superfície em antiaderente pela aplicação de um agente antiaderente aprovado ou papel antiaderente. Também pode-se tornar a superfície em antiaderente através do aquecimento da superfície plana em que a amostra será posicionada, sendo este o procedimento recomendado. As outras

ferramentas também podem ser aquecidas, mas não excedendo a temperatura máxima de mistura das misturas asfálticas.

10.2. Misture o material completamente virando a amostra inteira no mínimo quatro vezes com uma colher de fundo plano ou alternativamente levantando uma ponta em direção à ponta oposta, fazendo o material rolar. Forme uma pilha cônica com uma amostra depositando levas individuais por cima da última leva. Cuidadosamente achate a pilha cônica para uma espessura e diâmetro uniforme pressionando para baixo o pico da pilha com uma pá ou espátula. O diâmetro deve ser aproximadamente quatro a oito vezes a espessura. Faça uma observação visual para assegurar que o material está homogêneo.

10.3. Divida a pilha cônica achatada em quatro partes, inserindo o molde de divisão e pressionando para baixo até que o molde esteja completamente em contato com a superfície a qual a amostra está colocada.

10.4. Remova os dois quartis diagonalmente opostos, incluindo todo o material fino. Remova o molde de divisão. Sucessivamente misture e divida em quatro até que a amostra seja reduzida para o tamanho desejado. Se houver aderência de algum material nos equipamentos de divisão (colheres, pás ou quarteador), este material deve ser devolvido ao quartil original:

---

## **MÉTODO DE INCREMENTO**

### **11. EQUIPAMENTOS**

11.1. Colher de fundo plano - Uma colher grande, de bordas retas e fundo plano deve ser usada para amostrar a mistura asfáltica. Uma pá quadrada ou espátula atenderá este requisito.

11.2. Papel antiaderente.

11.3. Espátulas maiores, espátulas metálicas ou uma espátula para drywall de 305 mm (12 pol.)

11.4. Equipamentos Variados – Incluindo uma placa quente; luvas resistentes ao calor, sem amianto; bandejas; baldes; e canecos.

---

### **12. PROCEDIMENTO PARA MÉTODO DE INCREMENTO**

12.1. Coloque a amostra original em uma superfície rígida, nivelada, limpa e não aderente onde não haverá perda de material ou adição acidental de material estranho. A superfície deve ser coberta com papel antiaderente pesado. O molde e outras ferramentas podem ser aquecidos, mas não excedendo a temperatura máxima de mistura de misturas asfálticas.

12.2. Misture o material completamente virando a amostra inteira no mínimo quatro vezes com uma colher de fundo plano ou alternativamente levantando uma ponta em direção à ponta oposta, fazendo o material rolar. Forme uma pilha cônica com uma amostra depositando levas individuais por cima da última leva. Cuidadosamente deixe a plana a pilha cônica para uma espessura e diâmetro uniforme pressionando para baixo o pico da pilha com uma pá ou espátula para que cada quartil da pilha resultante contenha o material originalmente nele. O diâmetro deve ser aproximadamente quatro a oito vezes a grossura. Faça uma observação visual para assegurar que o material está homogêneo.

12.3. Pegue o papel; enrole o material para rolo cilíndrico, deixe o topo plano.

12.4. Puxe o papel para que pelo menos um quarto do comprimento do rolo esteja fora da borda do balcão. Permita o material a cair em um recipiente. Alternativamente, use uma espátula para fatiar aproximadamente um quarto do comprimento do rolo e colocá-lo em uma bandeja ou recipiente para amostra.

12.5. Repita a Seção 12.1 o quanto for necessário até que o tamanho apropriado tenha sido obtido (Nota 2). Repita as Seções 12.4 e 12.5 até que todas as amostras para ensaio tenham sido obtidas. A qualquer momento enquanto obtendo as amostras de ensaio, pode ser necessário enrolar novamente o material como descrito na Seção 12.2 e 12.3.

**Nota 2** – Quando reduzindo a amostra para o tamanho de ensaio, é recomendado tomar diversos incrementos pequenos, determinando a massa cada vez até que o tamanho mínimo seja alcançado. A não ser que o tamanho da amostra esteja com muito excesso do mínimo ou exceda o tamanho máximo de ensaio, use a amostra reduzida para o ensaio.

---

### **13. PALAVRAS-CHAVE**

13.1. Mistura asfáltica; método de incremento; redução de amostra; repartidor de amostra; amostragem; quarteamento.

## **T-001 - PORCENTAGEM DE ÓXIDO DE CÁLCIO (CAO) EM CAL HIDRATADA**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém um método para determinar a porcentagem de óxido de cálcio em cal hidratada. Descreve a aparelhagem, os procedimentos para execução do ensaio e a fórmula para obtenção do resultado.

---

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. Esta norma decorreu da necessidade de se obter o teor de óxido de cálcio em cal hidratada.

---

### **3. REFERÊNCIAS**

3.1. Para elaboração desta norma devem ser consultados os seguintes documentos:

- NBR 7175 – Cal hidratada para argamassa.
  - NBR 11619 – Vidraria de laboratório – vocabulário – aparelhos para operações básicas.
- 

### **4. APARELHAGEM**

- Copo de Becker de 300ml.
  - Funil analítico haste curta.
  - Papel filtro faixa preta com diâmetro de 12,5cm.
  - Balão volumétrico de 200ml.
  - Pipeta volumétrica de 20ml.
  - Bureta de 25ml.
  - Erlenmeyer de 250ml.
  - Proveta graduada de 10ml.
- 

### **5. REAGENTES**

- Ácido Clorídrico a 10%.
- Hidróxido de Potássio
- Cianeto de Potássio
- Trietanolamina
- EDTA a 0,05M padronizado
- Indicador Calconcarboxílico



- Ácido Ascórbico (vitamina C)

---

## 6. PREPARO DAS SOLUÇÕES

### 6.1. Solução de Hidróxido de Potássio KOH a 8N

#### 6.1.1. Cálculo do Eq (Equivalentente-grama)

$$Eq = \frac{M}{K} \quad M = \text{Massa Molar} \quad K = \text{N}^\circ \text{ de OH}^- = 1 \quad \text{logo : } Eq = M$$

#### 6.1.2. Cálculo da massa “m<sub>c</sub>” de KOH para solução de KOH a 8N, para KOH com 100% de pureza, para uma solução de 100ml de volume (0,1 litro)

$$N = \frac{m}{Eq \times V} = N = \frac{m}{M \times V} \quad m = N \times M \times V \quad m = 0,8M$$

onde:

m = Massa do soluto (g)

N = Normalidade = 8

M = Massa Molar = Equivalentente-grama

V = Volume (0,1 litros)

#### 6.1.3. Correção da massa para KOH com P% de pureza:

$$m_c = \frac{m \times 100}{P\%}$$

onde:

m<sub>c</sub> = Massa corrigida (g)

Dissolver “m<sub>c</sub>” de Hidróxido de Potássio em 100 ml (0,1 litros) de água destilada.

**Nota 1** - A massa molar (M) e a pureza (P%) são indicados na embalagem do produto (ver apêndice).

6.2. Reagente Mascarante – (Cianeto de Potássio e Trietanolamina).

6.2.1. Dissolver 10g de Cianeto de Potássio junto com 10g de Trietanolamina em água destilada e completar o volume de 100ml (0,1litro).

---

## 7. PROCEDIMENTO DO ENSAIO

7.1. Pese 1000mg (1,0g) de cal hidratada com precisão de 0,001g em um Bécher de 300ml.

7.2. Adicione 20ml de água destilada.

7.3. Adicione 20ml de ácido clorídrico a 10%, em porções de 5ml de modo a não provocar efervescência violenta.

7.4. Aqueça durante 5 minutos em ebulição.

7.5. Filtre sobre um balão de 200ml.

7.6. Lave com água destilada o Becker e o funil sobre o balão várias vezes.

7.7. Retire o funil e complete com água destilada o volume de 200ml.

7.8. Retire uma alíquota de 20ml desta solução.

7.9. Adicione 80ml de água destilada.

7.10. Adicione 5 ml de solução de hidróxido de potássio a 8N.

7.11. Adicione 5 ml de reagente mascarante.

7.12. Adicione uma pitada de ácido ascórbico.

7.13. Adicione uma pitada de indicador calconcarboxílico.

7.14. Titule imediatamente com solução de EDTA 0,05M até que a cor da solução mude de púrpura vermelha para azul.

---

## 8. CÁLCULO DO TEOR DE ÓXIDO DE CÁLCIO (CaO)

$$\%Ca = 100 \frac{VFMAVs}{CVa} \quad \text{e} \quad \%CaO = 100 \frac{VFMBVs}{CVa}$$

Onde:

%Ca= Porcentagem de cálcio na amostra de cal.

%CaO= Porcentagem de óxido de cálcio na amostra de cal.

V= Volume de EDTA gasto na titulação.

F= Fator da solução de EDTA.

M= Molaridade do EDTA (0,05M).

A= Peso atômico do cálcio (40,08 g/M).

B= Peso atômico do óxido de cálcio (56,08 g/M).

Vs=Volume da solução no balão (200ml).

Va= Volume da alíquota retirada (20ml).

C= Peso da amostra de cal (em mg).

---

## 9. RELATÓRIO

No relatório deve constar:

- A contratada responsável pela utilização da cal;
- A usina onde será utilizada a cal;
- A marca e procedência da cal;
- A data da amostragem e do ensaio;
- A porcentagem de óxido de cálcio % Cão).

---

## 10. APENDICE

10.1. Exemplo de cálculo de “mc” para massa molar “M” = 56,11 e KOH com 85% de pureza:

Não Mandatário

$$m = 0,8M$$

$$m = 0,8 \times 56,11 \quad m = 44,9g$$

$$m_C = \frac{44,9 \times 100}{85} \quad m_C = 52,8g$$

Dissolver 52,8g de Hidróxido de Potássio em 100 ml de água destilada.

## **T-003 - RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS**

---

### **1. RESUMO**

- 1.1. Este método estabelece a preparação de corpos de prova e medições de resistência à tração por compressão diametral (tensão indireta), de misturas asfálticas compactadas.
- 1.2. Os valores informados em unidades do sistema métrico internacional deverão ser usados como padrão.
- 1.3. Esta Norma não entra no âmbito da periculosidade dos materiais, operações e equipamentos nela relacionados. É da responsabilidade de seus usuários estabelecer antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar os limites aplicáveis ao seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS CONSULTADOS**

- 2.1. NORMAS ARTERIS:
  - ARTERIS ET 001 - Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ).
  - ARTERIS ET-003 - Especificação Técnica para Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas e Agregados em Caminhões e Pilhas de Estocagem.
  - ARTERIS ET 005 - Especificação Técnica para Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas na Pista (Atrás da Acabadora).
  - ARTERIS ET-30 - Condicionamento de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ).
  - AASHTO T 167 - Compressive Strength of Bituminous Mixtures

---

### **3. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

- 3.1. Este método pode ser usado para testar a Resistência à Tração por Compressão Diametral (tensão indireta) de:
  - 3.1.1. Misturas asfálticas em teste para projeto de misturas asfálticas (misturado em laboratório, compactado em laboratório);
  - 3.1.2. Misturas asfálticas produzidas em usinas de asfalto (misturado em campo, compactado em laboratório) e

- 3.1.3. Corpos de prova extraídos de pavimento de qualquer idade (misturado em campo, compactado em campo).

---

#### **4. SUMÁRIO DO MÉTODO**

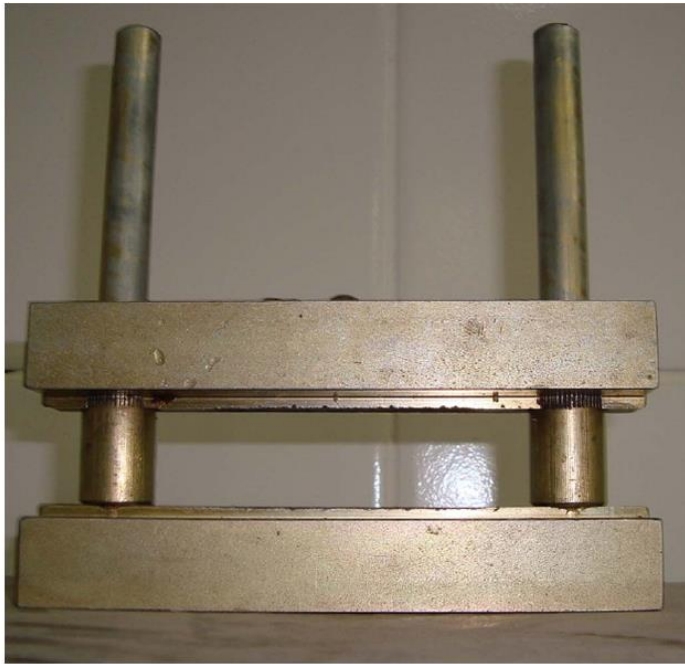
- 4.1. São preparados corpos de prova de mistura, e testado a 25°C em condição seca em resistência à tração indireta.

**Nota 1** – Se for necessário medir a compactação (% de vazios), utilize o método T 269 antes de testar os corpos de prova.

---

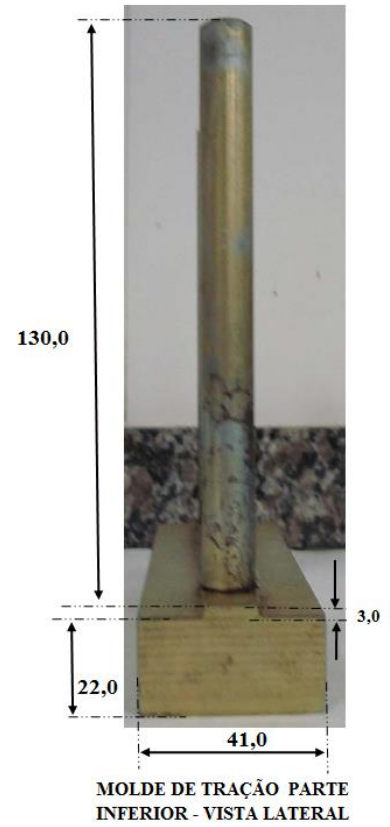
#### **5. EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO**

- 5.1. Equipamento para preparação e compactação de corpos de prova da Especificação Técnica para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) - Designação ARTERIS ET 001.
- 5.2. Banho Maria ou incubadora capaz de manter a temperatura em  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- 5.3. Filme plástico para envolver o material; saco plástico para as amostras: de alta resistência, impermeável e fita adesiva.
- 5.4. Prensa para rompimento de corpos de prova com anel dinamométrico ou célula de carga da ARTERIS ET 001, ou uma máquina para ensaios mecânicos ou hidráulicos, da T 167, para o controle acurado da deformação vertical, inclusive para velocidade de rompimento controlada de 50 mm por minuto.
- 5.5. Molde de tração de aço, com lâminas de aço de superfície côncava e raio de curvatura igual ao raio nominal dos corpos de prova. (Figura 1);



MOLDE DE TRAÇÃO

Figura 1



MOLDE DE TRAÇÃO PARTE INFERIOR - VISTA LATERAL

Figura 1a



MOLDE DE TRAÇÃO - VISTA SUPERIOR

Figura 1b

CORDA DO FRISO = 12,7 e RAIOS = 50,8

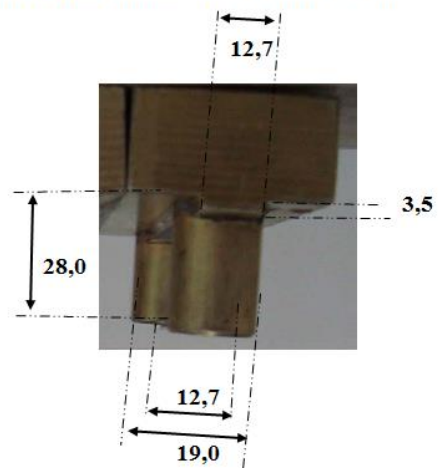


Figura 1c

---

## **6. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS e COMPACTADOS NO LABORATÓRIO**

- 6.1. São usualmente usados corpos de prova de 100mm (4") de diâmetro por 63,5mm  $\pm$ 2,5mm (2.5"  $\pm$ 0.1") de espessura.
- 6.2. Prepare a mistura em quantidade suficiente para 1 (um) corpo de prova de cada vez, de acordo com a ARTERIS ET-001.
- 6.3. Depois de misturadas e antes de compactar, coloque as bandejas em uma estufa, por 2 horas  $\pm$ 10min, à temperatura de compactação  $\pm$  3°C de acordo com a ARTERIS ET 30.
- 6.4. Compacte os corpos de prova de acordo com a ARTERIS ET-001.

---

## **7. PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM AMOSTRAS USINADAS E COMPACTADAS EM LABORATÓRIO**

- 7.1. São usualmente usados corpos de prova de 100mm (4") de diâmetro por 63,5mm  $\pm$ 2,5mm (2.5"  $\pm$ 0.1") de espessura.
- 7.2. Misturas preparadas em campo deverão ser amostradas de acordo com a ARTERIS ET 003 ou ARTERIS ET-005, conforme o caso.
- 7.3. Após a amostragem, coloque a mistura em uma estufa até que atinja temperatura de compactação  $\pm$  3°C.
- 7.4. Compacte os corpos de prova de acordo com a ARTERIS ET-001.

---

## **8. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS E COMPACTADOS EM CAMPO (EXTRAÍDOS DA PISTA)**

- 8.1. Selecione locais para amostragem no pavimento terminado, e obtenha as amostras. Quando são testadas camadas do pavimento, com espessura menor ou igual a 63,5mm use corpos de prova de 100mm de diâmetro. Caso contrário, use diâmetros de 100 ou 150mm. O número de amostras deverá ser de ao menos 3 (três) para cada tipo de mistura.
- 8.2. Separe as camadas dos corpos de prova como necessário, serrando ou de outra forma cabível, e armazene os corpos de prova a serem testados, em temperatura ambiente ou estufa a 50°C até constância de peso (estejam secos).

---

## **9. ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA**

- 9.1. Determine e registre a Espessura (t) de cada corpo de prova.
- 9.2. Registre o Diâmetro (D) de cada corpo de prova.

9.3. Os corpos de prova deverão ser mantidos em temperatura ambiente e deverão ser colocados em sacos plásticos reforçados e impermeáveis e colocados num banho-maria ou incubadora a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , por, no mínimo,  $2\text{hrs} \pm 10\text{min}$ .

9.4. Determine a resistência à tração indireta a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

9.5. Retire o corpo de prova do banho-maria ou incubadora a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Coloque o corpo de prova entre as lâminas de aço do molde tração (Figura 1) e posicione o molde de tração com o corpo de prova cuidadosamente entre os 2 pratos da prensa. O posicionamento deverá ser cuidadoso para garantir que a carga aplicada seja igual por todo o diâmetro do corpo de prova. Aplique a carga no corpo de prova através de um movimento constante da prensa, de 50 mm por minuto.

**Nota 2** – O tempo entre a retirada do corpo de prova banho-maria ou incubadora e o final do rompimento não deve exceder a 5 minutos.

9.6. Anote a carga máxima registrada pela prensa

---

## 10. CÁLCULOS

10.1. Calcule a resistência à tração de cada corpo de prova como indicado abaixo:

Sistema Internacional:

$$St = \frac{2P}{\pi tD}$$

Onde:

$St$  = Resistência à tração (daPa)

$P$  = Carga máxima (daN)

$t$  = Espessura do corpo de prova (mm)

$D$  = diâmetro do corpo de prova (mm)

---

## 11. RELATÓRIO

11.1. Registre no Relatório de Ensaio:

(a) – As Cargas Máximas de Ruptura;



(b) - A Resistência à Tração de cada amostra;

(c) - A Resistência à Tração média;

(d) - A Temperatura de Rompimento;

(e) – As Espessuras dos corpos de prova; e

(f) – Os Diâmetros dos corpos de prova.

## **T-004 - RESISTÊNCIA A DANOS POR UMIDADE INDUZIDA DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS COMPACTADAS**

---

### **1. RESUMO**

1.1. Este método estabelece a preparação de corpos de prova e medições de alterações na Resistência a Tração por Compressão Diametral, resultantes dos efeitos de saturação e condicionamento acelerado à água, de misturas asfálticas recicladas compactadas. Os resultados podem ser usados para prever a susceptibilidade ao descolamento de película a longo prazo, de misturas asfálticas recicladas e avaliar aditivos líquido melhoradores de adesividade que são adicionados ao ligante asfáltico ou aos sólidos em pó, tais como cal hidratada ou cimento Portland, acrescentados ao material reciclado.

1.2. Os valores informados em unidades do sistema métrico internacional deverão ser usados como padrão.

1.3. Esta Norma não entra no âmbito da periculosidade dos materiais, operações e equipamentos nela relacionados. É da responsabilidade de seus usuários estabelecer antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar os limites aplicáveis ao seu uso.

1.4. Esta norma derivou da ARTERIS T-283 - Resistência a Danos por Umidade Induzida de Misturas Asfálticas Compactadas.

---

### **2. DOCUMENTOS CONSULTADOS**

#### **2.1. NORMAS**

- ARTERIS ET-001 - Especificação Técnica Para Projeto de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ).
- ARTERIS T-003-09 Resistência a Tração por Compressão Diametral de Misturas Asfálticas Compactadas.
- ARTERIS ET-007 - Projeto de Misturas Asfálticas Recicladas “In Loco” a Frio (MARF).
- ARTERIS ET-003 - Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas e Agregados em Caminhões e Pilhas de Estocagem.
- ARTERIS ET-005 - Coleta de Amostras de Misturas Asfálticas na Pista (atrás da acabadora).

- ARTERIS T-275 - Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas usando corpos prova parafinados.
- ARTERIS TP-69 - Massa Específica Aparente e Densidade de Misturas Asfálticas Compactadas, usando Selagem Automática a Vácuo.
- ARTERIS T-209 - Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas para Pavimentação.
- ARTERIS T-269 - Percentagem de Vazios de Misturas Asfálticas Densas e Abertas Compactadas.
- ARTERIS T-283 - Resistência de Misturas Asfálticas a Danos de Umidade Induzida.

2.2. Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, quando da consulta desta norma.

---

### **3. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

3.1. Como descrito no escopo, este método tem a intenção de avaliar os efeitos da saturação e condicionamento acelerado à água, de misturas asfálticas recicladas compactadas. Este método pode ser usado para testar:

- Misturas asfálticas em teste para projeto de misturas asfálticas recicladas (misturado em laboratório, compactado em laboratório),
- Misturas asfálticas recicladas in loco ou em usinas (misturado em campo, compactado em laboratório) e
- Corpos de prova extraídos de pavimento de qualquer idade (misturado em campo, compactado em campo).

3.2. Os índices numéricos resultantes das propriedades de Resistência a Tração por Compressão Diametral são obtidos com a comparação das propriedades de corpos de prova submetidos à umidade, com outros corpos de prova testados a seco.

---

### **4. SUMÁRIO DO MÉTODO**

4.1. São preparados corpos de prova de material reciclado com emulsão asfáltica com aditivo ou com material reciclado tratado com cal hidratada. Cada conjunto de corpo de prova é dividido em 2

grupos. Um grupo é testado em condição seca em Resistência a Tração por Compressão Diametral. O outro grupo, antes de ser testado de maneira similar, é submetido à saturação, em vácuo, por água, seguido por submersão em água morna. Os índices numéricos resultantes das propriedades de Resistência a Tração por Compressão Diametral são obtidos pela comparação dos dois grupos: SECO e SATURADO.

---

## **5. EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO**

5.1. Os equipamentos estão relacionados nas normas descritas no item 2.1.

---

## **6. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS e COMPACTADOS NO LABORATÓRIO**

6.1. Faça ao menos 6 (seis) corpos de prova, metade para ser testado seco e a outra metade para ser testado depois de saturação parcial e condicionamento à umidade.

6.2. São usualmente usados corpos de prova de 100mm (4") de diâmetro por 63,5mm (2.5") de espessura.

6.3. Prepare quantidade suficiente para 1 (um) corpo de prova de cada vez, de acordo com a ARTERIS ET-007, faça as misturas na temperatura de 25°C até o início do rompimento da emulsão (muda de cor de marrom para preto e libera água).

6.4. Moldar imediatamente os corpos de prova com 75 golpes por face e na temperatura ambiente (25°C) de acordo com a ARTERIS ET 007.

6.5. Após a moldagem, colocar os corpos de prova com o molde na estufa a  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  até massa constante (Nota 1), na posição diametral, para facilitar a saída da umidade.

**Nota 1** – Massa Constante é definida como a massa em que não é alterada em mais de 0,05% quando pesados em intervalos de 2h.

6.6. Após a massa constante, deixar esfriar à temperatura ambiente e proceder à desmoldagem.

---

## **7. PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM AMOSTRAS RECICLADAS IN LOCO OU USINAS E COMPACTADAS EM LABORATÓRIO**

7.1. Faça pelo menos 6 (seis) corpos de prova para cada ensaio, metade para ser testado seco e a outra metade para ser testado depois de saturação parcial e condicionamento à umidade.

7.2. São usados corpos de prova de 100mm (4") de diâmetro por 63,5mm (2.5") de espessura.

7.3. Misturas preparadas em campo deverão ser amostradas pelas ET-003 ou ET-005.

7.4. Após a amostragem, compacte imediatamente os corpos de prova com 75 golpes por face e na temperatura ambiente (25°C), de acordo com a ARTERIS ET 007.

7.5. Após a moldagem, colocar os corpos de prova com o molde na estufa a  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  até massa constante (Nota 1), na posição diametral, para facilitar a saída da umidade.

7.6. Após a massa constante, deixar esfriar à temperatura ambiente e proceder à desmoldagem.

---

## **8. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS E COMPACTADOS EM CAMPO (EXTRAÍDOS DA PISTA)**

8.1. Selecione locais para amostragem no pavimento, e obtenha as amostras após o período de cura definido no projeto. Quando são testadas camadas do pavimento, com espessura menor ou igual a 63,5mm use corpos de prova de 100mm de diâmetro. Caso contrário, use diâmetros de 100 ou 150mm. O número de amostras deverá ser de ao menos 6, sendo 3 grupos de 2 retirados lado a lado.

8.2. Separe as camadas dos corpos de prova como necessário, serrando ou de outra forma cabível, e armazene os corpos de prova a serem testados, em temperatura ambiente até que estejam secos ou secando os corpos de prova na estufa a  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  até massa constante (Nota 1).

8.3. A cura da mistura compactada (itens 6.5 e 7.5), não é necessária nos corpos de prova misturados e compactados em campo.

---

## **9. AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS GRUPOS DE CORPOS DE PROVA**

9.1. Em qualquer dos três casos descritos nos itens 6, 7 e 8, é necessário obter uma amostra para a Massa Específica Máxima Teórica T 209. Seque a amostra até massa constante em estufa a  $110^\circ\text{C}$  (Nota 1), ou destorroe conforme o caso.

9.2. Determine a Massa Específica Máxima Teórica (Gmm), dessa amostra pela T-209.

9.3. Determine a Massa Específica Aparente (Gmb) de cada corpo de prova compactado, pelos T-275 ou TP-69.

9.4. Calcule a porcentagem de vazios de ar (Pa), pela T-269.

9.5. Divida os corpos de prova em dois subgrupos de três, de maneira que a média da porcentagem de vazios seja aproximadamente igual.

---

## **10. PRECONDICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA PARA TESTES**

10.1. Um subgrupo será testado seco, e o outro será parcialmente saturado a vácuo, em água, e submerso em água morna, antes do início do ensaio.

10.2. O subgrupo de corpos de prova a ser testado seco, deverá ser mantido a  $25^\circ\text{C}$  por 2 horas e posteriormente testados conforme descrito no item 11.

10.3. O outro subgrupo deverá ser condicionado como exposto a seguir:

10.4. Coloque os corpos de prova em um banho-maria de água potável a 40°C, por 24 horas, seguido de um banho-maria na temperatura de 25°C por 2 horas. As amostras deverão ter um mínimo de 25mm de água acima da sua superfície. Remova os corpos de prova do banho-maria, e teste conforme descrito no item 11.

---

## 11. ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

11.1. Determine a Resistência a Tração por Compressão Diametral dos dois grupos a 25°C de acordo com a ARTERIS ET-003.

11.2. Anote a tensão máxima registrada pela prensa, remova o corpo de prova da prensa e o abra na face trincada. Inspeção a superfície interior para verificar o descolamento do filme de asfalto; visualmente estime o grau aproximado de dano, provocado pela umidade, em uma escala de “0” a “5” (sendo “5” o grau de maior desgaste) e registre as observações.

---

## 12. CÁLCULOS

12.1. Calcule a Resistência a Tração por Compressão Diametral de cada corpo de prova de acordo com a ARTERIS ET 003.

12.2. Expresse o índice numérico de resistência da mistura asfáltica ao efeito danoso da água, como a razão da Resistência a Tração por Compressão Diametral original do corpo de prova saturado. Calcule a razão da Resistência a Tração por Compressão Diametral, com 2 casas decimais, de acordo com o indicado abaixo:

$$\text{Razão da Resistência a Tração da Mistura: } RRT = \frac{Rt_2}{Rt_1} \quad (4)$$

Onde:

$Rt_1$  = Média da Resistência a Tração do subgrupo de corpos de prova seco, (kPa) e

$Rt_2$  = Média da Resistência a Tração do subgrupo de corpos de prova saturados (kPa).

---

## 13. RELATÓRIO

13.1. Registre as seguintes informações:

13.2. Número de amostras em cada subgrupo;

13.3. Vazio médio de cada subgrupo;

13.4. Resistência a Tração por Compressão Diametral de cada amostra em cada subgrupo;

13.5. Razão da Resistência a Tração;

13.6. Resultado estimado visualmente do dano provocado por umidade, quando a amostra racha.

## **T-005 - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ESPUMA DE ASFALTO**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método estabelece a determinação das Características de Espuma de Asfalto.
- 1.2. Os valores padrões adotados estão referenciados em unidades do sistema universal.
- 1.3. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos prejudiciais à saúde. Este método não tem o propósito de atender todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É responsabilidade de quem usá-lo estabelecer antecipadamente as práticas apropriadas de segurança e determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

- DNIT ES-405 – Reciclagem de pavimento a frio “in situ” com espuma de asfalto;
- DER SP ET-DE-P00/033 - Reciclagem In Situ a Frio com Espuma de Asfalto;
- ASPHALT ACADEMY TG 2 - A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials.

---

### **3. TERMINOLOGIA**

#### 3.1. Definições

- 3.1.1. Espuma de Asfalto - é o estado temporário do asfalto, obtido a partir da injeção de mistura de ar sob pressão e pequenas quantidades de água sobre o asfalto, aquecido em temperatura adequada para seu tipo. Esta injeção ocasiona o aumento da área superficial e a redução da viscosidade do asfalto, o que promove sua forte expansão volumétrica.
- 3.1.2. Taxa de Expansão - é uma medida da viscosidade da espuma e fornece uma indicação de quão bem o ligante dispersará na mistura. Ele é calculado como a relação entre o volume máximo de espuma relativo para o volume original de asfalto. É o Número de Vezes a Unidade de Medida.
- 3.1.3. Unidade de Medida - é a altura do volume ocupado por 500g de asfalto quente no recipiente cilíndrico descrito em 6.2.
- 3.1.4. Meia-Vida - é uma medida da estabilidade da espuma e fornece uma indicação da taxa de perda de espuma durante a mistura. Ele é calculado como o tempo em segundos para a espuma recolher a metade de seu volume máximo.



---

#### **4. SUMÁRIO DO MÉTODO**

- 4.1. As características da espuma de asfalto são definidas pela taxa de expansão e de meia-vida de asfalto em seu estado expandido.
- 4.2. O estado expandido do asfalto é alcançado quando uma pequena percentagem de água é introduzida no asfalto quente. O objetivo é determinar a percentagem de água necessária que irá produzir as melhores características de espuma para um determinado asfalto.
- 4.3. O objetivo é produzir espuma de asfalto com a maior proporção de expansão com a meia-vida mais longa possível.

---

#### **5. SIGNIFICADO E USO**

- 5.1. Este método é usado inicialmente para determinar as características de asfalto espuma e teor de água ideais para preparação e moldagem de corpos de prova para projeto de mistura.
- 5.2. É utilizado também no controle de qualidade da execução de reciclagem “in situ” com espuma de asfalto.

---

#### **6. EQUIPAMENTO**

- 6.1. Aparelho de espuma de asfalto de laboratório, capaz de produzir espuma de asfalto a uma taxa entre 50 e 200g por segundo. O método de produção deve ser similar ao da produção em escala industrial de asfalto espuma na máquina de reciclagem. O aparelho deve ter uma caldeira capaz de manter uma massa de 10kg de asfalto a uma temperatura constante entre o intervalo de 160°C e 200°C  $\pm$  5°C. A unidade dispõe de uma câmara de expansão similar à da máquina de reciclagem em que água fria é injetada no asfalto quente. A injeção de água deve ser variável de 0 a 5% (em massa do asfalto) com uma precisão de 0,25%. A planta deve ser capaz de produzir com precisão uma massa pré-determinada de espuma asfalto diretamente na cuba de mistura de um misturador de laboratório acionado eletricamente com uma capacidade mínima de 10 kg.
- 6.2. Recipiente de metal cilíndrico, com 250mm de diâmetro e capacidade de pelo menos 20 litros (figura 1).
- 6.3. Haste de metal de imersão, calibrada para o recipiente cilíndrico. Pinos são fixados na haste formando um pente, que define a escala de vezes a unidade de medida, de 5 a 6 pinos (figura 1).



**Figura 1**

- 6.4. Cronômetro.
- 6.5. Luvas resistentes ao calor.
- 6.6. Balança eletrônica com capacidade de 10kg, com precisão de 1g.

---

## **7. PROCEDIMENTO**

### **7.1. Preparação do Aparelho**

7.1.1. As taxas de descarga do aparelho de espuma de asfalto de laboratório são verificadas em conformidade com as especificações do fabricante. Se o aparelho estiver sendo usado pela primeira vez, a taxa da bomba e as taxas de fluxo de água precisam ser calibrados de acordo com as especificações do fabricante. Deve ser verificado que 500g de asfalto é descarregada em configurações pré-determinadas.

7.1.2. Certifique-se de que o recipiente cilíndrico e a haste de metal estejam limpos. Descarregue espuma de asfalto, pelo menos duas vezes antes do ensaio no recipiente para pré aquecê-lo.

7.1.3. Descarte o excesso de asfalto do recipiente em outro recipiente adequado para resíduos.

### **7.2. Execução do Ensaio**

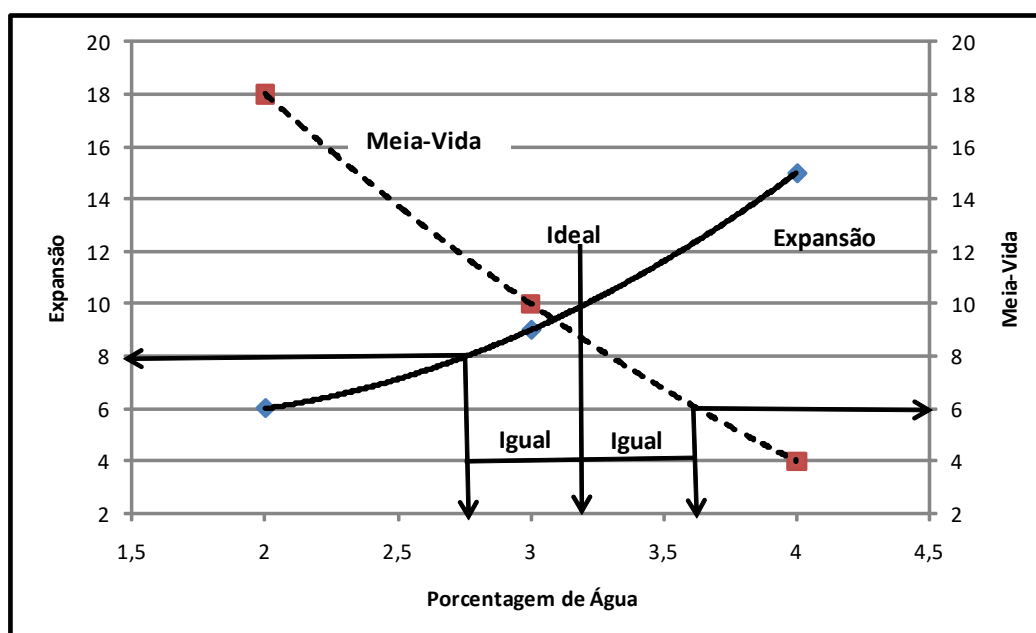
7.2.1. Aquecer o asfalto na caldeira do aparelho de laboratório de asfalto espuma e circular o asfalto com a bomba através do sistema, até que a temperatura requerida seja obtida (normalmente começando com 160°C) (nota 1). Manter a temperatura necessária pelo menos 5 minutos antes do início do ensaio.

**Nota 1** - Se as propriedades necessárias não são atendidas em 160°C, novos testes devem ser realizados com o asfalto em temperaturas mais altas (normalmente 170°C e 180°C).

- 7.2.2. Regule o medidor de água para obter a taxa de injeção de água necessária (normalmente iniciar com 2% em massa do asfalto).
- 7.2.3. Descarregue asfalto espuma no recipiente pré-aquecido, o tempo calculado para injetar 500g de asfalto. Imediatamente após a descarga de asfalto espuma parar, acionar o cronômetro.
- 7.2.4. Usando a haste calibrada, medir a altura máxima do asfalto espuma no recipiente. Anote este volume máximo como expansão.
- 7.2.5. Continue a medir o tempo em segundos que a espuma leva para dissipar a metade de seu volume máximo. Anote este tempo como meia- vida do asfalto espuma.
- 7.2.6. Repita os procedimentos acima três vezes, ou até obter leituras similares.
- 7.2.7. A expansão e a meia-vida são determinadas em diferentes percentagens de água.

**Nota 2** - Normalmente, são utilizados valores de 2%, 3% e 4% de água em relação à massa de asfalto.

- 7.2.8. Traçar um gráfico da taxa de expansão versus meia-vida, a diferentes taxas de injeção de água no mesmo conjunto de eixos. A adição ideal de água é escolhida como a média de duas taxas de água necessária para satisfazer os critérios mínimos.



---

## **8. RELATÓRIO**

8.1. As características de asfalto espuma e teor de água ideais são relatados como;

Teor de água ideal (%) - Percentagem em massa de asfalto;

Expansão (Vezes) - Taxa de expansão máxima ao volume original de asfalto;

Meia-Vida (s) - Tempo de expansão máxima para metade desse volume.

---

## **9. PRECISÃO E VARIÁVEIS**

9.1. Não foram relatadas estimativas de precisão e variáveis para este ensaio.

## T-006 - DRENAGEM DE ASFALTO - SCHELLENBERG

---

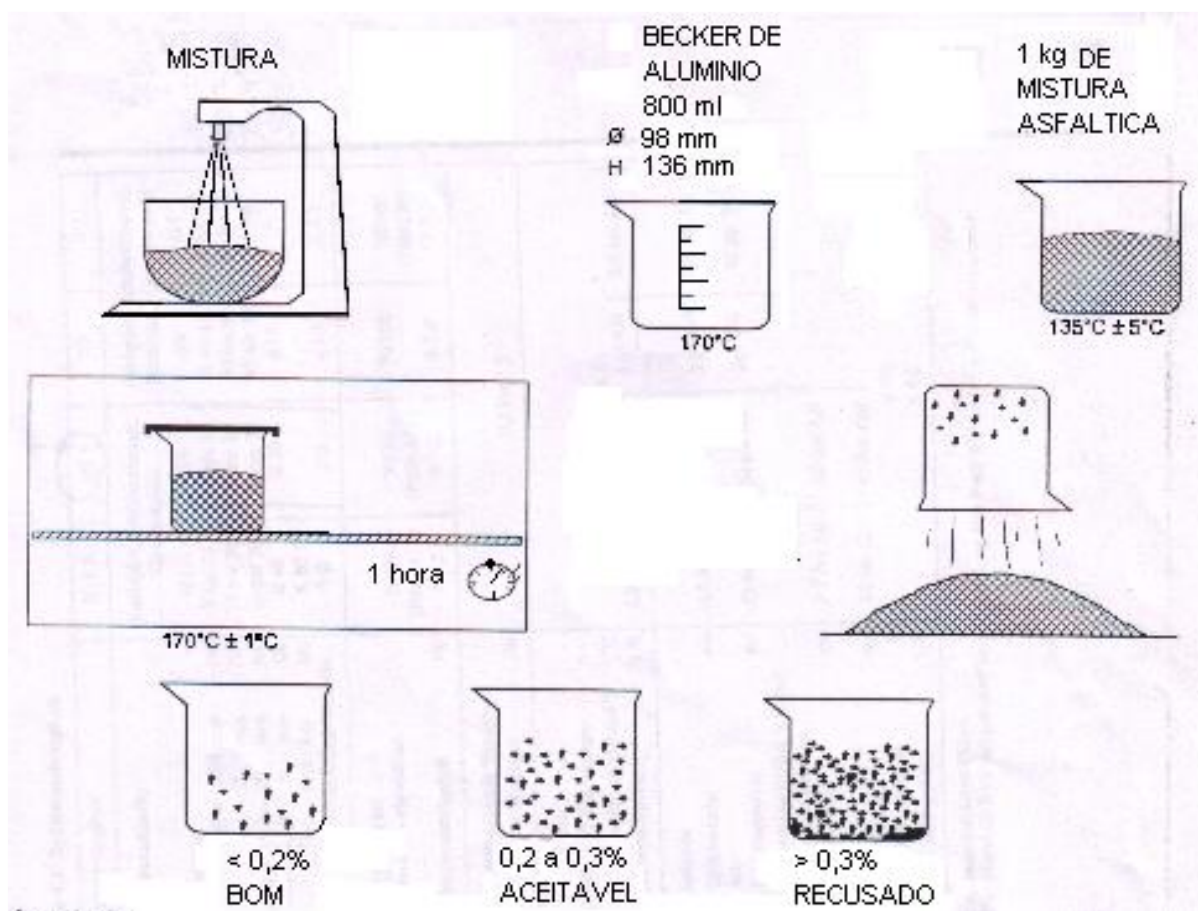
### 1. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA SMA

- 1.1. É necessário ter material suficiente para preparar 5 kg de mistura asfáltica.
  - 1.1.1. Seque o agregado, peneire e pese.
  - 1.1.2. Pese a fibra VIATOP – (leve em consideração a porção de cimento asfáltico no VIATOP).
  - 1.1.3. Misture a fibra manualmente com a fração de pó de pedra para obter uma mistura única.
  - 1.1.4. Coloque o agregado dentro de um recipiente limpo na seguinte ordem:
    - O agregado maior no fundo;
    - Frações do agregado em tamanhos decrescentes;
    - Pó de pedra e fibras misturadas
    - Material de enchimento (Filler) em cima.
  - 1.1.5. Aqueça a mistura incluindo a fibra numa estufa com temperatura controlada até 150°C.
  - 1.1.6. Aqueça o asfalto a 150°C.
  - 1.1.7. Transfira a mistura de agregado e fibra quentes para o recipiente de mistura pré-aquecido a (150°C). As paredes do recipiente de mistura devem ser aquecidas.
  - 1.1.8. Aqueça a mistura por aproximadamente 10 segundos.
  - 1.1.9. Faça uma depressão no meio da mistura.
  - 1.1.10. Despeje o cimento asfáltico pesado (150°C) no meio da depressão. Leve em consideração que a fibra VIATOP já possui asfalto.
- 1.2. Misture energicamente por 3 minutos para obter uma massa homogênea.

**Nota 1** - A dispersão insuficiente do CAP ou da fibra pode acontecer devido a um esforço insuficiente do misturador.

## 2. ENSAIO DE DRENAGEM DO CAP SCHELLENBERG

- 2.1. Após 3 minutos de mistura, transfira imediatamente 1 kg da amostra de SMA (135-140°C), pesada com aproximação de decigrama, dentro de um Becker de vidro de 800 ml, 98 mm de diâmetro e 136 mm de altura. (Antes de adicionar a amostra, o Becker de vidro deve ser pré-aquecido a 170 °C.).
- 2.2. Cubra o Becker com uma placa de vidro ou folha de alumínio e coloque numa estufa de temperatura controlada. Os tens 1 e 2 devem ser executados dentro de 20 segundos.
- 2.3. Ao ser colocada na estufa, a amostra de SMA deve ter a temperatura de  $135 \pm 5$ °C. Mantenha a temperatura a 170 °C ( $338 \text{ }^{\circ}\text{F}$ )  $\pm 1$ °C por 1 hora  $\pm 1$  minuto.
- 2.4. Remova o Becker de vidro da estufa e cuidadosamente, (sem vibrar) retire a amostra de SMA do Becker.
- 2.5. Pese novamente a amostra de SMA com aproximação de decigrama e determine a porcentagem de perda. Este passo deve ocorrer dentro de 10 segundos após a remoção do Becker da estufa.



**Nota 2** - de J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO – Manufactures of fibres - A informação desta publicação é baseada em nosso conhecimento e experiência. Ela não isenta o usuário de executar seus próprios ensaios e experiências tendo em vista a abundância de possíveis influências quando trabalhando ou usando nossos produtos. Nenhuma segurança legal de certas propriedades ou adequabilidade para usos específicos pode ser deduzida de nossa informação. Direitos de patente devem também ser respeitados.

**Nota 3** - do CDT - Aconselhamos a usar um Becker de alumínio, pois o de vidro pode quebrar facilmente com este ensaio. Ou então usar um Becker de pirex, mais difícil de quebrar.

## **T-007 - DESIDRATAÇÃO DE EMULSÃO COM CAP MODIFICADO POR POLÍMERO PARA CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ASFALTICO**

---

### **1. OBJETIVO**

1.1. Este método descreve o procedimento que se deve seguir para desidratar Emulsão com Asfalto Modificado por Polímeros para ensaios de caracterização do Ligante Asfáltico Residual.

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

- 2.1. ABNT-NBR 6576 - Materiais Asfálticos - Determinação de penetração.
- 2.2. ABNT-NBR 6560 - Materiais Asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento.
- 2.3. ARTERIS T-329 - Recuperação elástica por torção de cimentos asfálticos modificados (Método Espanhol).
- 2.4. ARTERIS M-231 - Instrumentos de Pesagem Usados em Ensaio de Materiais
- 2.5. Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, quando da consulta desta norma.

### **3. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS NECESSÁRIOS**

- 3.1. Estufa com sistema de ar forçado, controlada por termostato, capaz de manter qualquer temperatura, desde temperatura ambiente até ~120°C variando em  $\pm 3$  °C.
- 3.2. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, precisão de 0,1 por cento da massa da amostra, ou melhor, e estar de acordo com os requisitos da M 231.
- 3.3. Bandejas de alumínio de cerca de 30 cm x 20 cm x 4 cm, em quantidade suficiente.

### **4. TERMINOLOGIA**

- 4.1. Definições:
  - 4.1.1. Massa Constante – É definida como a massa em que não é alterada em mais de 0,05% quando pesados em intervalos de 2h.

### **5. PROCEDIMENTOS**

- 5.1. Obter a tara da bandeja, e anotar como (t).
- 5.2. Pesar cerca de 250g de emulsão na bandeja, e anotar como (E).



- 5.3. Colocar a bandeja com emulsão na estufa a  $110 \pm 5$  °C até massa constante.
- 5.4. Após atingida a massa constante, pesar e anotar como (A).
- 5.5. Repetir os procedimentos de 5.1 até 5.4 para tantas bandejas quanto forem necessárias para obter uma quantidade de resíduo Asfáltico de cerca de 500g.
- 5.6. Juntar o resíduo de todas as bandejas e homogeneizar.

---

## 6. RESULTADOS

- 6.1. Expressar a Porcentagem de Resíduo Asfalto Modificado em cada bandeja pela fórmula:

$$R = 100 \frac{A - t}{E - t}$$

Onde:

R = Porcentagem de CAP Residual na Emulsão, (%);

t = Tara da bandeja, (g);

E = Peso da bandeja com emulsão, (g) e;

A = Peso da bandeja com CAP Residual, (g).

- 6.2. Expressar a Porcentagem Média de Resíduo Asfalto Modificado, como a média de CAP Residual de todas as bandejas.
- 6.3. Proceder aos ensaios de Caracterização do Ligante Modificado Residual.

## **T-008 - PORCENTAGEM DE CIMENTO POR TITULAÇÃO QUÍMICA**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento, que é uma norma técnica, contém um método para determinar a percentagem de cimento Portland em brita graduada tratada com cimento (BGTC). Descreve a aparelhagem, o preparo das soluções, os procedimentos para montagem do gráfico de calibração, a execução do ensaio, e o processo para obtenção do resultado.

### **2. DEFINIÇÃO**

2.1. Este método fixa o modo pelo qual se determina a percentagem de cimento em brita graduada tratada com cimento, pelo processo de titulação química. O método é baseado em titulação química que relaciona a concentração de solução de amostras de campo com concentração de solução com teores de cimento conhecidos.

### **3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

- NBR 11338-89- Vidraria de laboratório – vocabulário – Dispositivo para distribuição e fechamento, reservatórios e recipientes
- NBR 11619-91- Vidraria de laboratório – vocabulário – aparelhos para operações básicas

### **4. APARELHAGEM**

- Peneira de malha  $\frac{3}{4}$ " (19,1mm).
- Proveta de 1000 ml.
- Proveta de 100 ml.
- Funil analítico, de vidro, haste curta, com diâmetro 100 mm.
- Papel filtro quantitativo, filtração média Nº 40, de 185 mm de diâmetro.
- Frasco Erlenmeyer, boca estreita de 200 ml.
- Bureta graduada, torneira com rosca, de 100 ml.
- Suporte e garras para bureta.
- Bastão de aço inoxidável.
- Relógio de alarme ou cronômetro.
- Recipiente de plástico (bacia) para amostra.
- Garrações plásticos.

- Garrações de vidro escuro.
- Vidro escuro de 100 ml com conta-gotas.
- Reagentes: ácido clorídrico, cloreto de amônia, hidróxido de amônia, titriplex III, negro de eriocromo.
- Balança com capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g.

---

## **5. PREPARO DAS SOLUÇÕES – PARA 5 ANÁLISES**

### **5.1. Solução de ácido clorídrico (HCL)**

5.1.1. Misturar 75 ml de ácido clorídrico em 925 ml de água destilada.

### **5.2. Solução tampão**

5.2.1. Dissolver 6,8 g de cloreto de amônia em 25 ml de água destilada. Adicionar 57 ml de hidróxido de amônia, e completar o volume de 100 ml com água destilada.

### **5.3. Solução Titriplex III (EDTA)**

5.3.1. Dissolver 10 g de titriplex III em 1000 ml de água destilada. Armazenar em garrafão de vidro escuro.

### **5.4. Solução de negro de eriocromo.**

5.4.1. Dissolver 2 g de negro de eriocromo em 100 ml de água destilada. Armazenar em vidro escuro com conta-gotas.

---

## **6. AMOSTRA**

6.1. A amostra de brita graduada tratada com cimento a ser ensaiada, deve ser coletada na saída do misturador, em seguida é quarteada até obter-se uma amostra de cerca de 500g.

---

## **7. PROCEDIMENTOS**

7.1. Passar a amostra obtida em 6.1 na peneira de  $\frac{3}{4}$ " (19,1mm);

7.2. Da fração passante, pesar no recipiente plástico, 300 g de amostra com aproximação de 0,1g;

7.3. Adicionar 200 ml de solução de ácido clorídrico (HCL);

7.4. Mexer com o bastão de aço inoxidável por 45 segundos e deixar em repouso por 6 minutos;

7.5. Repetir o descrito em 7.4 por mais 2 vezes;

7.6. Passar a amostra para a proveta de 1000 ml, adicionar 100 ml de hidróxido de amônia. Provocar movimentos circulatórios na proveta. Haverá formação de um precipitado gelatinoso;

7.7. Completar o volume de 1000 ml com água destilada, homogeneizar o líquido tomando cuidado para não dispersar o precipitado;

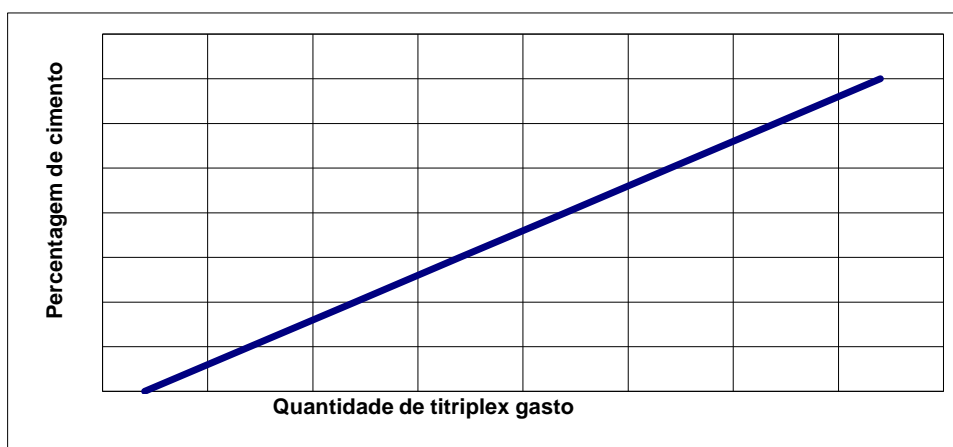
7.8. Filtrar o líquido com o auxílio do funil analítico e papel de filtro numa proveta;

- 7.9. Do material filtrado, recolher 20 ml no frasco Erlenmeyer;
- 7.10. Adicionar 20 ml de solução tampão e adicionar 7 (sete) gotas de solução de negro de eriocromo. Após esta operação, o preparado terá uma tonalidade vinho;
- 7.11. Com o auxílio da bureta, adicionar gradativamente solução de titriplex III até mudar a tonalidade de vinho para azul;
- 7.12. Fazer a leitura na escala da bureta da quantidade gasta de solução de titriplex III, para a mudança de tonalidade;
- 7.13. No gráfico de calibração, ler a percentagem de cimento correspondente;

---

## 8. MONTAGEM DO GRÁFICO DE CALIBRAÇÃO

- 8.1. Preparar amostras em laboratório de cerca de 500 g cada, de misturas com granulometria dentro da faixa de trabalho e no teor ótimo de umidade, com teores de cimento de 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6%.
- 8.2. Proceder conforme descrito em 7.1 a 7.12 para cada amostra preparada em 8.1.
- 8.3. Plotar em um gráfico, conforme exemplo abaixo, a quantidade gasta de solução de titriplex III com sua respectiva percentagem de cimento.



---

## 9. RELATÓRIO

- 9.1. No relatório deve constar:
- A contratada;
  - A usina produtora da BGTC;
  - A obra e local de destino da BGTC;
  - Data de amostragem e ensaio;

- A porcentagem de cimento encontrada;
- A porcentagem ótima do projeto de mistura;
- O teor de umidade da BGTC.

## **T-2 - AMOSTRAGEM DE AGREGADOS**

**Designação AASHTO R 90-1<sup>iv</sup>**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método cobre os procedimentos para obtenção representativa de agregado fino (AF), gráudo (AG) ou uma combinação de ambos para determinar a conformidade com requisitos de especificação sobre os quais o agregado é adquirido. O método inclui amostragem de correias transportadoras, unidades de transporte, rodovias e pilhas de estoque.

1.2. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 323 – Projeto Volumétrico Superpave de Mistura
  - ARTERIS T 11 – Análise Granulométrica de Agregado Passante pela Peneira de 75 µm (Nº. 200), Por Lavagem
  - ARTERIS T 27 – Análise Granulométrica de Agregados Finos e Graúdos
  - ASTM D75/D75M – Standard Practice for Sampling Aggregates
- 

### **3. SIGNIFICADO E USO**

3.1. A amostragem é um passo crítico na determinação da qualidade do material sendo avaliado. Cuidados devem ser exercidos para assegurar que as amostras são representativas do material sendo avaliado.

3.2. Esta especificação tem a intenção de fornecer os requisitos padrões e procedimentos para amostragem de agregado fino, gráudo e uma combinação destes produtos. Os requisitos detalhados para os materiais, interpretação dos resultados, precisão e tendência são especificados em métodos de ensaio específicos.

3.3. Para amostragem de potenciais fornecedores de agregado veja a ASTM D75/D75M.

---

#### **4. EQUIPAMENTOS**

- 4.1. Pás – Ferramentas para reunir a amostra.
- 4.2. Vassouras, Escovas e Ferramentas para raspar – Ferramentas para auxiliar a coleta da amostra.
- 4.3. Tubo de Amostragem – Plástico, alumínio, ou tubo similar o qual o diâmetro deve ser pelo menos o tamanho máximo nominal do agregado; a ponta do tubo pode ser inclinado para auxiliar na amostragem.
- 4.4. Sistemas Mecânicos de Amostragem – Normalmente, um dispositivo permanentemente ligado, que permita um recipiente de amostra passar perpendicularmente por todo o fluxo de material ou desvie todo o fluxo de amostra para o recipiente por meio de operação manual, hidráulica ou pneumática.
- 4.5. Molde para Correia – Um par de moldes, ligados ou separados, os quais são a forma e largura da correia de fluxo de agregado. Se os dois moldes estão ligados, deve-se ter espaço suficiente entre eles para produzir um incremento do peso adequado.
- 4.6. Recipiente de Amostra – Bolsas ou outros recipientes construídos para impedir a perda ou contaminação de qualquer parte da amostra, ou dano ao conteúdo causado pelo mau manuseio durante o transporte. Para amostras com teor de umidade, os recipientes devem impedir a perda de umidade.

---

#### **5. PROCEDIMENTO**

5.1. A amostragem é tão importante quanto o ensaio. O operador deve usar todas as precauções para obter amostras que são representativas do material. Registre a data e local da amostragem. Quando amostras serão usadas como parte de uma estatística de controle de qualidade ou programa de aprovação, determine a data ou local para amostragem usando um procedimento de amostragem aleatório.

5.1.1. Assegure que os equipamentos de amostragem e recipientes estão limpos e secos antes da amostragem.

5.2. As amostras de campo devem estar de acordo ou exceder a massa mínima na Tabela 1. A quantidade especificada na Tabela 1 geralmente fornecerá material adequado para granulometria de rotina e controle de qualidade (Nota 1). Se o tamanho máximo nominal do agregado a ser ensaiado não está listado acima, o próximo tamanho maior deve ser usado para a determinação de tamanho da amostra.

**Nota 1** – O tamanho da amostra é baseado nos requisitos do(s) ensaio(s). Geralmente, o tamanho da amostra de campo deve ser o suficiente para que, quando dividido em dois, forneça uma amostra de ensaio de tamanho adequado. Por exemplo, o tamanho da amostra deve ser quatro vezes o mostrado na T 27, ou na T 11 se a massa for mais apropriada.

**Nota 2** – Tamanho máximo nominal pode ser definido pelo tipo ou uso de agregado; por exemplo, como definido na M 323.

**Tabela 1** – Tamanhos de Amostra Recomendados

Tamanho Máximo Nominal		Massa mínima	
Mm	(pol.)	Kg	(lg)
90	(3 ½)	175	(385)
75	(3)	150	(330)
63	(2 ½)	120	(275)
50	(2)	100	(220)
37,5	(1 ½)	75	(165)
25,0	(1)	50	(110)
19,0	(¾)	25	(55)
12,5	(½)	15	(35)
9,5	(¾)	10	(25)
4,75	(N° 4)	10	(25)
2,36	(N° 8)	10	(25)

5.3. Amostragem a Partir da Correia Transportadora Usando um Molde de Amostra – Evite amostrar no começo ou fim do trecho de agregado devido a potencial segregação. Não se recomenda amostrar em tempo chuvoso.

5.3.1. Pare a correia.

5.3.2. Coloque o molde de amostra no lugar certo na correia, evitando intromissão de material adjacente.

5.3.3. Remova o material do molde; incluindo todo o material aderente à correia.

5.3.4. Obtenha incrementos iguais quando um incremento não é suficiente para o ensaio necessário.

5.3.5. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

5.4. Amostragem a Partir da Descarga da Correia Transportadora - Evite amostrar no começo ou fim da correia de agregado devido a potencial segregação. Para coletar uma amostra representativa, o dispositivo de amostragem deve passar através de todo o fluxo de material enquanto passa pela



correia transportadora. Um dispositivo de amostragem manual, semiautomático ou automático pode ser usado para coletar a amostra.

5.4.1. Passe um dispositivo de amostragem, a velocidade constante e perpendicular ao fluxo de material, por todo o fluxo uma vez em cada direção sem deixar transbordar; inclua todo o material que pode aderir ao dispositivo de amostragem quando for esvaziar o recipiente, ou desvie todo o fluxo de material para o recipiente.

5.4.2. Obtenha múltiplos incrementos iguais quando um incremento não for suficiente para o ensaio necessário.

5.4.3. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

5.5. Amostragem a Partir de Unidades de Transporte:

5.5.1. Visualmente divida a unidade em quatro quadrantes.

5.5.2. Identifique um local para amostragem em cada quadrante.

5.5.3. Remova aproximadamente 0,3 m de material da área de amostragem. Obtenha um incremento a partir da superfície exposta. Repita em cada um dos quadrantes restantes.

5.5.4. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

5.6. Amostragem a Partir da Rodovia – acostamento ou leira:

5.6.1. Não pegue nenhuma amostra ou incremento do começo ou fim do acostamento ou leira.

5.6.2. Remova um terço do topo do acostamento ou leira antes de pegar um incremento.

5.6.3. Obtenha no mínimo de três incrementos aproximadamente iguais de locais aleatórios ao longo do acostamento ou leira.

5.6.3.1. Insira completamente a pá dentro do local, exclua o material por baixo, incline a pá para trás, e levante o material levemente para fora da pilha para evitar que o material caia da pá.

5.6.4. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

5.7. Amostragem a Partir da Rodovia – no local:

5.7.1. Obtenha amostras representativas após espalhar e antes de compactar.

5.7.2. Insira completamente a pá até a profundidade completa do material, exclua o material subjacente, incline a pá para trás, e levante o material levemente para fora da pilha para evitar que o material caia da pá. Repita como necessário.

5.8. Amostragem a Partir de uma Pilha estocada para Agregado Graúdo e Misturas de Agregado Graúdo e Fino

#### 5.8.1. Amostragem a Partir de uma Superfície Plana Criada por uma Escavadeira:

- 5.8.1.1. Direcione o operador da escavadeira a entrar a pilha estocada com a pá a pelo menos 0,3 m (1 pé) acima do nível do chão, sem contaminar a pilha estocada.
- 5.8.1.2. Descarte a primeira pá cheia.
- 5.8.1.3. Faça a escavadeira entrar novamente na pilha estocada, obtendo uma pá cheia de material, e traga a pá para cima.
- 5.8.1.4. Forme uma pequena pilha de amostragem na base da pilha estocada, rolando gentilmente o material para fora da pá da carregadeira, com a pá a uma altura suficiente para permitir um fluxo livre de materiais. Repita como necessário.
- 5.8.1.5. Crie uma superfície plana fazendo a escavadeira arrastar a pilha pequena para trás.
- 5.8.1.6. Obtenha incrementos de pelo menos três locais aleatórios pela superfície plana com pelo menos 0,3m da borda.
- 5.8.1.7. Direcione o operador da escavadeira a entrar a pilha estocada com a pá a pelo menos 0,3 m acima do nível do chão sem contaminar a pilha estocada.
- 5.8.1.8. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

#### 5.8.2. Amostragem a Partir de uma Superfície Horizontal na Face da Pilha estocada:

- 5.8.2.1. Crie superfícies horizontais com faces verticais no terço superior, no terço médio e no terço inferior da pilha.
- 5.8.2.2. Coloque uma tábua contra a face vertical por trás do local da amostra para evitar a queda dos agregados (descamação). Descarte o material descamado para criar a superfície horizontal.
- 5.8.2.3. Obtenha a amostra a partir da superfície horizontal o mais perto possível da intersecção das faces horizontais e verticais.
- 5.8.2.4. Obtenha pelo menos um incremento de tamanho igual de cada terço, inferior, médio e inferior da pilha.
- 5.8.2.5. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

#### 5.9. Amostragem a Partir de uma Pilha estocada para Agregado Fino (Método de tubo alternado):

- 5.9.1. Remova a camada exterior do material.
- 5.9.2. Usando um tubo de amostragem, obtenha incrementos de tamanho igual a partir de no mínimo cinco locais aleatórios na pilha.
- 5.9.3. Combine os incrementos para formar uma amostra única.

---

## **6. TRANSPORTANDO AS AMOSTRAS**

- 6.1. Use bolsas ou recipientes para transportar amostras de agregado. Tenha certeza de que as bolsas e recipientes estão limpos e não danificados para evitar contaminação ou perda da amostra.
- 6.2. Coloque etiquetas em cada amostras que contenham as seguintes informações:
  - 6.2.1. Data e hora que a amostra foi obtida;
  - 6.2.2. Local de amostragem;
  - 6.2.3. Quantidade de material representado pela amostra, se aplicável;
  - 6.2.4. Tipo de material; e
  - 6.2.5. Fornecedor.

---

## **7. PALAVRAS-CHAVE**

- 7.1. Agregado graúdo; agregado fino; amostras.

## **T-11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS PASSANTE NA PENEIRA DE 75 $\mu$ m (Nº200), POR LAVAGEM**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método estabelece a determinação da quantidade de material mais fino do que a peneira de 75  $\mu$ m (nº. 200) por lavagem. Partículas de argila e de agregados são dispersos por lavagem, assim como materiais solúveis em água, serão removidos durante o ensaio.

1.2. Dois procedimentos são incluídos, um usando somente água durante a operação de lavagem, e outro incluindo um detergente para ajudar a soltar o material abaixo da peneira de 75  $\mu$ m (nº. 200) do material graúdo. A menos que seja especificado, Procedimento A (somente água) deverá ser usado.

1.3. Os valores padrões adotados estão referenciados em unidades do sistema universal.

1.4. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos prejudiciais à saúde. Este método não tem o propósito de atender todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É responsabilidade de quem usá-lo estabelecer antecipadamente as práticas apropriadas de segurança e determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. Normas:

- AASHTO M-92 – Malhas das peneiras nos ensaios
- ARTERIS ET-231 – Balanças usadas nos ensaios
- ARTERIS T-2 – Amostragem de agregados
- ARTERIS T-27 – Análise granulométrica de agregado fino e graúdo
- ARTERIS T-248 – Redução de amostras de agregados para ensaio

2.2. Normas ASTM:

- C 117 – Método de ensaio de granulometria de material passante na peneira de 75  $\mu$ m (nº. 200) por lavagem
- C 670 – Prática para a precisão e variáveis adotadas para métodos de ensaios para materiais de construção.

---

### 3. SUMÁRIO DO MÉTODO

3.1. Uma amostra de agregado é lavada de maneira especificada, usando água pura ou contendo um detergente, como especificado. A água de lavagem decantada, contendo partículas suspensas e dissolvidas é passada através da peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200). A perda em massa resultante do tratamento de lavagem é calculada como uma porcentagem de massa da amostra original e é relatada com uma porcentagem do material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200), por lavagem.

---

### 4. SIGNIFICADO E USO

4.1. O material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) pode ser separado das partículas maiores muito mais eficientemente e completamente pelo peneiramento úmido do que seco. Portanto, quando uma determinação acurada de material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) em agregado fino e graúdo é desejada, este método é usado antes do ensaio de peneiramento a seco, de acordo com ARTERIS T-27. Os resultados deste método de ensaio são incluídos nos cálculos do ARTERIS T-27, e a quantidade total do material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) por lavagem mais aquele obtido com o peneiramento seco da mesma amostra é usado no relatório final. Usualmente a quantidade adicional obtida no peneiramento seco é muito pequena. Se for grande, a eficiência da operação de lavagem deve ser verificada. Pode ser inclusive uma indicação da degradação do agregado.

4.2. A água pura é adequada para separar o material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) para a maioria dos agregados graúdos. Em alguns casos, o material fino adere às partículas graúdas, tais como, argilas agarradas e alguns finos de agregados que foram objeto de extração de betume. Nestes casos, o material fino será separado mais rápido com detergente na água.

---

### 5. EQUIPAMENTOS e MATERIAIS

5.1. *Balança* – A balança deve ter capacidade suficiente e precisão igual, ou melhor, que 0,1 por cento da massa da amostra, e atender aos requisitos da ARTERIS ET-231.

5.2. *Peneiras* – Um conjunto de 2 peneiras deve ser montada, a de baixo de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) e acima com a abertura no intervalo entre a malha de 2,36 mm (nº. 8) e 1,18 mm (nº. 16), ambas de acordo com a M 92.

5.3. *Recipiente* – Uma bandeja ou bacia de tamanho suficiente para conter a amostra coberta com água e para permitir uma agitação vigorosa sem perda de amostra ou água.

5.4.

5.5. *Estufa* – Um forno de tamanho apropriado capaz de manter uma temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

5.6. *Detergente* – Qualquer agente de dispersão, tais como um detergente líquido para lavagem de pratos, para promover a separação do material fino.

**Nota 1** – O uso de um agitador mecânico para realizar a operação de lavagem não é proibido, desde que seus resultados sejam consistentes com aqueles obtidos na operação manual. Os usos de equipamentos de lavagem mecânicos podem causar degradação da amostra com alguns materiais.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. Amostre o agregado de acordo com T-2. Se a mesma amostra vai ser usada para o ensaio ARTERIS T-27, obedeça aos procedimentos aplicáveis dele.

6.2. Misture totalmente a amostra e reduza sua quantidade para um tamanho adequado ao ensaio usando os procedimentos aplicáveis descritos na T-248. Se a mesma amostra vai ser ensaiada também pelo ARTERIS T-27, a massa mínima necessária deve a indicada para aquele ensaio. Ou então, a massa, depois de seca, deve atender o seguinte:

Tamanho nominal máximo	Quantidade mínima, g
4,75 mm (nº. 4) ou menor	300
9,50 mm (3/8")	1000
19,0 mm (3/4")	2500
37,5 mm (1 1/2") ou maior	5000

6.3. O tamanho da amostra para o ensaio deve ser o resultado final da redução. Redução para uma massa pré-determinada não é permitida. Se o tamanho nominal máximo do agregado a ser ensaiado não estiver na lista acima, o imediatamente maior deve ser usado para determinar a quantidade mínima da amostra.

---

## 7. SELEÇÃO DO PROCEDIMENTO

7.1. O procedimento A deve ser usado, a menos que seja especificado com valores da especificação com os quais deve ser comparado ou quando determinado pelo cliente para quem o trabalho está sendo realizado.

---

## 8. PROCEDIMENTO A – LAVAGEM COM ÁGUA PURA

8.1. Seque a amostra até massa constante à temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Determine a massa com aproximação de 0,1 por cento da amostra total seca.

8.2. Se a especificação aplicável exige que a quantidade passante na peneira de 75 µm (nº. 200) deve ser determinada na porção da amostra passando numa peneira menor que a do tamanho máximo nominal do agregado, separe a amostra na peneira designada e determine a massa do material com aproximação de 0,1 por cento. Use esta massa como parte da amostra original previsto na seção 10.1.

**Nota 2** – Algumas especificações para agregados com o tamanho nominal do agregado de 50 mm ou maior, por exemplo, estabelecem um limite para o material passante na peneira de 75 µm (nº. 200) determinada naquela porção da amostra passando na malha de 25,0 mm. Tal procedimento é necessário porque é impraticável lavar amostras do tamanho especificado quando a mesma amostra é usada na análise granulométrica pelo ARTERIS T-27.

8.3. Após a secagem e determinação da massa, coloque a amostra no recipiente e adicione água suficiente para cobri-la. Nenhum detergente, agente dispersor ou outra substância deve ser adicionada à água. Agite a amostra com vigor suficiente para conseguir a completa separação das partículas passantes na peneira de 75 µm (nº. 200) daquelas graúdas e para que o material fino fique em suspensão. O uso de uma colher grande ou outra ferramenta similar para mexer e agitar o agregado no banho tem sido satisfatório. Imediatamente escorra a água de lavagem contendo os sólidos suspensos ou dissolvidos sobre o conjunto de 2 peneiras, montadas com a peneira maior no topo. Tenha cuidado para evitar, tanto quanto possível, a decantação das partículas graúdas da amostra.

8.4. Adicione uma segunda carga de água na amostra dentro do recipiente, agite e decante como antes. Repita esta operação até que a água fique limpa.

**Nota 3** – Se usar equipamento mecânico de lavagem, a vazão de água, agitação e decantação pode ser uma operação contínua.

**Nota 4** – Um bico de aspersão ou uma mangueira de borracha conectada à torneira pode ser usada para enxaguar qualquer material que caia dentro das peneiras. A velocidade da água, que pode ser aumentada pelo aperto da mangueira ou bico de aspersão, não deve causar espirros sobre os lados da peneira.

8.5. Retorne todo o material retido neste conjunto de peneiras com um jorro de água para o recipiente com a amostra. Seque o agregado lavado até massa constante à temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) e pese com aproximação de 0,1 por cento da amostra original.

**Nota 5** – Depois da amostra lavada e escorrida e todo material retido na peneira de  $75 \mu\text{m}$  (nº. 200) devolvido ao recipiente, nenhuma água deve ser decantada do mesmo sem passar pela malha da peneira, para evitar perda de material. Excesso de água existente no recipiente deve evaporar durante o processo de secagem.

---

## 9. PROCEDIMENTO B – LAVAGEM USANDO UM DETERGENTE

9.1. Prepare a amostra da mesma maneira que o procedimento A.

9.2. Após a secagem e pesagem, coloque a amostra no recipiente. Adicione água suficiente para cobrir a amostra e logo após o detergente (Nota 6). Agite a amostra com suficiente vigor para conseguir a completa separação de todas as partículas abaixo da peneira de  $75 \mu\text{m}$  (nº. 200) do material graúdo e para fazer com que o material fino fique em suspensão. O uso de colher grande ou outro instrumento similar para mexer e agitar o agregado na água de lavagem tem sido satisfatório. Imediatamente escorra a água contendo os sólidos suspensos e dissolvidos sobre o conjunto de peneiras, montado com a peneira de malha mais grossa em cima. Tenha cuidado para evitar, tanto quanto possível, a queda das partículas graúdas da amostra na peneira.

**Nota 6** – Deve haver quantidade suficiente de detergente para produzir pouca espuma, quando a amostra é agitada. A quantidade vai depender da dureza da água e da qualidade do detergente. Espuma excessiva poderá derramar sobre as peneiras e carregar algum material com ela.

9.3. Adicione uma segunda carga de água (sem detergente) na amostra dentro do recipiente, agite, e escorra como antes. Repita a operação até que a água de lavagem esteja limpa.

9.4. Termine o ensaio da mesma maneira que o procedimento A.

---

## 10. CÁLCULO

10.1. Calcule a quantidade de material abaixo da peneira de  $75 \mu\text{m}$  (nº. 200), por lavagem como segue:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (1)$$



Onde:

A = Porcentagem de material abaixo da peneira de 75  $\mu\text{m}$  (n<sup>o</sup>. 200), por lavagem

B = Massa da amostra seca original

C = Massa da amostra seca após lavagem, g.

---

## 11. RELATÓRIO

11.1. Informe a porcentagem do material passando na malha de 75  $\mu\text{m}$  (n<sup>o</sup>. 200) por lavagem com aproximação de 0,1 por cento, exceto se o resultado for acima de 10 por cento, quando deverá ser o número inteiro.

11.2. Informe qual o procedimento usado, por escrito no relatório.

---

## 12. PRECISÃO E VARIÁVEIS

12.1. *Precisão* – As estimativas de precisão para este ensaio listado na tabela 1 são baseados em ensaios do programa de amostragem de proficiência de laboratórios de referência da AASHTO, sendo os mesmos realizados de acordo com este método e o ASTM C 117. As diferenças significativas entre os métodos existentes na época, com dados obtidos quando o T 11 especificava e o ASTM C117 proibia o uso de detergente. Os dados são baseados na análise de mais de 100 pares de resultados de 40 a 100 laboratórios.

TABELA 1 – PRECISÃO		
	Desvio Padrão (1s), <sup>a</sup> Porcentagem	Intervalo aceitável de 2 resultados (d2s), <sup>a</sup> Porcentagem
<i>Agregado graúdo:</i> <sup>b</sup>		
Precisão um operador	0,10	0,28
	0,22	0,62
Precisão Multilaboratório		
<i>Agregado Fino</i> <sup>c</sup>		
Precisão um operador	0,15	0,43
	0,29	0,82
Precisão Multilaboratório		

<sup>a</sup> Estes números representam os limites (1s) e (d2s) descritos na ASTM C670

<sup>b</sup> As estimativas de precisão são baseadas em agregados tendo um tamanho nominal máximo de 19,0 mm (3/4”) com menos de 1,5 por cento passando na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (n<sup>o</sup>.200).

<sup>c</sup> As estimativas de precisão para o agregado fino são baseadas tendo 1,0 e 3,0 por cento abaixo da peneira de 75  $\mu\text{m}$  (n<sup>o</sup>. 200).

12.1.1. Os valores de precisão para agregados finos da tabela 1 são baseados em amostras com 500 g de tamanho nominal. Revisão deste método em 1996 permite que o ensaio

possa ser feito com amostras de 300 g, no mínimo. Análise de resultados de ensaios de 300 g e 500 g das amostras dos ensaios de proficiência 99 e 100 (amostras 99 e 100 foram essencialmente idênticos) produziram os valores de precisão da tabela 2, o que indicou diferenças mínimas devido ao tamanho da amostra.

<b>TABELA 2 INFORMAÇÕES DOS DADOS DE PRECISÃO PARA AMOSTRAS DE 300g e 500g</b>							
Amostra proficiente de agregado miúdo				Mesmo laboratório		Entre laboratórios	
Resultado do ensaio	Tamanho amostra	Nº Labs	Média	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T 11 / ASTM C 117 (Total de material passando malha no. 200, por lavagem, %)	500 g	270	1,23	0,08	0,24	0,23	0,66
	300 g	264	1,20	0,10	0,29	0,24	0,68

**NOTA 7** – Os valores para agregado fino na tabela 1 serão revisados para refletir o tamanho da amostra de 300 g quando tiver sido executado um número suficiente de amostras proficientes de agregados para termos dados confiáveis.

*Varição* – Desde que não há material de referência adequada para a determinação da variação deste método de ensaio, nenhum indicador de variáveis é feito.

## **T-27 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método estabelece a determinação da distribuição por tamanhos das partículas de agregados graúdos e miúdos por peneiramento.

1.2. Algumas especificações de agregados, que referenciam este método, contêm requisitos granulométricos para agregados miúdos e graúdos. Estão inclusas instruções para análise granulométrica destes agregados.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 2 - Amostragem de Produtos de Agregado
- ARTERIS T 11 – Análise Granulométrica de Agregado Passante pela Peneira de 75µm (Nº. 200), Por Lavagem
- ARTERIS T 248 - Redução de Amostras de Agregados para Testes
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- ASTM C125 – Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM E11 – Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

---

### **3. TERMINOLOGIA**

3.1. Definições – As definições dos termos usados neste método padrão, referenciam a ASTM C125.

---

#### 4. SUMÁRIO DO MÉTODO

4.1. Uma amostra de agregados secos, de massa conhecida, é separada por uma série de peneiras de tamanho de aberturas progressivamente menor para determinação da distribuição granulométrica.

---

#### 5. SIGNIFICADO E USO

5.1. Este método é usado inicialmente para determinar a granulometria de materiais usados como agregado ou que estão sendo propostos para tal. Os resultados dos ensaios são usados para se determinar à adequação da granulometria com os parâmetros das especificações aplicáveis e para controle dos diferentes tamanhos de agregados e suas misturas. Os dados podem ser também úteis no desenvolvimento das relações entre vazios e empolamento.

5.2. Não se pode conseguir, somente com o uso deste método, a determinação precisa da porcentagem de material passando na peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200). Deve ser empregado o método de ensaio T 11 para material passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200), por lavagem.

---

#### 6. EQUIPAMENTOS

6.1. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, e ter escala de 0,1 por cento da massa da amostra, e de acordo com os requisitos da ET 231.

6.2. Peneiras – A malha da peneira deve ser montada em um caixilho que evite a perda de material durante o peneiramento. A malha da peneira e o caixilho devem atender aos requisitos da ASTM E11. Caixilhos não padrões devem estar de acordo com os requisitos da ASTM E11 se aplicável

**Nota 1** – É recomendado que caixilhos de peneiras maiores do que o padrão de 203,2 mm (8 pol.) de diâmetro sejam usados para ensaios de agregado graúdo para reduzir a possibilidade de encher demais as peneiras. Veja a Seção 8.3.

6.3. Agitador de peneira mecânico – Um dispositivo mecânico, se usado, deve criar a agitação das peneiras para fazer as partículas balançarem, caírem, ou então para se virarem em orientação diferente na superfície da peneira.

**Nota 2** – O uso de um agitador de peneira mecânico é recomendado quando o tamanho da amostra é de 20 kg (44 lb) ou mais pesada, e pode ser usado para amostras menores, incluindo agregado miúdo. Tempo excessivo (mais do que aproximadamente 10 min) para conseguir peneiração

adequada pode resultar em degradação da amostra. O mesmo peneirador mecânico pode não ser adequado para todos os ensaios, uma vez que o tamanho de uma amostra de agregado graúdo com diâmetro nominal grande exige uma área de peneiramento maior que uma amostra com diâmetro nominal pequeno.

6.4. Estufa – Uma estufa de tamanho apropriado capaz de manter uma temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

---

## 7. AMOSTRAGEM

7.1. Amostre o agregado de acordo com a T 2. A massa da amostra de campo deve estar de acordo com a T 2, ou ser quatro vezes superior à massa requerida nas Seções 7.4 e 7.5 (exceto como modificado na Seção 7.6), a que for maior.

7.2. Misture completamente a amostra e a reduza para uma quantidade adequada para ensaio usando os procedimentos descritos na T 248. A amostra para ensaio deve ter a massa aproximada desejada quando seca e deve ser o resultado final da redução. Não é permitido reduzir para uma massa exata pré-determinada.

**Nota 3** – Quando a análise granulométrica, incluindo a determinação do material passante pela peneira 75  $\mu\text{m}$  (Nº. 200), é o único ensaio necessário, o tamanho da amostra de campo pode ser reduzido para evitar o transporte de quantidades excessivas de material extra para o laboratório.

7.3. Agregado Miúdo – A massa da amostra de agregados para ensaio, após a secagem, dever ser de no mínimo 300 g.

7.4. Agregado Graúdo – A massa da amostra de agregados para ensaio deve estar de acordo com a tabela a seguir:

---

Tamanho Máximo nominal de aberturas quadradas	Massa Mínima da Amostra de Ensaio
mm (pol.)	kg (lb)
9,5 ( $\frac{3}{8}$ )	1 (2)
12,5 ( $\frac{1}{2}$ )	2 (4)
16 ( $\frac{5}{8}$ )	4 (8)
19,0 ( $\frac{3}{4}$ )	3 (1)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 ( $1\frac{1}{2}$ )	15 (35)
50 (2)	20 (44)
63 ( $2\frac{1}{2}$ )	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 ( $3\frac{1}{2}$ )	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

---

7.5. Misturas de Agregados Miúdos e Graúdos – A massa da amostra para ensaio deve ser a mesma definida para agregados graúdos, conforme Seção 7.4.

7.6. Amostras de Agregados Graúdos de grande dimensão – O tamanho de amostra necessário quando se utiliza agregados com diâmetro máximo nominal igual ou superior a 50 mm (2 pol.) é tão grande a ponto de impedir a redução conveniente da amostra e a realização do teste como uma unidade, exceto quando grandes divisores e agitadores de peneira estão disponíveis. Como uma opção, quando tal equipamento não está disponível, combinar e misturar porções à amostra de campo e reduzi-la para o tamanho do ensaio, realizar o ensaio com um número aproximadamente igual de amostras parciais, tal que a massa total testada atenda aos parâmetros da seção 7.4.

7.7. Quando a quantidade material miúdo passante pela peneira 75 µm (Nº. 200) deve ser determinado pela T 11, use o procedimento descrito na Seção 7.7.1 ou 7.7.2, o que for aplicável.

7.7.1. Para agregados com um tamanho máximo nominal de 12,5 mm (1/2 pol.) ou menor, use a mesma amostra de ensaio para testar pela T 11 e por este método. Primeiro ensaie a amostra de ensaio de acordo com a T 11 até a operação final de secagem, depois peneire a amostra seca como estipulado nas Seções 8.2 até a 8.6 deste método.

7.7.2. Para agregados com um tamanho máximo nominal maior do que 12,5 mm (1/2 pol.), um único ensaio pode ser utilizado, como descrito na Seção 7.7.1, ou podem ser utilizadas amostras distintas para realização do ensaio pela T 11 e por este método.

7.7.3. Se a especificação requer a determinação total da quantidade de material passante pela peneira 75 µm (Nº. 200) por lavagem e por peneiração seca, use o procedimento descrito na Seção 7.7.1.

---

## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Se a amostra de ensaio não foi sujeita ao ensaio pela T 11, seque-a até a constância de massa a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Determine e registre a massa do material que irá ser colocado nas peneiras para a precisão da balança como definido na Seção 6.1.

**Nota 4** – A secagem dos agregados deve ser realizada preferencialmente em estufa. Caso exista a necessidade de obtenção de resultados de forma mais rápida, a secagem dos agregados pode ser realizada em fogareiro, desde que o material a ser testado não apresente histórico de degradação na temperatura que será submetido, e também não apresente materiais orgânicos. Uma outra alternativa quando se deseja a obtenção rápida de resultados, e considerando que os resultados não serão utilizados para fins de aceitação de materiais, é realizar a avaliação sem a secagem previa dos

agregados. Isto porque os resultados são ligeiramente afetados pelo teor de umidade a menos que (1) O tamanho máximo nominal seja inferior a 12,5 mm (1/2”), (2) o agregado graúdo contenha apreciável quantidade de material abaixo da peneira 4,75 mm (nº. 4) (3) o agregado graúdo tem absorção alta (um agregado leve, por exemplo)

8.2. Selecione as peneiras com aberturas adequadas para fornecer a informação requerida pelas especificações para os materiais a serem ensaiados. Use peneiras adicionais como desejado ou necessário para fornecer outras informações, como módulo de finura, ou para regular a quantidade de material em uma peneira para encontrar os requisitos do Anexo A1. Agrupe as peneiras em ordem decrescente de tamanho de abertura de cima para baixo, e coloque a amostra, ou a porção de amostra se o ensaio for realizado para incrementos, na peneira de cima. Agite as peneiras manualmente ou com um agitador mecânico pelo período necessário, estabelecido por tentativas ou verificado por pesadas de uma amostra real ensaiada, para atender ao critério satisfatório descrito no Anexo A2.

8.3. Limite a quantidade de material em uma dada peneira para que todas as partículas tenham a oportunidade para chegar até as aberturas das peneiras várias vezes durante a operação de peneiração.

8.3.1. Previna a sobrecarga de material em uma peneira individual como descrito na Tabela A1 por uma ou mais combinação dos seguintes métodos:

8.3.1.1. Insira uma peneira adicional com tamanho de abertura intermediário entre a peneira que pode ficar sobrecarregada e a peneira imediatamente acima a peneira no conjunto original de peneiras.

8.3.1.2. Separe a amostra em duas ou mais porções, peneirando cada porção individualmente. Combine as massas das porções retidas em uma peneira antes de calcular a porcentagem da amostra na peneira.

8.3.1.3. Use peneiras tendo molduras maiores e fornecendo maior área de peneiração.

8.3.1.4. No caso de misturas de agregados miúdos e graúdos, a porção da amostra passante pela peneira de 4,75 mm (Nº. 4) pode ser distribuída entre dois ou mais conjuntos de peneiras para prevenir a sobrecarga de peneiras individuais.

8.3.1.5. Alternativamente, a porção passante pela peneira de 4,75 mm (Nº. 4) pode ser reduzida em tamanho usando um separador mecânico de acordo com a T 248. Se

este procedimento for seguido, compute a massa de cada incremento da amostra original como descrito abaixo:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

onde:

A= massa do incremento baseada na amostra total;

$W_1$ = massa da fração passante pela peneira de 4,75 mm (Nº. 4) na amostra total

$W_2$ = massa da porção reduzida de material passante pela peneira de 4,75 mm (Nº. 4) que foi peneirado; e

B= massa da porção reduzida peneirada.

8.4. A não ser que um agitador de peneira mecânico for usado, peneire à mão as partículas retidas na peneira de 75 mm (3 pol.) determinando a menor abertura de peneira que cada partícula irá passar por rotação das partículas, se necessário, ao invés de determinar se elas irão passar por uma abertura em particular; no entanto, não force as partículas a passar por uma abertura.

8.5. Determine a massa de cada incremento em uma balança conforme os requisitos especificados na Seção 6.1 com aproximação para 0,1 por cento da massa total da amostra seca original. A massa total depois da peneiração deve ser checada atentamente com a massa total da amostra seca original sobre as peneiras. Se duas quantidades diferem mais de 0,3 por cento, baseada na massa total da amostra seca original, os resultados não devem ser usados para propósitos de aprovação.

---

## 9. CÁLCULO

9.1. Calcule as porcentagens passantes, porcentagens retidas, ou porcentagens em tamanhos variados de frações com aproximação de 0,1 por cento com base na massa total da amostra inicial seca. Se a mesma amostra de ensaio foi testada primeiro pela T 11, inclua a massa passante pela peneira 75 µm (Nº. 200) por lavagem no cálculo de análise granulométrica; e use a massa total da amostra antes da lavagem pela T 11 como a base para calcular as porcentagens.

9.1.1. Quando as porções da amostra são testadas como permitido na seção 7.6, some o total das frações de cada porção retida por peneira e use estas massas para calcular a porcentagem na seção 9.1.



9.2. Calcule o módulo de finura, quando necessário, pela adição da porcentagem total de material na amostra que é maior que cada uma das seguintes peneiras (pesos retidos acumulados), e dividindo a soma por 100; 150  $\mu\text{m}$  (nº. 100), 300  $\mu\text{m}$  (nº. 50), 600  $\mu\text{m}$  (nº. 30), 1,18 mm (nº. 16), 2,36 mm (nº. 8), 4,75 mm (nº. 4), 9,5 mm (3/8"), 19,0 mm (3/4"), 37,5 mm (1 1/2"), e acima, aumentando na razão de 2 para 1.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. Dependendo da forma como as especificações preveem o uso do material a ser testado, o relatório deve incluir o seguinte:

10.1.1. Porcentagem total de material passante em cada peneira, ou

10.1.2. Porcentagem total de material retido em cada peneira, ou

10.1.3. Porcentagem de material retido entre peneiras consecutivas.

10.2. Registre as porcentagens com aproximação para números inteiros, exceto se a porcentagem passante na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº. 200) for menor do que 10 por cento, então será registrada com aproximação de 0,1 por cento.

10.3. Registre o módulo de espessura, quando necessário, com aproximação de 0,01.

---

## 11. PRECISÃO E TENDÊNCIA

11.1. Precisão – As estimativas de precisão para este ensaio estão listadas na tabela 1. A estimativa é baseada em resultados do programa de amostragem para Laboratórios de referência por competência da AASHTO, com ensaios executados pelo método T 27 e ASTM C 136. Os dados são baseados em análises de resultados de 65 laboratórios entre 233 que testaram 18 pares de amostras de agregados graúdos e de 74 laboratórios entre 222 que testaram 17 pares de amostras de agregado fino (as amostras de nº 21 a 90). Os valores na tabela são dados para diferentes intervalos da porcentagem total de agregado passando na peneira.

**Tabela 1 – Estimativas de Precisão**

	Porcentagem total de Material Passante		Desvio Padrão (1s), <sup>a</sup> %	Intervalo de Aprovação de Dois Resultados (d2s), <sup>a</sup> %
Agregado Graúdo: <sup>b</sup> Precisão para operador único	100	≥ 95	0,3	0,9
	< 95	≥ 85	0,81	2,3
	< 85	≥ 80	1,34	3,8
	< 80	≥ 60	2,25	6,4
	< 60	≥ 20	1,32	3,7
	< 20	≥ 15	0,95	2,7
	< 15	≥ 10	1,00	2,8
	< 10	≥ 5	0,75	2,1
	< 5	≥ 2	0,53	1,5
	< 2	0	0,27	0,8
Precisão para Multilaboratório	100	≥ 95	0,35	1,0
	< 95	≥ 85	1,37	3,9
	< 85	≥ 80	1,92	5,4
	< 80	≥ 60	2,82	8,0
	< 60	≥ 20	1,97	5,6
	< 20	≥ 15	1,60	4,5
	< 15	≥ 10	1,43	4,2
	< 10	≥ 5	1,22	3,4
	< 5	≥ 2	1,04	3,0
	< 2	0	0,45	1,3
Agregado Fino: Precisão para operador único	100	≥ 95	0,25	0,7
	< 95	≥ 60	0,55	1,6
	< 60	≥ 20	0,83	2,4
	< 20	≥ 15	0,54	1,5
	< 15	≥ 10	0,36	1,0
	< 10	≥ 2	0,37	1,1
	< 2	≥ 0	0,14	0,4
Precisão para Multilaboratório	100	≥ 95	0,23	0,6
	< 95	≥ 60	0,77	2,2
	< 60	≥ 20	1,41	4,0
	< 20	≥ 15	1,10	3,1
	< 15	≥ 10	0,73	2,1
	< 10	≥ 2	0,65	1,8
	< 2	≥ 0	0,31	0,9

<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente, os limites (1s) e (d2s) como descrito na ASTM C670

<sup>b</sup> As estimativas de precisão são baseadas em agregados com tamanho nominal máximo de 19,0 mm (¾ pol.)

11.1.1. Os valores de precisão para o agregado fino na tabela 2 são baseados em amostras com tamanho nominal de 500 g. Revisão da ASTM C 136 em 1994 permitiu que o tamanho mínimo da amostra de agregado fino a ser ensaiado fosse 300 g. Análise dos resultados de ensaios de amostras de 300 g e 500 g do programa de eficiência de

amostragem de 99 e 100 (as amostras 99 e 100 foram essencialmente idênticas) produziram os valores de precisão da tabela 2, que indicou somente diferenças pequenas devido ao tamanho das amostras testadas.

**Nota 5** – Os valores para Agregado Miúdo na Tabela 1 serão revisados para refletir o tamanho de amostra de ensaio de 300 g quando um número suficiente de ensaios for conduzido usando este tamanho de amostra para prover dados confiáveis.

**Tabela 2** – Dados de Precisão para Amostras de Agregado Miúdo de 300g e 500g

Amostra proficiente de agregado miúdo				Mesmo laboratório		Entre laboratórios	
Resultado do ensaio	Tamanho da amostra	Quant. Labs	Média	1S	D2S	1S	D2S
AASHTO T 27 / ASTM C 136							
Total de material passando malha 4,75 mm (nº.4) (%)	500 g	285	99,992	0,027	0,066	0,037	0,104
	300g	276	99,99	0,021	0,06	0,042	0,117
Total de material passando malha 2,36 mm (nº.8) (%)	500g	281	84,1	0,43	1,21	0,63	1,76
	300g	274	84,32	0,39	1,29	0,69	1,92
Total de material passando malha 1,18 mm (nº.16) (%)	500g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,1
	300g	272	70,0	0,52	1,74	0,76	2,12
Total de material passando malha 600 µm (nº.30) (%)	500g	287	48,54	0,75	2,1	1,33	3,73
	300g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Total de material passando malha 300 µm (nº.50) (%)	500g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300g	275	15,51	0,45	1,25	0,99	2,75
Total de material passando malha 150 µm (nº.100) (%)	500g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Total de material passando malha 75 µm (nº.200) (%)	500g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300g	266	1,3	0,14	0,39	0,31	0,85

11.2. Tendência – Como não há material de referência adequado para a determinação da tendência deste método de ensaio, nenhum indicador de variáveis é feito.

## 12. PALAVRAS-CHAVE

12.1. Granulometria de agregado; módulo de finura.

## ANEXO A

(Informação Obrigatória)

## 13. DETERMINAÇÃO DE SOBRECARGA

13.1. Não exceda a massa de 7kg/m<sup>2</sup> (4 g/pol.2) na superfície de peneiramento com peneiras de aberturas menores do que 4,75 (N°. 4) no final da operação de peneiração.

13.2. Não exceda a massa em quilogramas do produto de 2,5 x (abertura da peneira em mm) x (área efetiva de peneiração) para peneiras de aberturas de 4,75 mm (N°. 4) ou maior. Esta massa é mostrada na Tabela A1.1 para 5 tamanhos de peneiras comumente usadas. Não cause deformação permanente na malha da peneira devido à sobrecarga.

**Tabela 3 – Massa Máxima Permitida de Material Retido em uma peneira, kg**

Tamanho da Abertura de Peneira, mm	Dimensões Nominais de Peneiras <sup>a</sup>				
	203,2 mm de diâmetro <sup>b</sup>	254,0 mm de diâmetro <sup>b</sup>	304,8 mm de diâmetro <sup>b</sup>	350 por 350 mm	372 por 580 mm
	Área de peneiramento, m <sup>2</sup>				
	0,0285	0,0457	0,067	0,1225	0,2158
125 mm (5")	c	c	c	c	67,4
100 mm (4")	c	c	c	30,6	53,9
90 mm (3 ½")	c	c	15,1	27,6	48,5
75 mm (3")	c	8,6	12,6	23,0	40,5
63 mm (2 ½")	c	7,2	10,6	19,3	34,0
50 mm (2")	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5 mm (1½)	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0 mm (1")	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0 mm (¾")	1,4	2,2	3,2	5,8	10,2
12,5 mm (1/2")	0,9	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5 mm (3/8")	0,7	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75 mm (Nº 4)	0,3	0,5	0,8	1,5	2,6

<sup>a</sup> – Tamanho de moldura de peneira em unidades inglesas: 8 pol. de diâmetro; 12 pol. de diâmetro; 12 pol. de diâmetro; 13,8 por 13,8 pol. (14 por 14 pol. de diâmetro nominal); 14,6 por 22,8 pol. (16 por 24 pol. de diâmetro nominal).

<sup>b</sup> – A área de peneiração para peneiras redondas é baseada em um diâmetro efetivo ou limpo de 12,7 mm ( $1/2$  pol.) menor do que o tamanho nominal do diâmetro da moldura da peneira porque a ASTM E11 permite selante entre na malha da peneira e a moldura estenda 6,35 mm ( $1/4$  pol.) sobre a malha. Portanto, o diâmetro efetivo ou limpo de uma moldura de 203,2 (8 pol.) é 190,5 ( $7 1/2$  pol.). Peneiras produzidas por alguns fabricantes não devem infringir a malha por mais de 6,35 mm ( $1/4$  pol.).

<sup>c</sup> – Peneiras que tem menos do que cinco aberturas completas não devem ser usadas em ensaios.

---

## 14. AVALIAÇÃO DE TEMPO

14.1. O tempo mínimo necessário para peneiramento deve ser avaliado anualmente para cada peneirador pelo seguinte método:

14.1.1. Agite a amostra sobre o conjunto de peneiras por aproximadamente 10 min.

**Nota 6** – Se o material da amostra estiver tendência para a degradação, reduza o tempo inicial de agitação da Seção A2.1.1 para 5 min, e comece cada recheagem com uma nova amostra.

14.1.2. Forneça uma bandeja de encaixe confortável e uma tampa para cada peneira e segure os itens em uma posição ligeiramente inclinada com uma mão.

14.1.3. Agite cada peneira com a mão continuamente por 60s batendo fortemente na lateral da peneira e com um movimento para cima contra a base da outra mão a uma taxa de cerca de 150 vezes por minuto, girando a peneira cerca de um sexto de uma revolução em intervalos de cerca de 25 golpes.

14.2. Se mais de 0,5 por cento da massa total da amostra antes da peneiração passar por qualquer outra peneira depois de um minuto de peneiração à mão, ajuste o tempo de agitação e repita a Seção A2.1.

14.3. Na determinação do tempo de peneiração para peneiras maiores do que 4,75 mm (Nº. 4), limite o material na peneira para uma única camada de partículas.

14.4. Se o tamanho das molduras das peneiras torna o movimento descrito impraticável, use peneiras de 203 mm (8 pol.) de diâmetro para verificar a adequação do peneiramento.

14.5. Se a massa retida em qualquer peneira exceder o máximo permitido pela Tabela A1.1, selecione uma amostra diferente e repita a Seção A2.

## **T-30 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS EXTRAÍDOS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio cobre o procedimento para a determinação da distribuição de tamanho de partículas de agregado fino e graúdo extraídos de misturas asfálticas, usando peneiras com aberturas quadradas.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 164 – Porcentagem de Ligante Asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente
- ARTERIS T 308 – Determinação da Quantidade de Ligante Asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) pelo Método de Combustão
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- AASHTO R 35 – Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures
- AASHTO R 61 – Establishing Requirements for Equipment Calibrations, Standardizations, and Checks
- AASHTO T 255 – Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM E11 – Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

---

### **3. SIGNIFICADO E USO**

3.1. Este método é usado para determinar a granulometria de agregados extraídos de uma mistura asfáltica. Os resultados são usados para determinar a adequação da granulometria com os

parâmetros das especificações aplicáveis e para fornecer os dados necessários para controle dos vários agregados a serem usados nas misturas asfálticas.

---

#### 4. EQUIPAMENTOS

- 4.1. Balança – uma balança de classe G2 de acordo com a M 231.
- 4.2. Peneiras – Conforme os requisitos de ASTM E11.
- 4.3. Agitador Mecânico de Peneira – Um equipamento de peneiramento mecânico, se usado, deve criar movimento das peneiras para agitar, revirar ou também mudar as partículas de direção para obtermos diferentes posições do agregado na superfície da peneira. A ação de peneiramento deve ser tal que o critério para aceitação do fim do ensaio, descrito na seção 7 seja atingido em um período razoável de tempo. (Nota 1).

**Nota 1** – O uso de um agitador mecânico é recomendado quando a amostra tem 20 kg (44 lb) ou mais, e pode ser usado em amostras menores, incluindo agregado fino. Tempo excessivo (mais de 10 min) para alcançar a peneiração adequada pode resultar em degradação da amostra. O mesmo agitador mecânico pode não ser prático para todos os tamanhos de amostras, porque uma área grande de peneiração é necessária para peneiração de uma amostra de agregado graúdo de tamanho nominal grande. Uso do mesmo dispositivo para amostras pequenas de agregado graúdo ou agregado irá resultar em perda de uma porção da amostra.

- 4.4. Estufa – uma estufa de tamanho suficiente, capaz de manter a temperatura uniforme a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- 4.5. Agente de dispersão solúvel – Qualquer agente de dispersão, como detergente de pia, que irá promover a separação de materiais finos.
- 4.6. Recipiente – uma bandeja ou bacia de tamanho suficiente para conter a amostra coberta com água e permitir agitação vigorosa sem perda de nenhuma parte da amostra ou água.
- 4.7. Colher ou Utensílio de Mistura – ou dispositivo similar para agitar a amostra durante o procedimento de lavagem.
- 4.8. Equipamento de Lavagem Mecânica (Opcional) – Veja a Nota 2

**Nota 2** – O uso de certos aparelhos de lavagem mecânicos pode causar degradação em determinados tipos de materiais, causando impacto na análise dos tamanhos das partículas. Para determinar se um aparelho de lavagem mecânica causa alguma degradação significativa, prepare uma mistura de



agregado com graduação conhecida em laboratório, usando agregados similares, lavados e graduados, de modo a se preparar a amostra como especificado na R 35. Lavar mecanicamente e em seguida graduar a mistura preparada da amostra. Compare o resultado de graduação após a lavagem mecânica com a graduação anteriormente conhecida da mistura em laboratório. Se a porcentagem de material passante na peneira N<sup>o</sup>200 após a lavagem difere mais do que o aceitável entre dois resultados de laboratório indicados na tabela 2, o dispositivo de lavagem mecânica não deve ser utilizado.

---

## 5. CALIBRAÇÕES, PADRONIZAÇÕES E CHECAGENS

5.1. Salvo indicação contrária, seguir os requisitos e intervalos para a calibração do equipamento, padronizações e checagem encontrados nas normativas internas da Contratante, e na falta desses documentos, considerar a R-18.

5.2. Siga os procedimentos para calibração, padronização e checagem encontrados nas normativas internas da Contratante, e na falta desses documentos, considerar a R-61.

---

## 6. AMOSTRA

6.1. A amostra deve consistir em um lote inteiro ou amostra representativa de agregado obtido de acordo com a T-164 ou T-308, a qual o ligante asfáltico já foi extraído.

---

## 7. PROCEDIMENTO

7.1. Seque a amostra, se necessário, até que secagem futuras a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) não alterem a massa em mais de 0,1 por cento (Nota 3). Determine e registre a massa da amostra com arredondamento de 0,1 g.

**Nota 3** – Amostras obtidas da T 164 ou T 308 devem ser secadas até a constância de massa como parte do procedimento dentro destas normas. Se os procedimentos descritos nesta norma são imediatamente completos seguindo os procedimentos de algum destes métodos, não será necessário secar a amostra novamente. Se foram passadas mais de 24 h entre a finalização da T 164 ou T 308 e a inicialização deste procedimento de ensaio, ou se a amostra está armazenada em um ambiente de alta umidade, ou foi de alguma forma sujeita a umidade, a amostra deve ser seca novamente até a constância de massa.

7.1.1. Se a amostra é composta por agregados obtidos a partir da T 164, adicione a massa de material mineral contida no ligante asfáltico extraído para a massa da amostra seca e

registre esse valor como sendo da massa da amostra inicial (nota 4). O procedimento para determinação da matéria mineral contida no ligante asfáltico extraído é descrito em T 164.

**Nota 4** – Se a mistura asfáltica foi extraída de acordo com T164, método E, para propósitos de controle, a determinação de matéria mineral pode não ter sido concluída. Neste caso, anote a massa determinada na seção 7.1 como massa inicial da amostra

7.1.2. Se a amostra é composta por agregados obtidos a partir de T-308, a massa determinada na seção 7.1 deverá corresponder com a massa de agregado remanescente após a ignição (M<sub>f</sub> de T-308) com variação máxima de 0.1 por cento. Se a variação exceder 0.1 por cento, os resultados desse teste não deverão ser utilizados para critérios de aceitação. Anote a massa determinada na seção 7.1 como massa inicial da amostra.

7.2. Coloque a amostra de ensaio em um recipiente e cubra com água. Adicione quantidade suficiente do agente de dispersão solúvel para assegurar a separação completa do material passante pela peneira de 75 µm (Nº. 200) das partículas maiores. Adicione o agente de dispersão solúvel (Nota 5). Agite o conteúdo do recipiente vigorosamente e imediatamente decante a água de lavagem sobre um conjunto de peneiras, uma de 2 mm (Nº. 10) ou 1,18 mm (Nº. 16) superposta a outra de 75 µm (Nº 200) (Nota 6). O uso de uma colher larga ou dispositivo similar é recomendado para ajudar o processo de agitação do conteúdo do recipiente. Limite a agitação pelo equipamento de lavagem mecânico para um máximo de 10 min.

**Nota 5** – Deve ter agente solúvel o suficiente para produzir uma pequena quantidade de espuma quando a amostra for agitada. A quantidade pode depender da dureza da água, qualidade do detergente, e do processo de agitação. Espuma excessiva pode sobrecarregar a peneira e carregar um pouco do material com elas.

**Nota 6** – Quando o equipamento de lavagem mecânica for utilizado, a introdução de água, agitação e a decantação devem ser um processo contínuo.

7.3. Agite a amostra vigorosamente, causando a suspensão das partículas mais finas passantes pela peneira de 75 µm (Nº 200). Decante a suspensão sobre o conjunto de peneiras para separar completamente as partículas finas das graúdas. Na primeira vez que for realizar este procedimento, tome o máximo de cuidado possível para evitar a decantação das partículas graúdas da amostra no

conjunto de peneiras. Repita a operação. Após esta etapa, a amostra pode ser lavada diretamente na peneira, em fluxo de água contínuo, até que a água de lavagem saia limpa. Não sobrecarregue a peneira de 75 µm (N° 200).

7.4. Retorne todo o material retido no conjunto de peneiras ao recipiente. Seque o agregado lavado no recipiente até a constância de massa de acordo com a T 255 e determine a massa com arredondamento de 0,1 por cento.

7.5. Peneire o agregado sobre vários tamanhos de peneiras, incluindo a peneira de 75 µm (N° 200) como requerido pela especificação cobrindo as misturas asfálticas. Tamanhos de peneiras adicionais podem ser usados para regular a quantidade de material em uma peneira para estar de acordo com os requisitos do Anexo A2. Agrupe as peneiras em ordem decrescente de tamanho de abertura de cima para baixo e coloque a amostra na peneira de cima. Agite as peneiras com um equipamento mecânico por um período suficiente, estabelecido por teste ou checagens por medições na amostra de ensaio atual, para encontrar os critérios para adequação de peneiração descritos no Anexo A1.

7.6. Limite a quantidade de material em uma dada peneira para que todas as partículas tenham a oportunidade de chegar às aberturas várias vezes durante a operação de peneiração. Não sobrecarregue as peneiras; veja Anexo A2.

7.7. Registre o material passante em cada peneira, a massa retida na próxima peneira e a quantidade passante pela peneira de 75 µm (N° 200). A soma destas massas não deve variar mais de 0,2 por cento da massa depois da lavagem.

---

## **8. CÁLCULOS**

8.1. Adicione a massa de material seco passante pela peneira de 75 µm (N° 200) por peneiração a seco na massa removida por lavagem, e se aplicável, a massa de material mineral no ligante asfáltico, para obter o total passante pela peneira de 75 µm (N° 200). Calcule as porcentagens passantes, porcentagens totais retidas, ou porcentagens em vários tamanhos de frações com arredondamento de 0,1 por cento dividindo cada um pela massa inicial da amostra determinada na Seção 7.1.1 ou 7.1.2, como for aplicável.

8.2. Para amostras de agregado obtidas pela T 308, aplique o fator de correção do agregado, como requisitado pela T 308, para obter as porcentagens totais passantes finais.

---

## **9. RELATÓRIO**

9.1. Registre os resultados da análise granulométrica como a seguir: (a) porcentagem total passante por cada peneira; ou (b) porcentagem total retida em cada peneira; ou (c) porcentagens

retidas entre peneira consecutivas, dependendo da forma de especificação do material sendo ensaiado. Registre as porcentagens com arredondamento para números inteiros, exceto pela porcentagem passante pela peneira de 75 µm (N° 200), a qual deve ser registrada com arredondamento para 0,1 por cento.

## 10. PRECISÃO E TENDÊNCIA

10.1. Precisão – As estimativas de precisão para este método são listadas na Tabela 1. As estimativas estão baseadas nos resultados no Programa de Amostras de Proficiência re:source da AASHTO, com ensaios sendo conduzidos pela T 30. Os dados são baseados na análise dos resultados de ensaios de 47 a 190 laboratórios que testaram 17 pares de amostras de ensaio de proficiência (Amostras N° 1 até 34). Os valores na tabela são dados para diferentes intervalos de porcentagem total de agregado passante por uma peneira.

10.2. Tendência – este método não tem tendência porque os valores determinados só podem ser definidos nos termos deste método.

**Tabela 1 - Precisão**

	Porcentagem total material passante em uma peneira		Desvio Padrão (1s) % <sup>a</sup>	Intervalo aceitável de 2 resultados (d2s) <sup>a</sup> %
Agregado extraído: <sup>b</sup>				
Precisão um operador	< 100	≥ 95	0,49	1,4
Operador único	< 95	≥ 40	1,06	3,0
	< 40	≥ 25	0,65	1,8
	< 25	≥ 10	0,46	1,3
	< 10	≥ 5	0,29	0,8
	< 5	≥ 2	0,21	0,6
	< 2	≥ 0	0,17	0,5
	Precisão Multilaboratório	< 100	≥ 95	0,57
< 95		≥ 40	1,24	3,5
< 40		≥ 25	0,84	2,4
< 25		≥ 10	0,81	2,3
< 10		≥ 5	0,56	1,6
< 5		≥ 2	0,43	1,2
< 2		≥ 0	0,32	0,9

<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente, os limites (1s) e (d2s) como descrito na ASTM C670

<sup>b</sup> As estimativas de precisão são baseadas em agregados com tamanho nominal máximo de 19,0 mm (<sup>3</sup>/<sub>4</sub> pol.)

---

## 11. PALAVRAS-CHAVE

11.1. Agregado graúdo; agregado fino; tamanho de partícula; peneiras.

---

## ANEXO A

(Informações Obrigatórias)

---

### 12. A1. AVALIAÇÃO DE TEMPO

12.1. O tempo mínimo necessário deve ser avaliado para cada agitador pelo menos anualmente pelo seguinte método:

12.2. Agite a amostra sobre o conjunto de peneiras por aproximadamente 10 min.

12.2.1. Forneça uma bandeja justa e tampa para cada peneira e segure os itens levemente inclinados em uma mão.

12.2.2. Agite à mão cada peneira continuamente por 60 s batendo ao lado da peneira e com um movimento para cima numa taxa de 150 vezes por min, virando a peneira em 1/6 de volta em intervalos de 25 batidas.

12.3. Se mais de 0,5 por cento em massa total da amostra antes da peneiração passar por qualquer outra peneira depois de um minuto de peneiração à mão, ajuste o tempo de agitação e revise o procedimento.

12.4. Na determinação do tempo de peneiração para peneiras maiores do que 4,75 mm (Nº. 4), limite o material na peneira para uma única camada de partículas.

12.5. Se o tamanho das molduras das peneiras faz o movimento descrito não prático, use peneiras de 203 mm (8 pol.) de diâmetro para verificar a adequação da peneira.

---

### 13. DETERMINAÇÃO DE SOBRECARGA

13.1. Não exceda a massa de 7kg/m<sup>2</sup> (4 g/pol.<sup>2</sup>) de superfície peneirada com peneiras de aberturas menores do que 4,75 (Nº. 4) no final da operação de peneiração.

13.2. Não exceda a massa em quilogramas do produto de 2,5 x (abertura da peneira em mm) x (área efetiva de peneiração) para peneiras de aberturas de 4,75 mm (Nº. 4) ou maior. Esta massa é mostrada na Tabela A1.1 para 5 tamanhos de peneiras comumente usadas. Não cause deformação permanente na malha da peneira devido à sobrecarga.

**Nota 7** – A quantidade de 7 kg/m<sup>2</sup> (4 g/pol.<sup>2</sup>) se aproxima de 200 g para o diâmetro comum de peneiras de 203 mm (8 pol.) [com área efetiva ou diâmetro limpo da peneira 190,5 mm (7 1/2 pol.)]

ou 450 g para o diâmetro de 305 mm (12 pol.) da peneira [com área efetiva ou diâmetro limpo da peneira 292,1 mm (11 1/2 pol.)]

**Tabela 2 – Massa Máxima Permitida de Material Retido em uma peneira, kg**

Tamanho da Abertura de Peneira, mm	Dimensões Nominais de Peneiras <sup>a</sup>		
	203,2 mm (8 pol.) de diâmetro <sup>a</sup>	254,0 mm (10 pol.) de diâmetro <sup>a</sup>	304,8 mm (12 pol.) de diâmetro <sup>a</sup>
	Área de peneiramento, m <sup>2</sup> (pol. <sup>2</sup> )		
	0,0285 (44,2)	0,0457 (70,8)	0,0670 (103,5)
50 mm (2 pol.)	3,6	5,7	8,4
37,5 mm (1½ pol.)	2,7	4,3	6,3
25,0 mm (1 pol.)	1,8	2,9	4,2
19,0 mm (¾ pol.)	1,4	2,2	3,2
12,5 mm (½ pol.)	0,89	1,4	2,1
9,5 mm (3/8 pol.)	0,67	1,1	1,6
4,75 mm (Nº 4)	0,33	0,54	0,8

<sup>a</sup> – A área de peneiração para peneiras redondas é baseada em um diâmetro efetivo ou limpo de 12,7 mm (½ pol.) menor do que o tamanho nominal do diâmetro da moldura da peneira porque a ASTM E11 permite selante entre na malha da peneira e a moldura estenda 6,35 mm (¼ pol.) sobre a malha. Portanto, o diâmetro efetivo ou limpo de uma moldura de 203,2 (8 pol.) é 190,5 (7 ½ pol.). Peneiras produzidas por alguns fabricantes não devem infringir a malha por mais de 6,35 mm (¼ pol.).

## **T-84 - Massa Específica e Absorção de Agregados Finos**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método cobre a determinação da massa específica aparente e real, 23/23°C (73,4/73,4°F), e absorção de agregado fino.

1.2. Este método determina (depois da imersão em água por 15-19 h) a massa específica real e a massa específica aparente baseada na massa da superfície seca saturada (SSD) do agregado e a absorção.

1.3. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.4. Esta norma de teste pode envolver materiais perigosos, operações e equipamentos. Esta norma não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta norma de estabelecer testes seguros e saudáveis e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes de usar.

1.5. A qualidade dos resultados produzidos por esse teste depende da competência da pessoa performando o procedimento e a capacidade, calibração e manutenção do equipamento usado. Agências que usam a R 18 são geralmente consideradas capazes de fazer testes competentes e objetivos. Usuários desta norma são informados de que a R 18 sozinha não produz resultados confiáveis. Estes resultados dependem de vários fatores; seguindo as sugestões da R 18 ou alguma guia similar aceitável pode-se prover meios de avaliação e controle de alguns destes fatores.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 2 – Amostragem de Agregados
- ARTERIS T 11 – Análise Granulométrica de Agregados Passante pela Peneira de 75 µm (N° 200), por Lavagem
- ARTERIS T 85 – Massa Específica e Absorção de Agregados Graúdos
- ARTERIS T 248 – Redução de Amostras de Agregados Para Testes
- AASHTO M 6 – Fine Aggregate for Hydraulic Cement Concrete

- AASHTO R 18 – Estabelecendo e Implementando Sistema de Controle de Qualidade para Ensaios em Laboratório de Materiais de Construção
- AASHTO T 19M/T 19 – Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate
- AASHTO T 100 – Specific Gravity of Soils
- AASHTO T 133 – Density do Hydraulic Cement
- AASHTO T 255 – Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

---

### **3. TERMINOLOGIA**

#### **3.1. Definições:**

- 3.1.1. Absorção – O aumento da massa do agregado devido a água nos poros do material, mas não incluindo água aderente à superfície exterior das partículas, expressa como uma porcentagem da massa seca. O agregado é considerado “seco” quando for mantido a uma temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por suficiente tempo para remover toda a água não combinada através do alcance da constância de massa.
- 3.1.2. Massa específica – a proporção da massa (ou peso ao ar) de um volume unitário de um material para o mesmo volume de água destilada sem gás a uma dada temperatura. Os valores são adimensionais.
- 3.1.2.1. Massa específica aparente – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de uma porção impermeável de agregado em uma dada temperatura para um peso ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.
- 3.1.2.2. Massa específica aparente (bulk) – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de um material permeável (incluindo vazios permeáveis ou impermeáveis em partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas) em uma dada temperatura para um peso ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.
- 3.1.2.3. Massa específica aparente (bulk) (SSD) – a proporção da massa ao ar de um volume de agregado, incluindo as massas dentro dos vazios preenchidos para a extensão alcançada pela submersão em água por 15 – 19 h (mas não incluindo os



vazios entre as partículas) a uma dada temperatura, comparada com o peso em ar de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

---

#### **4. SIGNIFICADO E USO**

4.1. A massa específica aparente (bulk) é a característica geralmente utilizada para cálculo do volume ocupado pelo agregado em várias misturas contendo agregados incluindo concreto de cimento de Portland, concreto betuminoso e outras misturas que são proporcionais ou analisadas com base em um volume absoluto. A massa específica aparente (bulk) também é usada na computação de vazios em agregados na T 19M/T 19. A massa específica aparente (bulk) determinada com base na SSD é usada se o agregado está molhado; isto é, se a absorção foi satisfeita. Por outro lado, a massa específica aparente (bulk) determinada com base na secagem em estufa é usada para computações quando o agregado está seco ou se assume que está seco.

4.2. A massa específica real pertence à densidade relativa do material sólido considerando as partículas constituintes não incluído os espaços em poros dentro das partículas que são acessíveis pela água. Este valor não é amplamente usado em construção de tecnologia de agregado.

4.3. Valores de absorção são usados para ser calculados a mudança devido à água absorvida nos espaços de poros dentro das partículas constituintes, comparadas à condição seca, quando é considerado que o agregado esteve em contato com água tempo o suficiente para satisfazer a maior parte do potencial absorvente. O padrão de laboratório para absorção é o obtido após deixar o agregado imerso em água. Agregados minerado abaixo do lençol d'água poderá ter absorção alta quando usados, se não for permitido secá-los. Por outro lado, alguns agregados quando usados podem conter uma quantidade de umidade absorvida menor do que aquela alcançada pela quantidade necessária de tempo: Para um agregado que esteve em contato com água e que está sem umidade nas partículas da superfície, a porcentagem sem umidade pode ser determinada pela dedução da absorção do teor de umidade total determinado pela T 255 por secagem.

---

#### **5. EQUIPAMENTOS**

5.1. Balança – Conforme os requisitos da M 231 Classe, G 2 (Legibilidade e Sensibilidade – 0,1 g; Precisão – 0,2 ou 0,1 por cento).

5.2. Picnômetro – Um frasco ou outro recipiente adequado o qual a amostra de agregado fino pode ser introduzida e o teor de volume pode ser reproduzido com  $\pm 100 \text{ mm}^3$ . O volume do recipiente preenchido para marcação deve ser pelo menos 50 por cento maior do que o espaço necessário para acomodar a amostra de ensaio. Um frasco volumétrico de 500 ml de capacidade ou

um jarro equipado com parte de cima do picnômetro é satisfatório para uma amostra de ensaio de 500 g da maioria dos agregados finos. Um frasco Le Chatelier como descrito na T 133 é satisfatório para uma amostra de ensaio de aproximadamente 55 g.

5.3. Molde – Um molde metálico na forma de tronco de cone com as dimensões a seguir:  $40 \pm 3$  mm de diâmetro interno na parte de cima,  $90 \pm 3$  mm de diâmetro interno na base e  $75 \pm 3$  mm em altura, com metal tendo espessura mínima de 0,8 mm.

5.4. Soquete – um soquete metálico tendo uma massa de  $340 \pm 15$  g e tendo uma face circular plana de  $25 \pm 3$  mm de diâmetro.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. A amostragem deve feita completamente de acordo com a T 2.

---

## 7. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DE ENSAIO

7.1. Obtenha aproximadamente 1 kg de agregado fino da amostra usando os procedimentos aplicáveis da T 248.

7.1.1. Seque-a em uma bandeja ou vaso até a constância de massa a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Permita-a resfriar até uma temperatura confortável para manuseio, cubra com água, por imersão ou pela adição de pelo menos 6 por cento de umidade ao agregado fino e permita ficar por 15 a 19 h.

7.1.2. Como uma alternativa a Seção 7.1.1, onde os valores de absorção e massa específica serão usados proporcionalmente em misturas de concreto com agregados usados em sua condição mais natural, o requisito para secagem inicial até a constância de massa pode ser eliminado e se as superfícies das partículas foram mantidas molhadas, a imersão necessária também pode ser eliminada.

**Nota 1** – Os valores para absorção e para massa específica na condição de SSD podem ser significativamente maiores para agregados não secos em estufa antes da imersão do que o agregado tratado de acordo com a Seção 7.1.1.

7.2. Decante o excesso de água com cuidado para evitar a perda de material fino, espalhe a amostra em uma superfície plana e não absorvente exposta à uma corrente gentil de ar morno, e mexa a amostra frequentemente para assegurar a secagem homogênea. Se desejado, métodos mecânicos como virador ou misturador podem ser empregados para ajudar a alcançar a condição de SSD. Enquanto o material começa a ficar suficientemente seco, pode ser necessário usar as mãos

com um movimento de fricção para quebrar quaisquer conglomerados, caroços ou bolas de material que foram desenvolvidas. Continue esta operação até que a amostra de ensaio esteja quase em uma condição de fluxo livre. Siga o procedimento na Seção 7.2.1 para determinar se a umidade de superfície está presente nas partículas constituintes de agregado fino. É desejado que a primeira série do ensaio de cone seja feita com a amostra um pouco úmida. Continue secando com misturas constantes e, se necessário, use as mãos com o movimento de fricção e ensaie em intervalos frequentes até que o ensaio indique que a amostra chegou à condição de SSD. Se a primeira série do ensaio de umidade de superfície indicou que a umidade não está presente na superfície, a secagem passou da condição de SSD. Neste caso, misture completamente poucos milímetros de água com agregado fino e permita a amostra a ficar em um recipiente coberto por 30 min. Então prossiga com o processo de secagem e ensaio com intervalos frequentes para a início da condição de superfície seca.

7.2.1. Ensaio de Cone para Umidade de Superfície – Segure o molde firmemente em uma superfície lisa e são absorventes com o diâmetro maior para baixo. Coloque a porção do agregado fino parcialmente seca, solta no molde preenchendo até que ocorra o transbordamento e amontoe o material adicional acima do topo do molde segurando com os dedos em forma de concha da mão segurando o molde. Aperte levemente o agregado fino no molde com 25 golpes leves do soquete. Cada golpe deve começar 5 mm (0,2 pol.) acima do topo da superfície do agregado fino. Permita o soquete a cair livremente com a atração gravitacional em cada golpe. Ajuste a altura de início à nova elevação da superfície depois de cada golpe e distribua os golpes ao longo da superfície. Remova areias soltas da base e levante o molde verticalmente. Se a umidade de superfície ainda está presente, o agregado fino irá reter mais a sua forma moldada. Quando o agregado fino desmanchar levemente, isso indica que chegou à condição de superfície seca. Alguns agregados finos angulares ou materiais com alta proporção de finos podem não desmanchar no ensaio de cone quando chegarem à condição de superfície seca. Este pode ser o caso se os finos se tornam transportado pelo ar quando se deixa cair uma mão cheia de areia sobre o cone de 100 a 150 mm acima da superfície. Para estes materiais, a condição de SSD deve ser considerada como o ponto quando um lado do agregado fino desmanchar quando removido do molde.

**Nota 2** – Os critérios a seguir também foram usados em materiais que não desmancham prontamente:

- a. *Ensaio Provisional de Cone*– Encha o molde de cone como descrito na seção 7.2.1, exceto usando 10 golpes do soquete novamente. Então adicione material mais duas vezes usando três e dois golpes do soquete, respectivamente. Nivela o material do topo do molde, retire o material solto da base e levante o molde verticalmente.
- b. *Ensaio Provisional de Superfície* – Se os finos transportados pelo ar são notados quando o agregado fino não irá desmanchar quando estiver na condição de umidade, adicione mais umidade à areia no início da condição de superfície seca, com a mão, dê tapas leves com aproximadamente 100 g de material em uma superfície plana, seca, limpa, escura ou não absorvente como uma folha de borracha, uma superfície desgastada, galvanizada, ou de aço, ou uma superfície metálica pintada de preto. Depois de 1 a 3 s, remova o agregado fino. Se umidade considerável for notada na superfície de ensaio por mais de 1 a 2 segundos, então a umidade de superfície é considerada presente no agregado fino.
- c. Procedimentos colorimétricos descritos por Kandhal e Lee, *Highway Research Record No. 307*, p. 44.
- d. Para chegar à condição de SSD em um material de tamanho único que desmancha quando úmido, papéis de acabamento duro podem ser usados para secar a superfície do material até que o ponto seja alcançado onde o papel aparente não conseguir mais absorver a umidade das superfícies das partículas de agregado fino

---

## **8. PROCEDIMENTO**

- 8.1. Faça e registre as determinações de massa a 0,1 g.
- 8.2. Encha parcialmente o picnômetro com água. Introduza imediatamente no picnômetro  $500 \pm 10$  g de agregado fino SSD preparado como descrito na Seção 7, e encha com água adicional para aproximadamente 90 por cento da capacidade. Gire, inverta e agite ou use uma combinação destas ações para eliminar todas as bolhas de ar do picnômetro (Nota 3). Conclua a agitação através de vibração externa do picnômetro de maneira que não irá degradar a amostra. Um nível de agitação ajustado somente para colocar as partículas individuais em movimento é suficiente para promover a remoção de ar sem degradação. Um agitador mecânico deve ser considerado aceitável para uso se testes de comparação para cada seis meses de uso mostrem menos variações do que o intervalo aceitável de dois resultados ( $d_{2s}$ ) indicados na Tabela 1 dos resultados de agitação manual no mesmo

material. Ajuste a temperatura para  $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  ( $73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ), se for necessária imersão em água corrente e traga o nível de água no picnômetro para a capacidade calibrada. Determine a massa total do picnômetro, amostra e água.

**Nota 3** – Normalmente leva-se próximo de 15 a 20 min para eliminar as bolhas de ar por método manuais. Mergulhar a ponta do papel toalha no picnômetro foi observado útil em dispersar a espuma que às vezes se constrói quando se elimina as bolhas de ar. Adicionar algumas gotas de álcool isopropílico, depois da remoção das bolhas de ar e logo antes de trazer a água ao nível da capacidade calibrada, também foi observado útil em dispersar a espuma da superfície da água. Não use álcool isopropílico quando usando o método alternativo descrito na Seção 8.2.1.

**Tabela 1** – Precisão

	Desvio Padrão (1s) a	Intervalo Aceitável de Dois Resultados (d2s) a
Precisão para operador único:		
Massa específica aparente (seca)	0,011	0,032
Massa específica aparente (SSD)	0,0095	0,027
Massa específica real	0,0095	0,027
Absorção,b porcentagem	0,11	0,31
Precisão multilaboratório:		
Massa específica aparente (seca)	0,023	0,066
Massa específica aparente (SSD)	0,020	0,056
Massa específica real	0,020	0,056
Absorção,b porcentagem	0,23	0,66

<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente os limites (1s) e (d2s) como descrito na ASTM C 670. As estimativas de precisão foram obtidas da análise de dados de amostras de referência de laboratórios da AASHTO Materials Reference Laboratory usando 15 a 19 h de tempo de saturação e outros laboratórios usando  $24 \pm 4$  h de tempo de saturação. Os ensaios foram realizados em agregados de massa específicas normais, e começaram com agregados na condição de superfície seca.

<sup>b</sup> As estimativas de precisão foram baseadas em agregados com absorção de menos de 1 por cento e podem diferir para agregados finos fabricados com absorção maior do que 1 por cento.

8.2.1. *Determinação Alternativa de Massa na Seção 8.2* – A quantidade adicionada de água necessária para preencher o picnômetro a temperatura necessária pode ser

determinada volumetricamente usando uma bureta com escala de 0,15 ml. Compute a massa total do picnômetro, amostra e água como a seguir:

$$C = 0,9975V_a + S + W \quad (1)$$

onde:

C= massa do picnômetro com amostra e água na marca de calibração, g;

V<sub>a</sub>= volume da água adicionado ao picnômetro, m;

S= massa da amostra SSD, g; e

W= massa do picnômetro vazio, g.

8.2.2. *Procedimento Alternativo na Seção 8.2* – Use um frasco Le Chatelier inicialmente preenchido com água para o ponto da boquilha entre a marca de 0 e 1 ml. Registre esta leitura inicial com o frasco e conteúdo dentro da temperatura de  $23,0 \pm 1,7^\circ\text{C}$  ( $73,4 \pm 3^\circ\text{F}$ ). adicione  $55 \pm 5$  g de agregado fino na condição de SSD (ou outra massa como necessário para resultar no aumento do nível de água a algum ponto acima da graduação). Depois que todo agregado fino for introduzido, coloque a rolha no frasco e gire o frasco em uma posição inclinada, ou rodopie gentilmente em um círculo horizontal, continuamente até que não venham mais bolhas para a superfície (Nota 4). Faça uma leitura final com o frasco e conteúdo dentro de  $1^\circ\text{C}$  ( $1,8^\circ\text{F}$ ) da temperatura original.

**Nota 4** – Quando se usa o método do frasco de Le Chatelier, adicionar lentamente uma pequena quantidade medida (que não exceda 1 ml) de álcool isopropílico, depois da remoção das bolhas, foi observado útil na dispersão da espuma da superfície. O volume de álcool usado deve ser subtraído da leitura final (R<sub>2</sub>).

8.3. Remova o agregado fino do picnômetro, seque até a constância de massa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ), resfrie em ar a temperatura ambiente por  $1,0 \pm 0,5$  h e determine a massa.

**Nota 5** – Em vez de secar e determinar a massa da amostra que for removida do picnômetro, uma segunda porção de amostra SSD pode ser usada para determinar a massa seca em estufa. Esta

amostra deve ser obtida ao mesmo tempo e dentro de 0,2 gramas da massa da amostra é introduzida no picnômetro.

8.3.1. Se o método do frasco de Le Chatelier for usado, uma porção separada da amostra é necessária para a determinação da absorção. Pese uma porção separada de  $500 \pm 10$  g de agregado fino SSD, seque até a constância de massa, e repese. Esta amostra deve ser obtida ao mesmo tempo que a amostra é introduzida frasco de Le Chatelier.

8.4. Determine a massa do picnômetro cheio até sua capacidade de calibração com água a  $23,0 \pm 1,7^\circ\text{C}$  ( $73,4 \pm 3^\circ\text{F}$ ).

8.4.1. *Determinação Alternativa da Massa na Seção 8.4* – A quantidade adicionada de água necessária para preencher o picnômetro a temperatura necessária pode ser determinada volumetricamente usando uma bureta com escala de 0,15 ml. Compute a massa total do picnômetro, amostra e água como a seguir:

$$B = 0,9975V + W \quad (2)$$

onde:

B= massa do frasco preenchido com água, g;

V= volume do frasco, ml; e

W= massa do frasco vazio, g.

---

## 9. MASSA ESPECÍFICA APARENTE (BULK)

9.1. Calcule a massa específica aparente (bulk),  $23/23^\circ\text{C}$  ( $73,4/73,4^\circ\text{F}$ ), como a seguir:

$$MEA\ BULK = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (3)$$

onde:

A= massa da amostra seca em estufa ao ar, g;

B= massa do picnômetro preenchido com água, g;

S= massa da amostra SSD, g;

C= massa do picnômetro com amostra e água até a marca de calibração, g;

9.2. Se o método do frasco de Le Chatelier for usado, calcule a massa específica aparente (bulk), 23/23°C, como a seguir:

$$MEA\ BULK = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (4)$$

onde:

S<sub>1</sub>= massa da amostra SSD usada no frasco de Le Chatelier, g;

R<sub>2</sub>= leitura final do nível da água no frasco de Le Chatelier; e

R<sub>1</sub>= leitura inicial do nível da água no frasco de Le Chatelier.

---

## 10. MASSA ESPECÍFICA APARENTE (BULK, BASEADA NA SUPERFÍCIE SECA SATURADA)

10.1. Calcule a massa específica aparente (bulk), 23/23°C (73,4/73,4°F), com base na massa do agregado SSD como a seguir:

$$MEA\ BULK\ (SSD) = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (5)$$

10.1.1. Se o método do frasco de Le Chatelier for usado, calcule a massa específica aparente (bulk), 23/23°C, com base na massa do agregado SSD como a seguir:

$$MEA\ BULK\ (SSD) = \frac{S_1}{0,9975(R_2 - R_1)} \quad (6)$$

---

## 11. MASSA ESPECÍFICA REAL (APPARENT)

11.1. Calcule a massa específica real, 23/23°C (73,4/73,4°F), como a seguir:

$$MER = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (7)$$



---

## 12. ABSORÇÃO

12.1. Calcule a porcentagem de absorção com a seguir:

$$\text{Absorção, porcentagem} = \left[ \frac{(S - A)}{A} \right] \times 100 \quad (8)$$

---

## 13. RELATÓRIO

13.1. Reporte os resultados da massa específica com arredondamento para 0,001 (Agregado Fino de acordo com os requisitos da M 6 pode ser reportado com arredondamento para 0,01) e absorção com arredondamento para 0,1 por cento. O Apêndice dá uma interrelação matemática entre os três tipos de massa específica e absorção. Isto pode ser útil na verificação da consistência dos dados reportados ou calculando um valor que não foi reportado usando outro dado reportado.

13.2. Se o agregado fino foi ensaiado em uma condição mais natural, outra não sendo a seca em estufa e imerso por 15 h, reporte a fonte da amostra e os procedimentos usados para prevenir a secagem antes do ensaio.

---

## 14. PRECISÃO E TENDÊNCIA

14.1. As estimativas de precisão deste método de ensaio (listadas na Tabela 1) são baseadas em resultados do AASHTO Materials Reference Laboratory Reference Sample Program, com testes conduzidos de acordo com este método e o ASTM C128. A diferença significativa entre os métodos é que o ASTM C 128 requer um período de saturação de  $24 \pm 4$  h, e a T 84 requer um período de saturação de 15 a 19 h. Foi observado que esta diferença tem efeito insignificante nos índices de precisão. Os dados estão baseados na análise de mais de 100 pares de resultados de 40 a 100 laboratórios.

14.2. Não foi aceito nenhum material de referência adequado para a determinação de tendência para o procedimento na T 84 para medição da massa específica e absorção de agregado fino, por isso nenhuma afirmação de tendência foi feita.

---

## 15. PALAVRAS-CHAVE

15.1. Absorção; agregado fino; picnômetro; superfície seca saturada (SSD); massa específica.

## APÊNDICE

(Informações Não Obrigatórias)

---

### 16. X1. PONTENCIAIS DIFERENÇAS EM MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DEVIDO A PRESENÇA DE MATERIAL MAIS FINO DO QUE 75 $\mu\text{m}$ (N° 200)

16.1. Foi observado que pode haver diferenças significativas na massa específica e absorção entre amostras de agregado fino ensaiadas com material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) presente e não presente nas amostras. Amostras as quais o material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  não foi removido geralmente dão uma absorção maior e uma massa específica aparente (bulk) menor comparado com ensaios do mesmo agregado fino a qual o material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  é removido seguindo os procedimentos da T 11. Amostras com materiais mais finos do que 75  $\mu\text{m}$  podem construir um revestimento ao redor das partículas mais graúdas do agregado fino durante o processo de secagem da superfície. A massa específica resultante e absorção que é medida subsequentemente é aquela das partículas conglomeradas e revestidas e não a do material em condição mais natural. A diferença na absorção e na massa específica determinada entra amostras as quais o material menor do que 75  $\mu\text{m}$  não foi removido depende da quantidade de material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  presente e da natureza do material. Quando o material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  é menor do que aproximadamente 4 por cento da massa, a diferença na massa específica entre amostras lavadas e não lavadas é menor do que 0,03. Quando o material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  representa mais de aproximadamente 8 por cento da massa, a diferença na massa específica obtida entre amostras lavadas e não lavadas pode ser maior do que 0,013.

16.2. O material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$ , que foi removido, pode ser assumido a ter a mesma massa específica do que o agregado fino. Alternativamente, a massa específica do material mais fino do que 75  $\mu\text{m}$  pode ser avaliada posteriormente usando a T 100; no entanto, este ensaio determina a massa específica real e não a massa específica aparente (bulk).

---

### 17. X2. INTERRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO COMO DEFINIDO NA T 84 E T 85

17.1. Seja:

$S_d$ = massa específica aparente (bulk, seca),

$S_s$ = massa específica aparente (baseada em SSD),

$S_a$ = massa específica real, e

A= absorção em porcentagem.

Então:

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (X1.1)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (X1.2)$$

Ou:

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \frac{A}{100}(S_s - 1)} \quad (X1.3)$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) 100 \quad (X1.4)$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)}\right) 100 \quad (X1.5)$$

## **T-85 - MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método cobre a determinação da massa específica e absorção de agregados graúdo. A massa específica pode ser expressa como massa específica aparente (bulk), massa específica aparente (bulk, superfície seca saturada) ou massa específica real. A massa específica aparente (bulk, SSD) e absorção são baseadas em agregado depois da imersão em água por 15 a 19 h. Este método não tem a intenção de ser usado com agregados leves.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta norma de teste pode envolver materiais perigosos, operações e equipamentos. Esta norma não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta norma de estabelecer testes seguros e saudáveis e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes de usar.

1.4. A qualidade dos resultados produzidos por esse teste depende da competência da pessoa performando o procedimento e a capacidade, calibração e manutenção do equipamento usado. Agências que usam a R 18 são geralmente consideradas capazes de fazer testes competentes e objetivos. Usuários desta norma são informados de que a R 18 sozinha não produz resultados confiáveis. Estes resultados dependem de vários fatores; seguindo as sugestões da R 18 ou alguma guia similar aceitável pode-se prover meios de avaliação e controle de alguns destes fatores.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 2 – Amostragem de Agregados
- ARTERIS T 11 – Análise Granulométrica de Agregados Passante pela Peneira de 75 µm (N° 200), por Lavagem
- ARTERIS T 84 – Massa Específica e Absorção de Agregados Finos
- ARTERIS T 248 – Redução de Amostras de Agregados Para Testes
- AASHTO M 43 – Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction
- AASHTO M 80 – Coarse Aggregate for Hydraulic Cement Concrete

- AASHTO R 18 – Estabelecendo e Implementando Sistema de Controle de Qualidade para Ensaio em Laboratório de Materiais de Construção
- AASHTO T 19M/T 19 – Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate
- AASHTO T 255 – Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM E11 – Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

---

### **3. TERMINOLOGIA**

#### **3.1. Definições:**

3.1.1. Absorção – O aumento da massa do agregado devido a água nos poros do material, mas não incluindo água aderente à superfície exterior das partículas, expressa como uma porcentagem da massa seca. O agregado é considerado “seco” quando for mantido a uma temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) por suficiente tempo para remover toda a água não combinada através do alcance da constância de massa.

3.1.2. Massa específica – a proporção da massa (ou peso ao ar) de um volume unitário de um material para o mesmo volume de água destilada sem gás a uma dada temperatura. Os valores são adimensionais.

3.1.2.1. Massa específica aparente – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de uma porção impermeável de agregado em uma dada temperatura para um peso ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

3.1.2.2. Massa específica aparente (bulk) – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de um material permeável (incluindo vazios permeáveis ou impermeáveis em partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas) em uma dada temperatura para um peso ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

3.1.2.3. Massa específica aparente (bulk) (SSD) – a proporção da massa ao ar de um volume de agregado, incluindo as massas dentro dos vazios preenchidos para a extensão alcançada pela submersão em água por 15 – 19 h (mas não incluindo os vazios entre as partículas) a uma dada temperatura, comparada com o peso em ar de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

---

#### **4. SUMÁRIO DO MÉTODO**

4.1. Uma amostra de agregado é imersa em água para essencialmente preencher os poros. Então a amostra é removida da água, a superfície das partículas é seca e a amostra é pesada. Finalmente, a amostra é seca em estufa e pesada uma terceira vez. Usando as medidas de massa e peso então obtidas e as fórmulas deste método, é possível calcular os três tipos de massa específica e absorção.

---

#### **5. SIGNIFICADO E USO**

5.1. A massa específica aparente (bulk) é a característica geralmente utilizada para cálculo do volume ocupado pelo agregado em várias misturas contendo agregados incluindo concreto de cimento de Portland, concreto betuminoso e outras misturas que são proporcionais ou analisadas com base em um volume absoluto. A massa específica aparente (bulk) também é usada na computação de vazios em agregados na T 19M/T 19. A massa específica aparente (bulk) determinada com base na SSD é usada se o agregado está molhado; isto é, se a absorção foi satisfeita. Por outro lado, a massa específica aparente (bulk) determinada com base na secagem em estufa é usada para computações quando o agregado está seco ou se assume que está seco.

5.2. A massa específica real pertence à densidade relativa do material sólido considerando as partículas constituintes não incluindo os espaços em poros dentro das partículas que são acessíveis pela água.

5.3. Valores de absorção são usados para ser calculados a mudança devido à água absorvida nos espaços de poros dentro das partículas constituintes, comparadas à condição seca, quando é considerado que o agregado esteve em contato com água tempo o suficiente para satisfazer a maior parte do potencial absorvente. O padrão de laboratório para absorção é o obtido após deixar o agregado imerso em água. Agregados minerado abaixo do lençol d'água poderá ter absorção alta quando usados, se não for permitido secá-los. Por outro lado, alguns agregados quando usados podem conter uma quantidade de umidade absorvida menor do que aquela alcançada pela quantidade necessária de tempo: Para um agregado que esteve em contato com água e que está sem umidade nas partículas da superfície, a porcentagem sem umidade pode ser determinada pela dedução da absorção do teor de umidade total determinado pela T 255.

5.4. Os procedimentos gerais descritos neste método são adequados para determinar a absorção dos agregados que tiveram outro condicionamento que não foi por imersão, como em água fervente ou saturação à vácuo. Valores obtidos para absorção por outros métodos serão diferentes dos valores obtidos pela imersão necessária, assim como a massa específica aparente (bulk, SSD).

5.5. Os poros em agregado de peso leve podem ou não se tornar preenchidos completamente com água após o período de imersão exigido. Na verdade, muitos agregados podem ficar imersos por vários dias sem satisfazer muitos dos potenciais de absorção do agregado. Portanto, este método não tem a intenção de ser usado para agregados leves.

---

## **6. EQUIPAMENTOS**

6.1. Balança – Conforme os requisitos da ET 231, Classe G 5 (Legibilidade e Sensibilidade – 1 g; Precisão – 2 g ou 0,1 por cento). A balança deve ser equipada com equipamentos adequados para suspensão do recipiente da amostra em água do centro da plataforma de pesagem ou bandeja da balança.

6.2. Recipiente de Amostra – Um cesto de arame de 3,35 mm (N° 6) ou malha mais fina, ou uma, ou um balde de aproximadamente mesma largura e altura, com a capacidade de 4 a 7 L para agregado de 37,5 mm (1 1/2 pol.) de tamanho máximo nominal ou menor, e um recipiente maior como necessário para ensaiar agregado de tamanho máximo nominal maior. O recipiente deve ser construído para prevenir retenção de ar quando for submerso.

6.3. Tanque de Água – Um tanque de água o qual a amostra e o recipiente são colocados dentro para imersão completa enquanto suspenso sobre a balança, equipado com uma saída para o excesso para manter a água a um nível constante.

6.4. Equipamento de Suspensão – Arame suspendendo o recipiente deve ser do menor tamanho prático para minimizar quaisquer efeitos possíveis de variação do comprimento de imersão.

6.5. Peneiras – Uma peneira de 4,75 mm (N° 4) ou outros tamanhos como necessário (Seções 7.2, 7.3 e 7.4), conforme a ASTM E11.

---

## **7. AMOSTRAGEM**

7.1. Amostre o agregado de acordo com a T 2.

7.2. Misture completamente a amostra de agregado e reduza-a para aproximadamente a quantidade necessária usando os procedimentos aplicáveis na T 248. Rejeite todo o material passante pela peneira de 4,75 mm (N° 4) por peneiração a seco e lave totalmente para remover a poeira ou outros revestimentos da superfície. Se o agregado gráudo contém uma quantidade substancial de material mais fino do que a peneira de 4,75 mm (N° 4) (como o tamanho N° 8 e 9 de agregados na M 43), use a peneira de 2,36 mm (N° 8) no lugar da 4,75 mm (N° 4). Alternativamente, separe o material mais fino do que a peneira de 4,75 mm (N° 4) e ensaie o material mais fino de acordo com a T 84.

7.3. A massa mínima da amostra de ensaio a ser usada é dada abaixo. Em várias instâncias, pode ser desejável ensaiar um agregado graúdo em várias frações de tamanho separadas; e se a amostra contém mais de 15 por cento retido na peneira de 37,5 mm (1 1/2 pol.), ensaie o material maior do que 37,5 mm em uma ou mais frações de tamanho separadamente das frações de tamanho menores. Quando um agregado é ensaiado em frações de tamanho separadas, a massa mínima da amostra de ensaio para cada fração deve ser a diferença entre as massas prescritas para os tamanhos mínimos e máximos da fração.

Tamanho Mínimo Nominal, mm (pol.)	Massa Mínima da Amostra de Ensaio, kg (lg)
12,5 (1/2) ou menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 1/2)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

7.4. Se a amostra é ensaiada em duas ou mais frações de tamanho, determine a granulometria do material de acordo com a T 27, incluindo as peneiras usadas para separar as frações de tamanho para as determinações deste método. No cálculo da porcentagem do material em cada fração de tamanho, ignore a quantidade de material mais fino do que a peneira de 4,75 mm (N° 4) ou do que a peneira de 2,36 mm (N° 8) quando a peneira usada estiver de acordo com a Seção 7.2.

## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Seque amostra de ensaio até a constância de massa de acordo com a T 255 a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ), resfrie a amostra ao ar a temperatura ambiente por 1 a 3h para amostras de ensaio de 37,5 (1 1/2 pol.) tamanho máximo nominal, ou por mais tempo para tamanhos maiores, até que o agregado tenha resfriado a uma temperatura que é confortável para manuseio (aproximadamente  $50^\circ\text{C}$  ( $122^\circ\text{F}$ )). Subsequentemente submerja o agregado em água a temperatura ambiente por um período de 15 a 19 h.



**Nota 1** – Quando ensaiando agregado graúdo de tamanho nominal máximo grande requisitando amostras de ensaio maiores, pode ser mais conveniente realizar este ensaio em duas ou mais subamostras, e os valores obtidos combinados para a computação conforme a Seção 9.

8.2. Onde os valores de absorção e a massa específica são usados para proporcionar misturas de concreto com agregados usados em sua condição mais natural, o requisito para secagem inicial até a constância de massa pode ser eliminado e se as superfícies das partículas foram mantidas molhadas, a imersão necessária também pode ser eliminada.

**Nota 2** – Os valores para absorção e para massa específica na condição de SSD podem ser significativamente maiores para agregados não secos em estufa antes da imersão do que o agregado tratado de acordo com a Seção 8.1. Isto é especialmente verdadeiro para partículas maiores do que 75 mm (3 pol.) porque a água pode não ser capaz de penetrar os poros o centro da partícula no período de imersão exigido.

8.3. Remova a amostra de ensaio da água e enrole-a em uma toalha absorvente grande até que toda a parte visível de água seja removida. Enxugue as partículas maiores individualmente. Uma corrente de ar pode ser usada para ajudar na operação de secagem. Tome cuidado para evitar a evaporação da água dos poros dos agregados durante a operação de secagem de superfície. Se a amostra de ensaio secar mais do que a condição de SSD, submerja em água por 30 in, então resume o processo de secagem de superfície. Determine a massa da amostra na condição de SSD. Registre-a e todas as massas subsequentes com arredondamento para 1,0 g ou 0,1 por cento da massa da amostra, o que for maior.

8.4. Após determinar a massa, imediatamente coloque a amostra de ensaio SSD no recipiente de amostra e determine a massa a  $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  ( $73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ), tendo uma densidade de  $997 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ . Tome cuidado para remover todo o ar preso antes de determinar a massa chacoalhando o recipiente enquanto imerso. Mantenha o nível da água no banho ao nível de excesso para obter um nível de água constante durante o ensaio.

**Nota 3** – O recipiente deve ser imerso a uma profundidade suficiente para cobri-lo e a amostra de ensaio durante a determinação de massa. O arame substituindo o recipiente deve ser do menor tamanho prático para minimizar quaisquer efeitos possíveis de variação do comprimento de imersão.

8.5. Seque amostra de ensaio até a constância de massa de acordo com a T 255 a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ), resfrie a amostra ao ar a temperatura ambiente por 1 a 3h, ou até que o agregado tenha resfriado a uma temperatura que é confortável para manuseio (aproximadamente  $50^\circ\text{C}$  ( $122^\circ\text{F}$ )), e determine a massa. Use este peso como A nos cálculos da Seção 9.

---

## 9. CÁLCULOS

9.1. Massa específica:

9.1.1. Massa Específica Aparente (bulk) – Calcule a massa específica aparente (bulk),  $23/23^\circ\text{C}$  ( $73,4/73,4^\circ\text{F}$ ), como a seguir:

$$MEA (BULK) = \frac{A}{(B - C)} \quad (1)$$

onde:

A= massa ao ar da amostra de ensaio seca em estufa, g;

B= massa ao ar da amostra de ensaio SSD, g; e

C= massa em água da amostra saturada, g.

9.1.2. Massa Específica Aparente (bulk, SSD) – Calcule a massa específica aparente (bulk),  $23/23^\circ\text{C}$  ( $73,4/73,4^\circ\text{F}$ ), com base na massa do agregado SSD como a seguir:

$$MEA (SSD) = \frac{B}{(B - C)} \quad (2)$$

9.1.3. Massa Específica Real (Apparent) – Calcule a massa específica real,  $23/23^\circ\text{C}$  ( $73,4/73,4^\circ\text{F}$ ), como a seguir:

$$MER = \frac{A}{(A - C)} \quad (3)$$

9.2. Valores de Massa Específica Média – Quando a amostra é ensaiada em frações de tamanho separadas, o valor médio para massa específica aparente (bulk), massa específica aparente (bulk, SSD) ou massa específica real pode ser computado como uma média ponderada dos valores as computados de acordo com a Seção 9.1 usando a seguinte equação

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_n}{100G_n}} \quad (4)$$

onde:

$G$  = massa específica média (todas as formas de expressão da massa específica podem ser calculadas em média desta maneira);

$P_1, P_2...P_n$  = percentagem das massas de cada fração presente na amostra original; e

$G_1, G_2...G_n$  = valores de massa específica apropriados para cada fração dependendo do tipo de média de massa específica sendo calculada.

**Nota 4** – Alguns usuários deste método podem desejar expressar os resultados em termos de densidade. A densidade pode ser determinada multiplicando a massa específica aparente (bulk), massa específica aparente (bulk, SSD) ou massa específica real pela densidade da água (997,5 kg/m<sup>3</sup> ou 0,9975 Mg/m<sup>3</sup> ou 62,27 lb/ft<sup>3</sup> a 23°C). Algumas autoridades recomendam usar esta densidade da água a 4°C (1.000 kg/m<sup>3</sup> ou 1.000 Mg/m<sup>3</sup> ou 62,43 lb/ft<sup>3</sup>) como sendo precisa o suficiente. A terminologia de densidade correspondente à massa específica aparente (bulk), massa específica aparente (bulk, SSD) ou massa específica real ainda não foi padronizada.

9.3. *Absorção* – Calcule a percentagem de absorção, como a seguir:

$$\text{absorção, percentagem} = \left[ \frac{(B - A)}{A} \right] \times 100 \quad (5)$$

9.4. *Valor de Absorção Médio* – Quando a amostra é ensaiada em frações de tamanho separadas, a média do valor de absorção é a média dos valores computados na Seção 9.3, pesados em proporção às percentagens das massas das frações de tamanho na amostra original como a seguir:

$$A = \left( \frac{P_1 A_1}{100} \right) + \left( \frac{P_2 A_2}{100} \right) + \dots + \left( \frac{P_n A_n}{100} \right) \quad (6)$$

onde:

$A$  = absorção média, percentagem;

$P_1, P_2...P_n$  = percentagem das massas de cada fração presente na amostra original; e

$G_1, G_2...G_n$  = porcentagens de absorção para cada fração de tamanho.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. Reporte os resultados da massa específica com arredondamento para 0,001 (Agregado Graúdo de cordo com os requisitos da M 80 pode ser reportado com arredondamento para 0,01) e indique o tipo da massa específica, se bulk, bulk (SSD) ou real.

10.2. Reporte o resultado da absorção com arredondamento para 0,1 por cento.

10.3. Se os valores de massa específica e absorção foram determinados sem a primeira secagem de agregado, com permitido na Seção 8.2, eles não devem ser reportados.

---

## 11. PRECISÃO E TENDÊNCIA

11.1. As estimativas de precisão deste método de ensaio (listadas na Tabela 1) são baseadas em resultados do AASHTO Materials Reference Laboratory Reference Sample Program, com testes conduzidos de acordo com este método e o ASTM C127. A diferença significativa entre os métodos é que o ASTM C 127 requer um período de saturação de  $24 \pm 4$  h, e a T 85 requer um período de saturação de 15 a 19 h. Foi observado que esta diferença tem efeito insignificante nos índices de precisão. Os dados estão baseados na análise de mais de 100 pares de resultados de 40 a 100 laboratórios.

**Tabela 1 - Precisão**

	Desvio Padrão (1s) <sup>a</sup>	Intervalo Aceitável de Dois Resultados (d2s) <sup>a</sup>
<i>Precisão para operador único:</i>		
Massa específica aparente (seca)	0,009	0,025
Massa específica aparente (SSD)	0,007	0,020
Massa específica real	0,007	0,020
Absorção, <sup>b</sup> porcentagem	0,088	0,25
<i>Precisão multilaboratório:</i>		
Massa específica aparente (seca)	0,013	0,038
Massa específica aparente (SSD)	0,011	0,032
Massa específica real	0,011	0,032
Absorção, <sup>b</sup> porcentagem	0,145	0,41

<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente os limites (1s) e (d2s) como descrito na ASTM C 670. As estimativas de precisão foram obtidas da análise de dados de amostras de referência de laboratórios da AASHTO Materials Reference Laboratory usando um mínimo de tempo de saturação

e outros laboratórios usando  $24 \pm 4$  h de tempo de saturação. Os ensaios foram realizados em agregados de massa específicas normais, e começaram com agregados na condição de superfície seca.

<sup>b</sup> As estimativas de precisão foram baseadas em agregados com absorção de menos de 2 por cento.

11.2. Não foi aceito nenhum material de referência adequado para a determinação de tendência para o procedimento deste método, por isso nenhuma afirmação de tendência foi feita.

---

## 12. PALAVRAS-CHAVE

12.1. Absorção; agregado graúdo; picnômetro; superfície seca saturada (SSD); massa específica.

## APÊNDICE

(Informações Não Obrigatórias)

---

## 13. DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES

13.1. A derivação da equação é aparente dos seguintes casos simplificados usando dois sólidos. O Sólido 1 tem a massa  $W_1$  em gramas e um volume  $V_1$  em milímetros; a sua massa específica ( $G_1$ ) é, portanto,  $W_1/V_1$ . Sólido 2 tem a massa  $W_2$  e o volume  $V_2$ , e  $G_2 = W_2/V_2$ . Se os dois sólidos são considerados juntos, a massa específica da combinação é a massa total em gramas dividida pelo volume total em milímetros:

$$G = \frac{(W_1 + W_2)}{V_1 + V_2} \quad (X1.1)$$

A manipulação desta fórmula produz o seguinte:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{W_1 + W_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{W_1 + W_2} + \frac{V_2}{W_1 + W_2}} \quad (X1.2)$$

$$G = \frac{1}{\frac{W_1}{W_1 + W_2} \left(\frac{V_1}{W_1}\right) + \frac{W_2}{W_1 + W_2} \left(\frac{V_2}{W_2}\right)} \quad (X1.2)$$

Contudo, as frações da massa dos dois sólidos são:

$$\frac{W_1}{(W_1 + W_2)} = \frac{P_1}{100} \quad (X1.4)$$

E:

$$\frac{W_2}{(W_1 + W_2)} = \frac{P_2}{100} \quad (X1.5)$$

E:

$$\frac{1}{G_1} = \frac{V_1}{W_1} \text{ e } \frac{1}{G_2} = \frac{V_2}{W_2} \quad (X1.6)$$

Portanto:

$$G = \frac{1}{\left(\frac{P_1}{100}\right)\left(\frac{1}{G_1}\right) + \left(\frac{P_2}{100}\right)\left(\frac{1}{G_2}\right)} \quad (X1.7)$$

Um exemplo da computação é dado na Tabela X1.1.

**Tabela 13.1** – Exemplo de Cálculo da Média dos Valores de Massa Específica e Absorção para um Agregado Graúdo em Tamanhos Separados

Tamanho da Fração, mm (pol.)	Porcentagem na Amostra Original	Massa Específica Aparente (bulk, SSD) <sup>a</sup>	Massa da amostra usado no Ensaio, g	Absorção
4,75 a 12,5 (N° 4 a 1/2)	44	2,72	2212,0	0,4
12,5 a 37,5 (1/2 a 1 1/2)	35	2,56	5462,5	2,5
37,5 a 63 (1 1/2 a 2 1/2)	21	2,54	12593,0	3,0

<sup>a</sup> Média da massa específica (SSD)

$$G_{SSD} = \frac{1}{\left(\frac{0,44}{2,72}\right) + \left(\frac{0,35}{2,56}\right) + \left(\frac{0,21}{2,54}\right)} = 2,62 \quad (X1.8)$$

Absorção Média:

$$A = (0,44)(0,4) + (0,35)(2,5) + (0,21)(3,0) = 1,7\% \quad (X1.9)$$

---

## 14. INTERRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO COMO DEFINIDO NA T-84 E T-85

14.1. Seja:

$S_d$  = massa específica aparente (bulk, seca),

$S_s$  = massa específica aparente (baseada em SSD),

$S_a$  = massa específica real, e

A = absorção em porcentagem.

Então:

$$S_s = \left( \frac{1 + A}{100} \right) S_d \quad (X2.1)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (X2.2)$$

Ou:

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 - A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \frac{A}{100}(S_s - 1)} \quad (X2.3)$$

$$A = \left( \frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad (X2.4)$$

$$S_s = \left( \frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)} \right) 100 \quad (X2.5)$$

## **T-100 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS COM O DENSÍMETRO ELÉTRICO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método tem por objetivo determinar a densidade de pavimentos asfálticos em execução ou recém executados através da utilização do densímetro elétrico.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

2.1. PQI T-380 – Pavement Quality Indicator

---

### **3. TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO**

3.1. Para determinação da densidade de pavimentos asfálticos, o densímetro elétrico utiliza a tecnologia de espectroscopia de impedância, que consiste em colocar a amostra do material sob investigação entre dois eletrodos, aplicar um estímulo elétrico e medir a resposta resultante.

---

### **4. TERMINOLOGIA**

4.1. Massa específica aparente de sólidos: é a razão entre o peso de amostra e seu determinado volume.

---

### **5. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

5.1. O Densímetro Elétrico tem por objetivo determinar, através de processo não destrutivo, a massa específica aparente da camada de revestimentos asfálticos em execução ou recém-construídos, bem como o mapeamento de locais não conformes para correções pontuais em acordo com a diretoria de manutenção e conserva da Arteris. A massa específica aparente é utilizada para calcular valores de porcentagem de vazios de ar (%Va) em uma mistura asfáltica usinada a quente compactada.

---

### **6. APARELHO E REQUISITOS OPERACIONAIS**

6.1. Para realização das medidas, deve ser utilizado o aparelho Transtech, modelo PQI T-380, conforme modelo abaixo:

6.2.



**Figura 1** - Densímetro Elétrico



**Fonte:** Manual Pavement Quality Indicator

- Temperatura ambiente: -20° a 40°C
- Umidade relativa: 10% a 90%, sem condensação

---

## **7. CONFIGURAÇÃO DO DENSÍMETRO**

7.1. Antes de utilizar o densímetro PQI T-380 pela primeira vez é necessário realizar a configuração de parâmetros conforme abaixo:

- Iniciar o aparelho;
- Definir a data e hora local;
- Configuração do GPS;
- Configurar as unidades de medida;
- Inserir os detalhes da obra;
- Inserir os parâmetros da mistura asfáltica a ser avaliada;
- Ativar o armazenamento de dados;
- Iniciar o levantamento no modo média de 5 pontos.

## 8. CALIBRAÇÃO DO OFFSET

8.1. Para melhores resultados, o método de calibração do corpo de prova é o método mais preciso para se calibrar o PQI T-380.

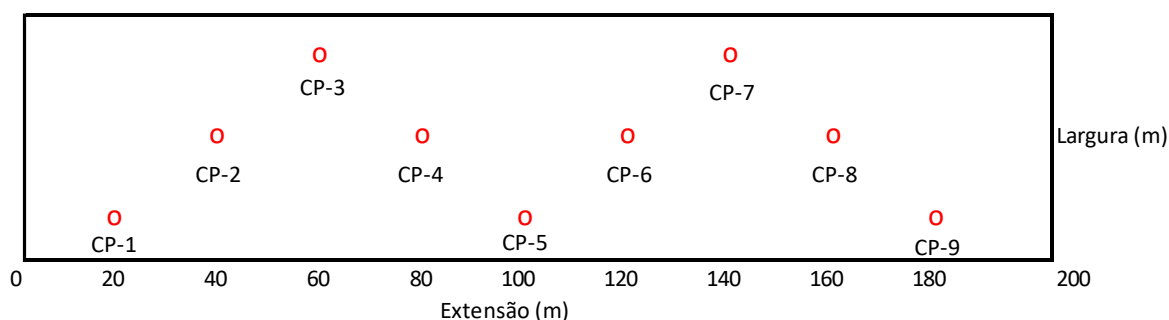
8.2. É necessário realizar a calibração do "OFFSET" para cada tipo de mistura asfáltica a ser avaliada. Define-se como "OFFSET" a diferença entre valores obtidos pelo densímetro e valores medidos em corpos de prova extraídos do mesmo ponto de análise.

8.3. As medições de densidade para determinação do "OFFSET" deverão ser realizadas quando a temperatura do pavimento se encontrar o mais próximo possível da temperatura em que serão realizadas as medições finais, para fins de controle de qualidade.

8.4. Para calibração do "OFFSET", é imprescindível que a mistura asfáltica apresente as características de projeto conforme condições abaixo:

- Teor de ligante dentro da tolerância admissível  $\pm 0,2\%$  do teor ótimo de projeto.
- A granulometria deve atender as tolerâncias admissíveis da faixa de trabalho.
- A massa específica efetiva da mistura de agregados, não pode apresentar variações acima das tolerâncias admissíveis em projeto  $\pm 0,040 \text{ g/cm}^3$ .
- A quantidade de corpos de prova para definição do "OFFSET" deve ser igual ou superior a 9 amostras, em sequência alternada de posicionamento, bordo direito, eixo e bordo esquerdo, conforme esquema abaixo.

Figura 2 - Determinação dos Pontos de Ensaio



- Deverá ser determinado o intervalo de confiança (t-student) de 99% para o valor médio do OFFSET, de acordo com a equação abaixo:

$$OFFSET1 = \bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$OFFSET2 = \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média das diferenças verificadas entre os valores de densidade obtidos pelo densímetro e os valores medidos nos corpos de prova.

t = Distribuição de probabilidade T-student (Tabela 1)

$\alpha$  = (1- Nível de confiança)

n = Quantidade de amostras

n-1 = Graus de liberdade

s = Desvio padrão amostral

**Nota** - Deverão ser considerados apenas corpos de prova com volume de vazios entre 3% e 8% para determinação dos valores de OFFSET. Qualquer corpo de prova que não satisfaça esta condição deverá ser eliminado da análise.

Tabela 1 - Tabela T: Distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade em um teste bicaudal

Grau de liberdade	Probabilidade para um teste bicaudal ( $\alpha$ )													
	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0787	0,1584	0,3249	0,5095	0,7265	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6192
2	0,0708	0,1421	0,2887	0,4447	0,6172	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,0681	0,1366	0,2767	0,4242	0,5844	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,0667	0,1338	0,2707	0,4142	0,5686	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,0659	0,1322	0,2672	0,4082	0,5594	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,0654	0,1311	0,2648	0,4043	0,5534	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,0650	0,1303	0,2632	0,4015	0,5491	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,0647	0,1297	0,2619	0,3995	0,5459	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,0645	0,1293	0,2610	0,3979	0,5435	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,0643	0,1289	0,2602	0,3966	0,5415	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,0642	0,1286	0,2596	0,3956	0,5399	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370
12	0,0640	0,1283	0,2590	0,3947	0,5386	0,6955	0,8726	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,0639	0,1281	0,2586	0,3940	0,5375	0,6938	0,8702	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2208
14	0,0638	0,1280	0,2582	0,3933	0,5366	0,6924	0,8681	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	4,1405
15	0,0638	0,1278	0,2579	0,3928	0,5357	0,6912	0,8662	1,0735	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467	4,0728
16	0,0637	0,1277	0,2576	0,3923	0,5350	0,6901	0,8647	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	4,0150
17	0,0636	0,1276	0,2573	0,3919	0,5344	0,6892	0,8633	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,9651
18	0,0636	0,1274	0,2571	0,3915	0,5338	0,6884	0,8620	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,9216
19	0,0635	0,1274	0,2569	0,3912	0,5333	0,6876	0,8610	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,8834
20	0,0635	0,1273	0,2567	0,3909	0,5329	0,6870	0,8600	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8495
21	0,0635	0,1272	0,2566	0,3906	0,5325	0,6864	0,8591	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,8193
22	0,0634	0,1271	0,2564	0,3904	0,5321	0,6858	0,8583	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,7921
23	0,0634	0,1271	0,2563	0,3902	0,5317	0,6853	0,8575	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,7676
24	0,0634	0,1270	0,2562	0,3900	0,5314	0,6848	0,8569	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,7454
25	0,0633	0,1269	0,2561	0,3898	0,5312	0,6844	0,8562	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,7251
26	0,0633	0,1269	0,2560	0,3896	0,5309	0,6840	0,8557	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,7066
27	0,0633	0,1268	0,2559	0,3894	0,5306	0,6837	0,8551	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,6896

Grau de liberdade	Probabilidade para um teste bicaudal ( $\alpha$ )													
	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
<b>28</b>	0,0633	0,1268	0,2558	0,3893	0,5304	0,6834	0,8546	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,6739
<b>29</b>	0,0633	0,1268	0,2557	0,3892	0,5302	0,6830	0,8542	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,6594
<b>30</b>	0,0632	0,1267	0,2556	0,3890	0,5300	0,6828	0,8538	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,6460
<b>60</b>	0,0630	0,1262	0,2545	0,3872	0,5272	0,6786	0,8477	1,0455	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	3,4602
<b>90</b>	0,0629	0,1260	0,2541	0,3866	0,5263	0,6772	0,8456	1,0424	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316	3,4019
<b>120</b>	0,0628	0,1259	0,2539	0,3862	0,5258	0,6765	0,8446	1,0409	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174	3,3735
<b>150</b>	0,0628	0,1259	0,2538	0,3861	0,5255	0,6761	0,8440	1,0400	1,2872	1,6551	1,9759	2,3515	2,6090	3,3566
<b>180</b>	0,0628	0,1258	0,2537	0,3859	0,5253	0,6759	0,8436	1,0394	1,2863	1,6534	1,9732	2,3472	2,6034	3,3454
<b>210</b>	0,0628	0,1258	0,2537	0,3858	0,5252	0,6757	0,8433	1,0390	1,2856	1,6521	1,9713	2,3442	2,5994	3,3375
<b>240</b>	0,0628	0,1258	0,2536	0,3858	0,5251	0,6755	0,8431	1,0387	1,2851	1,6512	1,9699	2,3420	2,5965	3,3315

8.5. A tabela abaixo mostra o exemplo para determinação do Intervalo de Confiança de 99% para o valor médio do OFFSET (limite superior e inferior), através da avaliação das diferenças entre as massas específicas de pista (corpos de prova) e a densidade obtida pelo densímetro elétrico.

Figura 3 Dados para determinação do OFFSET

Localização	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	CP-6	CP-7	CP-8	CP-9	CP-10	CP-11	CP-12	CP-13
<b>Massa Específica Aparente CP (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,420	2,297	2,376	2,354	2,389	2,377	2,406	2,340	2,388	2,359	2,326	2,353	2,349
<b>Densidade PQI (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,340	2,325	2,330	2,345	2,338	2,333	2,335	2,328	2,338	2,335	2,389	2,423	2,297
<b>Diferença</b>	0,080	-0,028	0,046	0,009	0,051	0,044	0,071	0,012	0,050	0,024	-0,063	-0,070	0,052

<b>Média</b>	0,021
<b>Desvio Padrão (s)</b>	0,048
<b>N</b>	13
<b><math>\alpha</math> (1-0,99)</b>	0,010
<b>Graus de liberdade (N-1)</b>	12
<b>Estatística T</b>	3,055

<b>OFFSET Superior</b>	0,062
<b>OFFSET Inferior</b>	-0,019

Fonte: CDT (Centro de Desenvolvimento Tecnológico)

8.6. Uma vez que deverão ser utilizados dois valores de OFFSET, eles deverão ser inseridos posteriormente no laboratório.

## 9. PROCEDIMENTO AVALIAÇÃO DA CAMADA ASFÁLTICA EXECUTADA

9.1. O controle de espessura deve ser realizado na caixa de fresagem a cada 20 metros pela média aritmética de, no mínimo, 3 (três) medidas, com linha e trena, (bordo esquerdo, centro e bordo direito).

9.2. As leituras com o densímetro elétrico não podem ser realizadas após períodos de chuva ou com o pavimento molhado. Cada camada executada deve ser avaliada individualmente, ou seja, não é permitida a avaliação de mais do que uma camada por leitura do equipamento.

9.3. Antes do início do levantamento, o responsável pela fiscalização da Arteris deverá verificar a configuração do densímetro conforme os passos abaixo:

- “Standartization” Padronização dos anéis de leitura (a placa é exclusiva para cada densímetro);
- “Project” Verificação das informações da obra;
- “Moldes” O modo de leitura a ser utilizado, será a média de 5 pontos;
- “Units” Unidades de medida (SI);
- “Mix” Parâmetros da mistura asfáltica e espessura de medição

**Nota 3** - A espessura de medição mínima deverá ser de 35mm.

- “Date & Time” Data e hora conforme horário local;
- “Data Logging” Ativação do armazenamento de dados;

9.4. Após a verificação das condições para operação do densímetro elétrico, o responsável pela fiscalização da Arteris deverá definir previamente, através de pré-marcação com tinta, os pontos onde serão realizadas as leituras. Tais leituras devem ser realizadas em intervalos máximos de 10 metros para segmentos com extensão inferior a 400 metros e intervalos máximos de 20 metros para segmentos com extensão superior a 400 metros, em pontos alternados (bordo direito, eixo e bordo esquerdo). Os locais onde apresentarem segregação devem ser removidos antes do início do processo de compactação da mistura asfáltica, em caso da não remoção desses pontos, o responsável pela fiscalização da Arteris, deverá direcionar a pré-marcação exatamente em cima dos pontos segregados, mesmo não tendo apoio total da base do aparelho.

**Nota 4** - Apenas a fiscalização da Arteris tem a autonomia para definir os pontos ou relocar caso necessário.

9.5. Após realização de todas as leituras do segmento, o responsável pela fiscalização da Arteris deve realizar a importação dos dados imediatamente e enviar ao laboratório responsável para emissão do laudo.

**Nota 5** - Não será permitida a utilização do Densímetro Elétrico após a ocorrência de chuvas sobre a camada recém executada.

---

## **10. VERIFICAÇÃO DA CONFIABILIDADE DAS LEITURAS**

10.1. Para aferição das leituras realizadas com o densímetro, deve ser realizado a cada 3.000 m<sup>3</sup> ou a cada 15 dias de serviços trabalhados por frente de serviço os ensaios comparativos entre as densidades de pista obtidas através do densímetro e as densidades de pista obtidas através dos ensaios com corpos de prova extraídos.

**Nota 5** - A fiscalização da Arteris pode alterar a frequência da verificação da confiabilidade das leituras em função dos resultados obtidos.



## T-101 - CALIBRAÇÃO DO DENSÍMETRO ELÉTRICO PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

---

### 1. ESCOPO

1.1. Este procedimento tem por objetivo determinar a metodologia e periodicidade para calibração do densímetro elétrico para avaliação de pavimentos asfálticos.

---

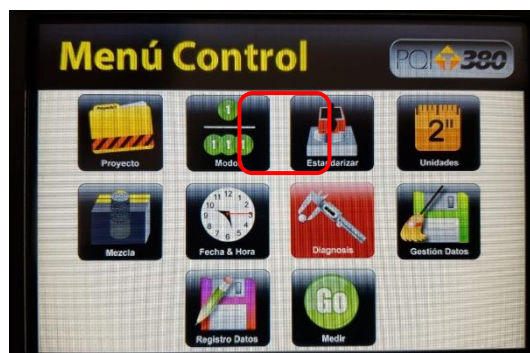
### 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. PQI T-380 – Pavement Quality Indicator

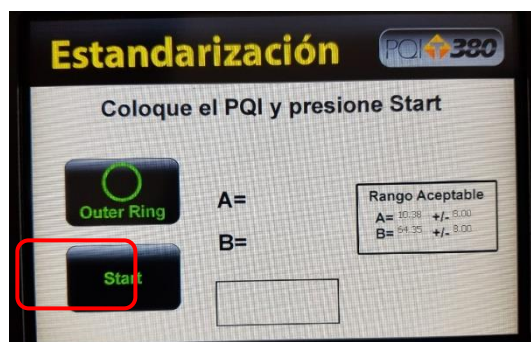
---

### 3. METODOLOGIA

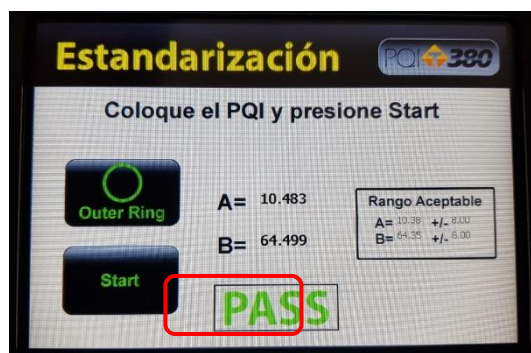
3.1. O Densímetro Elétrico vem equipado com uma placa padrão para conferência dos parâmetros de calibração do equipamento. A verificação da conformidade dos padrões de medição deverá ser realizada ao início de todos os trabalhos de medição, e os serviços só poderão ser iniciados caso os parâmetros se encontrem em conformidade com os limites especificados pelo fabricante, conforme descrito nas figuras abaixo.



**Figura 3** – Tela Inicial para verificação da conformidade dos padrões de medição



**Figura 4** – Inicialização do procedimento de verificação após posicionamento do Densímetro sobre a placa de calibração



**Figura 5** – Parâmetros de medição aceitos

3.2. Adicionalmente, a calibração dos sensores dos densímetros elétricos deverá ser realizada, de acordo com a periodicidade descrita no item 4, pela empresa fabricante dos equipamentos, ou por outra instalação de calibração autorizada pela Transtech Systems, de acordo com os padrões e procedimentos prescritos pela Transtech Systems Inc.

#### 4. PERIODICIDADE

4.1. A calibração dos equipamentos deverá ser realizada por empresa autorizada sempre que os parâmetros de medição/calibração do equipamento não forem aceitos, ou quando houver dificuldades na obtenção de valores de OFFSET confiáveis (valores que levem à obtenção de resultados gerais próximos aos resultados de amostras extraídas de pista). Complementarmente, a calibração deverá ser realizada por empresa autorizada pela Transtech Systems a cada 5 anos, com o intuito de garantir a precisão das medições em pista.

## **T-104 - SANIDADE DOS AGREGADOS PELO USO DO SULFATO DE SÓDIO OU MAGNÉSIO**

---

### **1. RESUMO**

1.1. Esse método cobre o procedimento para ser seguido no teste de agregados para determinar a resistência para desintegração por soluções saturadas de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio. Isso é resultante de repetidas imersões em soluções saturadas de sódio ou sulfato de magnésio seguido por secagem em estufa para parcialmente ou completamente desidratar o sal precipitado nos vazios permeáveis dos poros. A força de expansão interna derivada da reidratação do sal pela reimersão, simula a expansão da água no congelamento. Este método fornece informações úteis em julgar a sanidade dos agregados sujeitos à ação do tempo, particularmente quando informações adequadas não estão disponíveis nos registros do material exposto às condições atuais de tempo. Atenção é necessária ao fato de que os resultados do teste pelo uso de dois sais diferem consideravelmente e é preciso exercer cuidado em fixar limites em qualquer especificação que pode incluir requerimentos destes testes.

1.2. Os valores listados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta norma de teste pode envolver materiais perigosos, operações e equipamentos. Esta norma não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta norma de estabelecer testes seguros e saudáveis e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes de usar. Informações regulatórias sobre materiais químicos usadas nessa norma podem ser encontradas em 29 CFR 1910.1200.

1.4. A qualidade dos resultados produzidos por esse teste depende da competência da pessoa performando o procedimento e a capacidade, calibração e manutenção do equipamento usado. Agências que usam a R 18 são geralmente consideradas capazes de fazer testes competentes e objetivos. Usuários desta norma são informados de que a R 18 sozinha não produz resultados confiáveis. Estes resultados dependem de vários fatores; seguindo as sugestões da R 18 ou alguma guia similar aceitável pode-se prover meios de avaliação e controle de alguns destes fatores.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET-321 – Instrumentos de pesagem usados em ensaios de materiais

- ARTERIS T-27– Análise granulométrica para agregados graúdos e finos
- AASHTO R 18 – Estabelecendo e Implementando Sistema de Controle de Qualidade para Ensaio em Laboratório de Materiais de Construção
- ASTM C 670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM E 11 – Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves
- ASTM E 100 – Standard Specification for ASTM Hydrometers

---

### 3. EQUIPAMENTOS

3.1. Peneiras – Com aberturas quadradas seguindo os tamanhos conforme a ASTM E11, para peneiras amostras de acordo com as Seções 5, 6 e 8:

4,75 mm	(nº. 4)	63 mm	(2 ½ pol.)
4,00 mm	(nº. 5)	50 mm	(2 pol.)
2,36 mm	(nº. 8)	37,5 mm	(1 ½ pol.)
1,18 mm	(nº. 16)	31,5 mm	(1 ¼ pol.)
600 µm	(nº. 30)	25,0 mm	(1 pol.)
300 µm	(nº. 50)	19,0 mm	(3/4 pol.)
150 µm	(nº. 100)	16,0 mm	(5/8 pol.)
		12,5 mm	(1/2 pol.)
		9,5 mm	(3/8 pol.)
		8,0 mm	(5/16 pol.)

3.2. Recipientes para Amostras – Peneiras com 203,2 mm (8 pol.) de diâmetro para cada tamanho separado de agregado durante o teste. Peneiras usadas, peneiras fora de tolerância de acordo com ASTM E11, em condições aceitáveis, podem ser usadas como recipientes.

3.2.1. Agregado Graúdo – 2,36 mm (Nº 8) de tamanho.

3.2.2. Agregado Fino – 250 µm (Nº 60) de tamanho.

**Nota 1** – Peneiras de 203,2 mm (8 pol.) de diâmetro podem ser substituídas por recipientes que permitam acesso livre de solução na amostra e façam a drenagem da solução da amostra sem perda de agregado. Substituição de recipientes pode afetar os resultados. Testes de referência, testes de comparação ou teste de agregado para ser usado em aplicações críticas devem ser peneirados usando peneiras de 203,2 mm (8 pol.) de diâmetro.

3.3. Equipamento para imersão de amostras em soluções (opcional) – Quando necessário, equipamento para segurar as peneiras contendo as amostras para imersão na solução pode ser construído de maneira que permita acesso livre da solução na amostra e que faça a drenagem da solução da amostra.

3.4. Regulagem de Temperatura – Formas adequada de regulagem de temperatura das amostras durante a imersão na solução de sulfato de sódio e na solução de sulfato de magnésio podem ser provisionadas.

3.5. Termômetros – Um termômetro acompanhando o intervalo de temperatura recomendado das soluções durante o teste com escala de  $0,1^{\circ}\text{C}$  ( $0,2^{\circ}\text{F}$ ).

3.6. Registro de Temperatura – Uma unidade capaz de registrar a temperatura da solução no mínimo a cada 10 min para a duração do teste com uma precisão de  $0,3^{\circ}\text{C}$  ( $0,5^{\circ}\text{F}$ ).

3.7. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, ter escala de 0.1 por cento da massa da amostra ou melhor, e conforme requisitos da M 231.

3.8. Estufa – A estufa deve ser capaz de ser aquecida continuamente a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) e uma taxa de evaporação, nesse intervalo de temperatura, de pelo menos 25 g/h por 4 h, período que a porta da estufa deve estar fechada. Essa pequena determinada pela perda de água da proveta Griffin com formato baixo de 1 litro, cada um contendo 500 g de água na temperatura de  $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $70 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ), colada em cada canto e no meio da estufa. A evaporação requisitada serve para ser aplicada em todos os locais de testes quando a estufa está vazia com exceção da proveta de água.

3.9. Medidor de massa específica – Hidrômetros seguindo os requisitos da ASTM E100, ou uma combinação adequada de provetas graduadas e balança, capazes de medir a massa da solução com precisão de  $\pm 0,001$ .

---

#### 4. SOLUÇÕES ESPECIAIS NECESSÁRIAS

4.1. Prepare a solução para a imersão de amostras de teste de sulfato de sódio e sulfato de magnésio de acordo com a seção 4.1.1 ou 4.1.2 (Nota 2). O volume da solução deve ser no mínimo 5 vezes o volume do sólido de todas as amostras imersas de uma vez.

**Nota 2** – Alguns agregados contendo carbonatos de cálcio ou magnésio são atacados quimicamente pela solução de sulfato fresca, resultando em medidas altas erradas de perdas. Se essa condição for encontrada, repita o teste usando uma solução filtrada que foi usada anteriormente para teste o mesmo tipo de pedra de carbonato, garantindo que a solução confere com os requisitos das Seções 4.1.1 e 4.1.2 para massa específica.

4.1.1. Solução de Sulfato de Sódio – Prepare uma solução saturada de sulfato de sódio dissolvendo um reagente puro de sal na água (Nota 5) em uma temperatura mínima de 25°C (77°F). Adicione sal suficiente (Nota 3) do anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) para assegurar não somente saturação, mas também a presença de excesso de cristais quando a solução está pronta para o uso em testes. Mexa a mistura completamente durante a adição de sal e mexa a solução em intervalos frequentes. Para reduzir a evaporação e prever a contaminação, manter a solução coberta todo o tempo quando o acesso não for necessário. Permita a solução a resfriar para 20,3 a 21,9°C (68,5 a 71,5°F). Mexa novamente e permita a solução a permanecer na temperatura designada por pelo menos 48 h antes do uso. Antes de cada uso, quebre as partículas sólidas de sal, se houver, no recipiente, mexa a solução completamente, e determine a massa específica da solução. Quando for usada, a solução deve ter uma massa específica de não menos que 1,154 e não mais que 1,171. Descarte uma solução descolorida, ou a filtre e cheque para a massa específica.

**Nota 3** – Para a solução, 215 g de sal anidro por litro de água é suficiente para saturação a 22°C (71,6°F). Portanto, como o sal não é completamente estável e porque é desejável que um excesso de cristais esteja presente, o uso de não menos que 225 g de sal anidro por litro de água é recomendado.

4.1.2. Solução de sulfato de Magnésio – Prepare uma solução saturada de sulfato de sódio dissolvendo um reagente puro de sal na água (Nota 5) em uma temperatura mínima de 25°C (77°F). Adicione sal suficiente (Nota 4) do anidro ( $\text{MgSO}_4$ ) ou na forma cristalina ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (sal Epsom) para assegurar não somente saturação, mas também a presença de excesso de cristais quando a solução está pronta para o uso em testes. Mexa a mistura completamente durante a adição de sal e mexa a solução em intervalos frequentes. Para reduzir a evaporação e prever a contaminação, manter a solução coberta todo o tempo quando o acesso não for necessário. Permita a solução a resfriar para 20,3 a 21,9°C (68,5 a 71,5°F). Mexa novamente e permita a solução a permanecer na temperatura designada por pelo menos 48 h antes do uso. Antes de cada uso, quebre as partículas sólidas de sal, se houver, no recipiente, mexa a solução completamente, e determine a massa específica da solução. Quando for usada, a solução deve ter uma

massa específica de não menos que 1,297 e não mais que 1,306. Descarte uma solução descolorida, ou a filtre e cheque para a massa específica.

**Nota 4** – Para a solução, 350 g de sal anidro ou 1230 g do heptahidratado por litro de água é suficiente para saturação a 23°C (73,4°F). Portanto, como o sal não é completamente estável, com o sal hidratado sendo o mais estável dos dois, e porque é desejável que um excesso de cristais esteja presente, é recomendado que o sal heptahidratado seja usado e em uma quantidade maior que 1400 g/L de água.

No preparo da solução satura de sulfato magnésio, os cristais de sal dissolverão mais prontamente se os cristais são adicionados em quantidades pequenas e a temperatura da água for maior do que 35°C (95°F) devido ao efeito químico de resfriamento durante o preparo.

**Nota 5** – Água destilada deve ser usada em testes de referência e comparação.

4.2. Solução de Cloreto de Bário – Uma solução de cloreto de bário de 0,2 mol (41,6 g de BaCl<sub>2</sub> por litro de solução) para determinar a presença de sulfato de sódio ou magnésio na água de lavagem.

---

## 5. AMOSTRAS

5.1. Agregado Fino – Agregado fino para o teste deve ser passado por uma peneira de 9,5 mm (3/8 pol.). A amostra deve ter tamanho para que produza não menos que 100 g de cada tipo dos seguintes tamanhos, expressos nos termos das seguintes peneiras:

Passante	Retido
9,5 mm (3/8 pol.)	4,75 mm (nº. 4)
4,75 mm (nº. 4)	2,36 mm (nº. 8)
2,36 mm (nº. 8)	1,18 mm (nº. 16)
1,18 mm (nº. 16)	600 µm (nº. 30)
600 µm (nº. 30)	300 µm (nº. 50)

5.1.1. Se a amostra contiver menos do que 5 por cento de qualquer tamanho especificado na Seção 5.1, aquele tamanho não deve ser testado.

5.2. *Agregado Graúdo* – Agregado graúdo para o teste deve consistir em material retido na peneira 4,75 mm (nº. 4). A amostra deve ser de tamanho para que produza as quantidades indicadas na tabela 1, abaixo:

Tamanho da peneira	Massa, g
63 mm a 37,5 mm (2 ½ a 1 ½ pol.)	5 000 ± 300
Consistindo em:	
Material de 50 mm a 37,5 mm (2 a 1 ½ pol.)	2 000 ± 200
Material de 63 mm a 50 mm (2 ½ a 2 pol.)	3 000 ± 300
37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ a ¾ pol.)	1500 ± 50
Consistindo em:	
Material de 25,0 mm a 19,0 mm (1 a ¾ pol.)	500 ± 30
Material de 37,5 mm a 25,0 mm (1 ½ a 1 pol.)	1000 ± 50
19,0 mm a 9,5 mm (¾ a 3/8 pol.)	1000 ± 10
Consistindo em:	
Material de 12,5 mm a 9,5 mm (½ a 3/8 pol.)	330 ± 5
Material de 19,0 mm a 12,5 mm (¾ a ½ pol.)	670 ± 10
9,5 mm a 4,75 mm (3/8 pol. A nº. 4)	300 ± 5

5.2.1. Se as amostras contiverem menos do que 5 por cento de qualquer tamanho especificado na Seção 5.2, aquele tamanho não deve ser testado. Quando uma combinação de tamanhos é especificada para uma porção da amostra e um dos tamanhos especificado é menor do que 5 por cento da amostra, reduza a amostra pela massa específica aplicável na Seção 5.2 para o tamanho não avaliado.

5.2.2. Quando testar uma rocha grande (rocha detonada, matacões e rachão, usados como rip-rap, cobertura de fundo de canal etc.), obtenha uma porção da amostra britagem, quebra ou serrando a amostra grande em pedaços. Teste somente os pedaços de 37,5 a 19 mm (1 ½ a ¾ pol.) e de 63 a 37,5 mm (2 ½ a 1 ½ pol.) de tamanho se a redução for por britagem ou quebra. Teste pedaços de 63 a 37,5 mm (2 ½ a 1 ½ pol.) de tamanho se a redução for por serragem.

**Nota 6** – Quando a rocha contiver planos de clivagem, britar ou quebrar normalmente irá fazer com que a rocha quebre nesses planos de clivagem. Serrar irá geralmente deixar os planos intactos, e provavelmente quebrará as partículas devido ao crescimento dos cristais no teste de sanidade.

5.2.3. Quando testar rochas grandes (para avaliar fonte potencial) que irão subsequentemente ser quebradas para produzir agregado, obter a porção da amostra quebrando os pedaços maiores de amostras. Somente pedaços de teste naqueles tamanhos serão incluídos em agregados produzidos, mas ignorando qualquer material



mais fino do que da peneira de 4,75 mm (Nº. 4) ou mais graúdo do que da peneira de 63 mm (2 ½ pol.).

5.2.4. Quando o agregado final contiver partículas mais grossas do que 63 mm (2 ½ pol.), como agregado para uso em massa concreta, quebre o material mais graúdo do que 63 mm (2 ½ pol.) e distribua o material entre os que estão no intervalo entre de tamanho das peneiras de 63 mm (2 ½ pol.) e 4,75 mm (Nº. 4). Descarte o material mais fino do que da peneira de 4,75 mm (Nº. 4).

5.3. Quando um agregado a ser testado contiver quantidades consideráveis de ambos os materiais finos e graúdos, tendo granulometria com mais de 10 por cento em peso mais graúdo do que da peneira de 9,5 mm (3/8 pol.) e mais do que 10 por cento mais fino do que da peneira de 4,75 mm (Nº. 4), teste separadamente as amostras menores do que de 4,75 mm (Nº. 4) e as maiores do que 4,75 mm (Nº. 4) de acordo com os procedimentos de agregado fino e agregado graúdo. Reporte os resultados separadamente para o agregado fino e o agregado graúdo, dando as porcentagens das frações de tamanho graúdo e fino com a granulometria inicial.

---

## **6. PREPARO DAS AMOSTRAS DE TESTE**

6.1. Agregado fino – Lave completamente a amostra de agregado fino em uma peneira de 300 µm (nº. 50), seque até a constância de massa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e separe em diferentes tamanhos por peneiramento, como descrito a seguir: Faça uma separação precisa de amostras nas peneiras com as peneiras especificadas na Seção 5.1. Das frações obtidas dessa maneira, selecione amostras de tamanho suficiente para produzir 100 g depois de peneirar rigorosamente (Geralmente uma amostra de 110 g é suficiente). Não use agregado fino que ficam presos na peneira na preparação de amostras. Pese amostras com  $100 \pm 0,1$  g de cada fração separada depois do peneiramento final, e registre as massas das amostras de teste, e coloque em recipientes separados para o teste.

6.2. Agregado Graúdo - Lave completamente e seque a amostra de agregado graúdo até uma massa constante a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) e separe em diferentes tamanhos descritos na Seção 5.2 peneirando rigorosamente. Pese as quantidades de diferentes tamanhos com a tolerância da Seção 5.2 e as combine para a massa total desejada (Nota 7). Registre as massas das amostras de teste e seus componentes fracionados. No caso de tamanhos maiores que 19 mm (¾ pol.), registre o número de partículas nas amostras de teste.

**Nota 7** – Os componentes fracionados de cada amostra podem ser colocados em diferentes recipientes se for desejado mais isso não é necessário. Se recipientes separados forem usados, os dois tamanhos devem ser combinados para os cálculos da Seção 8.12 (Tabela 2).

Tamanho da Peneira	Granulometria da Amostra Original, Porcentagem	Massa das Frações de Teste Antes do Ensaio, g	Porcentagem Passante pela Peneira Designada Após o Ensaio	Média Ponderada da Perda
Ensaio de Sanidade do Agregado Fino				
Menor que 150 µm	5			
300 µm a 150 µm	12			
600 µm a 300 µm	26	100	4,2	1,1
1,18 mm a 600 µm	25	100	4,8	1,2
2,36 mm a 1,18 mm	17	100	8,0	1,4
4,75 a 2,36 mm	11	100	11,2	1,2
9,5 mm a 4,75 mm	4		11,2 <sup>a</sup>	0,4
Totais	100			5

Tamanho da Peneira	Granulometria da Amostra Original, Porcentagem	Massa das Frações de Teste Antes do Ensaio, g	Porcentagem Passante pela Peneira Designada Após o Ensaio	Média Ponderada da Perda
Ensaio de Sanidade do Agregado Graúdo				
63 mm a 50 mm	2825 g	63 a		
50 mm a 37,5 mm	1958 g	37,5 mm	20	4783
37,5 mm a 25,0 mm	1012 g	37,5 a		
25,0 mm a 19,0 mm	513 g	19,0 mm	45	1525
19,0 mm a 12,5 mm	675 g	19,0 a		
12,5 mm a 9,5 mm	333 g	9,5 mm	23	1008
9,5 mm a 4,75 mm			12	298
Totais			100	8

<sup>a</sup> porcentagem de perda (11,2 por cento) do próximo tamanho menor é usada como a porcentagem da perda para este tamanho, porque este tamanho contém menos de 5 por cento da amostra original como recebida. Veja a Seção 10.1.3.4.

---

## 7. PROCEDIMENTO

7.1. Armazenamento das Amostras em Solução – Mergulhe as amostras em solução preparada de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio para no mínimo 16 h e no máximo 18 h de maneira que a solução cubra a amostra com uma profundidade de 12,5 mm (1/2 pol.) (Nota 8). Cubra os recipientes para reduzir a evaporação e evitar a adição acidental de substâncias estranhas. Mantenha as amostras imersas na solução a uma temperatura de 20,3 a 21,9°C (68,5 a 71,5°F) para o período de imersão.

**Nota 8** – Grades com peso aceitável colocadas sobre as amostras nos recipientes irão permitir a cobertura ser alcançada com agregados muito finos.

7.2. *Secando Amostras Depois da Imersão* – Depois do período de imersão, remova as amostras de agregado da solução, permita secar por  $15 \pm 5$  min, e coloque dentro da estufa. A temperatura da estufa deve ser definida previamente a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Seque as amostras na temperatura especificada até que a constância de massa seja alcançada. Estabeleça o tempo necessário para atingir a massa constante como descrito a seguinte: com a estufa contendo o máximo de amostras esperadas, cheque as perdas de massa das amostras de teste, removendo-as e pesando-as sem resfriá-las, com intervalos de 2 a 4 h; faça checagens o suficiente para estabelecer o tempo de secagem necessário para os locais menos favoráveis da estufa (Seção 3.6) e condição das amostras (Nota 9). A constância de massa será considerada alcançada quando a perda de massa for menor do que 0,1 por cento da massa da amostra em 4 h de secagem. Depois que a constância de massa for alcançada, permita as amostras a resfriar entre 20 e 25°C (68 a 77°F) (Nota 10), quando elas devem novamente ser mergulhadas em solução preparada como descrito na Seção 7.1. O resfriamento pode ser auxiliado pelo uso de ar-condicionado ou ventilação. A temperatura do material deve ser checada por termômetro ou outro meio aceitável antes do material ser colocado na solução de imersão.

**Nota 9** – O tempo necessário para alcançar a constância de massa pode variar consideravelmente por várias razões. A eficiência da secagem será reduzida enquanto o ciclo acumula pois da aderência do sal às partículas e, em alguns casos, pelo aumento da área da superfície durante a separação. Os diferentes tamanhos das frações de agregado terão diferentes taxas de secagem. Os tamanhos menores tenderão a secar mais lentamente pois tem maior área de superfície e vazios restritos entre as partículas, mas essa tendência pode ser alterada por efeitos do tamanho e forma do recipiente.

**Nota 10** – Por experiências foi mostrado que temperaturas de amostras significativamente diferentes da temperatura da solução de 21,1°C (70°F) pode mudar a temperatura da solução temporariamente, causando uma mudança na saturação do sal mesmo se a solução retornar a 21,1°C (70°F) por grande parte do período de imersão. Isso pode causar resultados errôneos.

7.3. Quantidade de ciclos – Repita o processo alternando entre imersão e secagem até que o número de ciclos for obtido. Preferencialmente, o teste pode ser performado continuamente até que o número específico de ciclos for obtido. No entanto, se o teste precisar ser interrompido, deixe as amostras na estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) até o teste se resumido.

7.4. Revise a temperatura registrada da unidade de controle. Verifique se o limite da temperatura da solução não foi excedido.

---

## 8. EXAME QUANTITATIVO

8.1. Faça o seguinte exame quantitativo:

8.1.1. Depois da conclusão do ciclo final e depois da amostra ter esfriado, lave a amostra tirando o sulfato de sódio ou magnésio. Lave circulando água a  $43 \pm 6^\circ\text{C}$  ( $110 \pm 10^\circ\text{F}$ ) pelas amostras nos seus recipientes introduzindo água quente perto do fundo e permitindo a água a passar pelas amostras até derramar. A lavagem completa deve ser checada obtendo uma amostra de água de lavagem depois de ter passado pelas amostras e analisada com 0,2 mol de cloreto de bário. Lave posteriormente se necessário se a amostra ficar turva pela adição da solução de cloreto de bário. Em áreas onde a água tem uma reação com o cloreto de bário, outros métodos analíticos devem ser usados para assegurar a lavagem completa. Na operação da lavagem, as amostras não devem ser sujeitas ao impacto ou abrasão que pode tender à quebra de partículas.

8.1.2. Depois da remoção do sulfato de sódio ou magnésio, seque cada fração da amostra até a constância de massa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Peneire o agregado fino sobre a mesma peneira que ele foi retido antes do teste, e peneire o agregado graúdo sobre a mesma peneira descrita abaixo para o tamanho apropriado de partícula. Para agregado fino, o método e duração do peneiramento deve ser o mesmo que foi usado no preparo das amostras. Para agregado graúdo, peneire à mão, com agitação suficiente somente para assegurar que todos os materiais menores passe pela peneira desejada. Nenhuma manipulação extra deve ser empregada para quebrar as partículas ou fazer com que elas passem as peneiras. Determine a massa do material retido em cada peneira e registre

cada quantidade. A diferença entre cada uma dessas amostras e da massa inicial da fração da amostra testada é a perda no teste e deve ser expressa como uma porcentagem da massa inicial para uso na Tabela 2.

---

Tamanho do Agregado	Peneira Usada para Determinar a Perda
63 mm a 37,5 mm (2 ½ a 1 ½ pol.)	31,5 mm (1 ¼ pol.)
37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ a ¾ pol.)	16,0 mm (5/8 pol.)
19,0 mm a 9,5 mm (¾ a 3/8 pol.)	8,0 mm (5/16 pol.)
9,5 mm a 4,75 mm (3/8 a n°. 4)	4,0 mm (n°. 5)

---

## 9. EXAME QUALITATIVO

9.1. Faça um exame qualitativo das amostras de testes maiores que 19,0 mm (¾ pol.) como descrito abaixo (Nota 11):

9.1.1. Separe as partículas de cada amostra de teste em grupos de acordo com a ação produzida pelo teste (Nota 11).

9.1.2. Registre o número de partículas mostrando cada tipo de problema.

**Nota 11** – Muitos tipos de ações podem ser esperados. Em elas podem ser classificadas como desintegração, separação, fracionamento, quebra, descamação etc. Enquanto somente partículas maiores do que 19,0 mm (¾ pol.) de tamanho necessitam de exame qualitativo, é recomendado que o exame dos tamanhos menores é feito para determinar se existe alguma evidência de excesso de separação.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. O relatório deve incluir as seguintes informações (Nota 12):

10.1.1. Massa de cada fração de cada amostra antes de teste

10.1.2. Materiais de cada fração de amostra mais fino do que a peneira correspondente na Seção 8.1.2 para peneirar depois do teste, expressa em porcentagem da massa original da fração.

10.1.3. Média ponderada calculada das porcentagens de perda de cada fração, baseada na granulometria das amostras como recebida para exame conforme a T 27 ou,

preferencialmente, na média de granulometria do material da porção de suprimento do qual a amostra é representativa se:

- 10.1.3.1. Para agregado fino com menos de 10 por cento maior que da peneira de 9,5 mm (3/8 pol.), assuma os tamanhos mais finos que da peneira de 300  $\mu\text{m}$  (nº. 50) para ter 0 por cento de perda e os tamanhos maiores do que da peneira de 9,5 mm (3/8 pol.) para ter a mesma perda do próximo tamanho menor disponível nos dados do teste.
- 10.1.3.2. Para agregado graúdo com menos de 10 por cento mais fino do que da peneira de 4,75 mm (Nº. 4), assuma os tamanhos menores do que da peneira de 4,75 mm (Nº. 4) para ter a mesma perda do próximo tamanho maior disponíveis nos dados do teste.
- 10.1.3.3. Para agregado contendo quantidades expressivas de materiais finos e grãos testados como amostras diferentes como descrito na Seção 5.3, compute a média ponderada das perdas separadamente para os menores do que as frações de 4,75 mm (Nº. 4) e maiores do que as frações de 4,75 mm (Nº. 4) baseadas nas granulometrias recomputadas, considerando a fração fina como 100 por cento e a graúda como 100 por cento. Registre os resultados separadamente, dando a porcentagem das menores que 4,75 mm (Nº. 4) e as maiores que 4,75 mm (Nº. 4) da granulometria inicial.
- 10.1.3.4. Para calcular a média ponderada, considere qualquer tamanho da Seção 5.1 ou 5.2 que contenha menos do que 5 por cento da amostra para ter a mesma perda do que a média do próximo tamanho menor e do próximo tamanho maior, ou se um destes tamanhos for ausente, a ter a mesma perda do próximo tamanho maior ou próximo tamanho menor, o que estiver presente.
- 10.1.3.5. Para rochas maiores testadas de acordo com a Seção 5.2.2, a média ponderada (se mais de um tamanho de fração for testado) deve ser o método aritmético de perda nas frações testadas.
- 10.1.3.6. Para rochas maiores testadas de acordo com a Seção 5.2.3 ou 5.2.4, a média ponderada deve ser baseada em uma granulometria de amostra atendendo a média da especificação para a qual o agregado será produzido, ou a granulometria atual como produzido. Se a granulometria da especificação inclui frações maiores

do que da peneira de 63 mm (2 ½ pol.), assumo que esses tamanhos terão a mesma percentagem de perda das frações de 63 a 37,5 mm (2 ½ a 1 ½ pol.).

10.1.4. Registre a percentagem ponderada de perda ao número inteiro mais próximo.

10.1.5. No caso de partículas maiores do que 19,0 mm (3/4 pol.) registre antes do teste: (1) o número de partículas de cada fração antes do teste, e (2) o número de partículas afetadas, classificadas como um número da quantidade desintegrada, separada, fracionada, quebrada ou descamada etc., como mostrado na Tabela 3:

Exame Qualitativo das partículas graúdas									
Tamanho da malha da Peneira	Partículas Exibindo Problemas								Quantidade total de partículas antes do Ensaio
	Separação		Desmanche		Quebra		Descamação		
	Quant.	%	Quant.	%	Quant.	%	Quant.	%	
63 a 37,5 mm	2	7	-	-	2	7	-	-	29
37,5 a 19,0 mm	5	-	-	2	-	-	-	-	50

10.1.6. Tipo da solução (sulfato de sódio ou magnésio) e se a solução era nova ou se já foi usada anteriormente.

10.1.7. Métodos de produção de partículas para o teste, quando reduzidas de tamanho maiores como descrito nas Seções 5.2.2, 5.2.3 ou 5.2.4.

**Nota 12** – A Tabela 2 está mostrando valores de teste com propósito de ilustração, é uma forma sugerida para registro de informações. Os valores de testes exibidos podem ser apropriados para ambos os sais, dependendo do agregado.

## 11. PRECISÃO

11.1. Para agregados graúdos com perdas médias ponderadas ao ataque dos sulfatos nos intervalos de 6 a 16 por cento do sódio e 9 a 20 por cento do magnésio, a os índices de precisão são os indicados na Tabela 4 (Nota 13).

Coeficiente de variação (1S%), percentagem <sup>a</sup>	Diferença entre 2 ensaios (D2S%), Porcentagem da média <sup>a</sup>	
Multilaboratório:		
Sulfato de sódio	41	116
Sulfato de magnésio	25	71
Operador único:		
Sulfato de sódio	24	68
Sulfato de magnésio	11	31

<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente, os limites (1S%) e (D2S%) como descrito na ASTM C 670.

**Nota 13** – Os índices de precisão exibidos na Tabela 4 são baseados no teste performado de acordo com este método antes da revisão em 1991. Acredita-se que as revisões feitas em 1991 e versões posteriores deste método foram feitas para melhorar a precisão do método.

---

## **12. PALAVRAS-CHAVE**

12.1. Sanidade de agregado; perda; sulfato de magnésio; sulfato de sódio.



## **T-164 - EXTRAÇÃO DE LIGANTE ASFÁLTICO EM MISTURAS ASFÁLTICAS**

---

### **1. RESUMO**

1.1. Este método estabelece a determinação da porcentagem de ligante asfáltico em Misturas Asfálticas. O agregado obtido através deste método pode ser utilizado para análise granulométrica aplicando a T 30.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

**Nota 1** – Os resultados obtidos por estes ensaios podem ser afetados pela idade do material testado, amostras mais antigas tendem a produzir um pouco menos de quantidade de ligante asfáltico. Resultados melhores são obtidos quando o ensaio é feito em misturas asfálticas logo após sua preparação. É difícil remover todo o ligante asfáltico quando alguns agregados específicos são usados; algum solvente pode permanecer dentro do material mineral afetando a medida do ligante asfáltico.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso. Riscos específicos são dados na Seção 8.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 30 – Análise granulométrica de agregados extraídos
- ARTERIS T 84 – Massa específica e absorção de agregado fino
- ARTERIS T 329 – Recuperação Elástica por Torção de Cimentos Asfálticos Modificados (Método Espanhol)
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- AASHTO R 59 – Recovery of Asphalt binder from Solution by Abson Method

- AASHTO R 97- Sampling Asphalt Mixtures
- AASHTO T 110 – Moisture Content of Asphalt Mixtures in Hot Mix Asphalt (HMA)
- AASHTO T 228 – Specific Gravity of Semi-Solid Asphalt Materials
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- ASTM D604 – Standard Specification for Diatomaceous Silica Pigment (withdrawn 2003)
- ASTM D2111 – Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Halogenated Organic Solvents and their Admixtures
- ASTM D4080 – Standard Specification for Trichloroethylene, Technical and Vapor-Degreasing Grade
- ASTM D6368 – Standard Specification for Vapor-Degreasing Solvents Based on normal-Propyl Bromide and Technical Grade Normal-Propyl Bromide

---

### **3. TERMINOLOGIA**

- 3.1. Tamanho máximo nominal (do Agregado) – um tamanho maior do que a primeira peneira que retêm mais de 10 por cento em massa do agregado.
- 3.2. Constância de Massa – Deve ser definida como a massa em que secagens futuras não alterem o valor por mais de 0,05 por cento quando pesado em intervalos de 2 h.

---

### **4. SUMÁRIO DA NORMA**

- 4.1. O Ligante Asfáltico é extraído com Tricloroetileno, Normal-Propil Brometo ou Cloreto de Metileno, usando um equipamento de extração específico para o método. Um solvente de Terpeno pode ser utilizado no método A ou E. O conteúdo de ligante asfáltico é calculado pela diferença das massas do agregado extraído, da umidade contida, e do material mineral da extração. O conteúdo de ligante asfáltico é expresso em porcentagem da massa da mistura seca.

---

### **5. SIGNIFICADO E USO**

- 5.1. Todos os métodos podem ser usados para determinação de porcentagem de ligante asfáltico em mistura asfálticas para aprovação de especificações, avaliação de serviços, controle de qualidade, e pesquisa. Cada método prescreve os solventes e qualquer outro reagente que pode ser usado no ensaio. R 59 requer que o Método A ou E (nota 2) e grau de reagente de tricloroetileno seja usado quando o ligante asfáltico é recuperado da solução.

**Nota 2** – O extrator a vácuo, Seção 22.1.1, pode ser modificado por uma câmara de vácuo no topo do “Tubo Visor de final de linha” para coletar a extração para permitir o seu uso para recuperação.

---

## 6. EQUIPAMENTOS

- 6.1. Estufa – Capaz de manter a temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), para aquecimento de amostra.
  - 6.2. Estufa - Capaz de manter a temperatura de 149 a  $163^{\circ}\text{C}$  (300 a  $325^{\circ}\text{F}$ ), para secagem da amostra se o teor de umidade não for determinado.
  - 6.3. Panela – De fundo plano, de tamanho apropriado.
  - 6.4. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, escala de 0,1 por cento da massa da amostra, e conforme os requisitos da M 231.
  - 6.5. Provetas – Graduadas, 1000 ou 2000 ml de capacidade.
- 

## 7. REAGENTES

- 7.1. Cloreto de metileno – Grau técnico. Cuidado – ver Seção 8.
- 7.2. Normal-Propil Brometo (Brometo de n-propil) – Conforme a ASTM D 6368 – ver Seção 8.
- 7.3. Tricloroetileno – Grau reagente (Nota 3) ou conforme ASTM D 4080 – ver Seção 8.
- 7.4. Terpeno – Solvente, deve ser não-halogenado, não-tóxico e rapidamente dissolver o ligante asfáltico da mistura e transformá-lo em solução. Deve ser facilmente separado do agregado remanescente sem se transformar em gel e, passar rapidamente pela sílica diatomácea e pelo filtro.

**Nota 3** – Solventes sem grau de reagente podem conter resinas epóxi que podem afetar as propriedades do ligante recuperado. Em particular, certos ligantes ácidos modificados podem ser afetados por solventes de grau reagente.

**Nota 4** – Somente estufas ventiladas devem ser usadas quando solventes de terpeno são usados.

---

## 8. PRECAUÇÕES

- 8.1. Os solventes listados na Seção 7 devem ser usados somente sobre uma cobertura ou uma superfície eficaz com sistema de exaustão em uma área bem ventilada, porque eles são todos tóxicos em certo grau, como descrito na 29 CFR 1910.1200. Tricloroetileno, cloreto de metileno, e N-Propil Brometo na presença de calor e umidade podem formar ácidos que são extremamente corrosivos para certos metais, particularmente quando em contato por um longo período de tempo. Precauções oportunas deverão ser tomadas para que resquícios destes solventes não fiquem nos efluentes dos tanques de alumínio dos extratores a vácuo.

8.2. Quando o Tricloroetileno é armazenado em container de aço inox e é exposto ao contato com umidade pode se decompor por dehidrohalogenação para formar hidrocarbonos não-saturados líquidos e cloreto de hidrogênio. Tambores de aço inox contendo Tricloroetileno devem ser armazenados em lugar seco e fresco, devem ser mantidos completamente selados e serem abertos o menos possível. O Tricloroetileno deve ser transferido dos tambores para garrafas de vidro específicas para uso em laboratório limpas e secas. O cloreto de hidrogênio, do tricloroetileno decomposto, pode endurecer como asfalto durante a extração e o ensaio de Abson (R 59).

8.3. Todas as leis locais, estaduais e federais devem ser obedecidas quando transportando, utilizando, armazenando e se desfazendo dos solventes e da água usada na lavagem. Este procedimento inclui a legislação sobre incineração, assim como a legislação para tratamento de efluentes líquidos. A folha de informações sobre as precauções necessárias no manuseio do material deverá estar pregada de forma visível, para assim tratar de evitar fogo e explosões. Guardar material ou tecido umedecido com o solvente deve ser proibido.

---

## 9. AMOSTRAGEM

9.1. Obtenha amostras de acordo com a R 97.

9.2. Preparação de amostras de ensaio:

9.2.1. Se a mistura asfáltica não for suficientemente suave para separar com uma espátula, coloque-a em uma panela ou bandeja plana e larga, e aqueça na estufa numa temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) somente até que possa ser manejada ou separada. Separe ou fracione o material até que a massa necessária do material para o ensaio for obtida.

9.2.2. O tamanho da amostra de ensaio deve ser definido pelo tamanho máximo nominal da mistura asfáltica e conforme a massa necessária exibida na Tabela 1 (Nota 5):

Tamanho Nominal Máximo do Agregado		Massa Mínima da Amostras, Kg
(mm)	(in.)	(Kg)
4,75	(No. 4)	0,5
9,5	3/8	1
12,5	1/2	1,5
16,0	5/8	1,8
19	3/4	2
25	1	3
37,5	1 ½	4

**Nota 5** – Quando a massa da amostra for maior que a capacidade do equipamento usado (para um método específico), a amostra pode ser dividida em partes adequadas, testadas, e os resultados apropriadamente combinados para o cálculo do conteúdo de ligante asfáltico (Seção 13).

9.2.3. A menos que a amostra de mistura asfáltica esteja livre de umidade (Nota 7), uma amostra adicional é necessária para determinar a umidade (Seção 10) da mistura asfáltica. Pegue esta amostra do restante da amostra da mistura asfáltica imediatamente depois de obter a amostra de ensaio.

**Nota 6** – Se o ensaio de extração está sendo feito somente para recuperar o ligante asfáltico e a porcentagem de ligante asfáltico não está sendo determinada, não é necessário determinar o teor de umidade da mistura asfáltica.

---

## 10. TEOR DE UMIDADE

10.1. Quando necessário, determine o teor de umidade da mistura (Seção 9.2.3) de acordo com o procedimento descrito na T-110 ou T-329.

**Nota 7** – Se a recuperação do ligante asfáltico extraído não for necessária, a amostra de ensaio inteira pode ser seca em uma estufa em uma temperatura de 105 a 165°C (221 a 329°F) até a massa constante antes da extração, ao invés de determinar o teor de umidade.

10.2. Calcule a massa de água (W2, Item 13) na amostra do ensaio de extração multiplicando a % de massa de água (Item 10.1) pela massa da amostra do ensaio de extração (W1, Item 13).

---

## MÉTODO DE ENSAIO A

### 11. EQUIPAMENTOS

11.1. Em adição aos equipamentos listados na Seção 6, os equipamentos seguintes são necessários para o Método A.

11.1.1. Equipamentos de Extração – Consistindo em uma cuba, aproximadamente como a mostrada na Figura 1, e um equipamento que gire a cuba em velocidades controladas variáveis de até 3600 r/min. A velocidade pode ser controlada manualmente ou com controle prévio de velocidade. O equipamento deve ser equipado com um recipiente para pegar o solvente descarregado da cuba e um ralo para remover o solvente. O

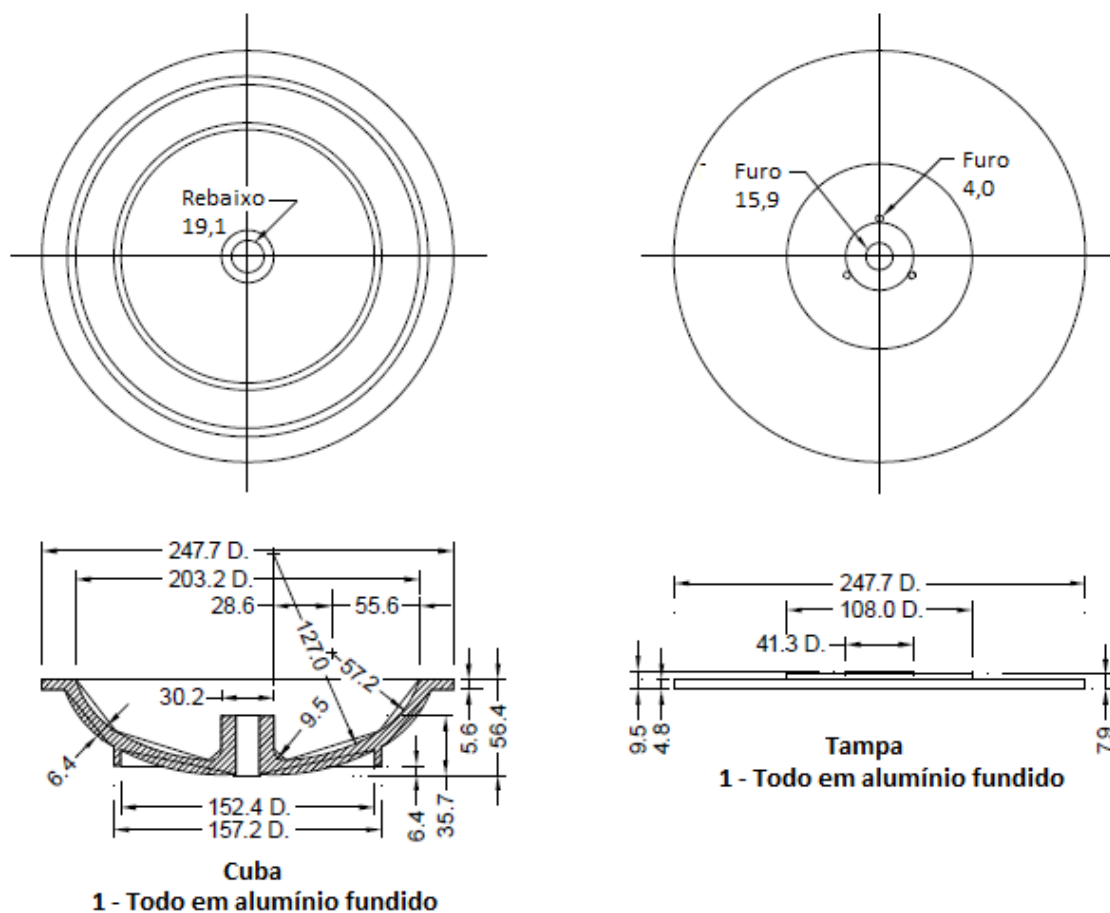
equipamento preferencialmente deve ter recursos à prova de explosões e instalado sob uma cobertura ou superfície com sistema de exaustão.

**Nota 8** – Equipamentos similares maiores podem ser usados.

11.2. Anéis de filtro – Feltro ou papel, para encaixar nas bordas da cuba.

11.3. Anéis de Papel Filtro com Baixa-quantidade de Cinzas – podem ser utilizados no lugar do anel filtro em feltro (Item 10.1.2). Tais anéis filtro irão consistir em Papel Filtro tipo “sem cinzas inorgânicas” com 1,27±0,03mm (0,05±0,005in) de grossura. O peso médio do papel deve ser de 150±14Kg (330±30lb) para uma resma (500 folhas, 635 por 965 mm (25 por 38 in.)). O conteúdo de cinzas no papel não deve exceder em 0,2% (aprox. 0,034 g por anel).

**Nota 9** – Onde solventes de terpeno forem usados, as engrenagens e roscas devem ser lubrificadas frequentemente.



**Figura 1** – Extrator tipo Cuba (Rotarex) – (Método A)

---

## 12. PROCEDIMENTO

12.1. Determinar a umidade do material de acordo com a Seção 10.

12.2. Colocar a amostra de ensaio em uma cuba.

12.3. Cubra a amostra na cuba com tricloroetileno, cloreto de metileno, n-propil brometo, ou solvente de terpeno e deixe tempo suficiente para o solvente desintegrar a amostra (não mais que uma hora). Coloque a cuba com a amostra no equipamento de extração. Seque o anel filtro a uma massa constante, em uma Estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) e encaixe ao redor da borda da cuba. Trave a tampa da cuba firmemente e coloque um receptáculo embaixo do ralo para coletar o extrato.

12.4. Comece a centrifugação girando lentamente, e aumente gradativamente a velocidade ao máximo de 3600 r/min até que o solvente para de sair do ralo. Deixe a máquina parar; adicione 200 ml (ou mais se for adequado para a massa da amostra) de tricloroetileno, brometo de n-propil, ou cloreto de metileno ou solvente de terpeno, e repita o procedimento. Faça adições de solvente o suficiente (não menos do que 3) até que a cor do extrato se apresente transparente (sem indícios de ligante asfáltico dissolvido) quando observado contra um fundo branco. Colete o extrato e as lavagens em um recipiente adequado para determinação de material mineral.

12.5. Cuidadosamente transfira o anel de filtro e todo o agregado na cuba centrifugada para uma bandeja de metal conhecido. Seque com ar sobre uma cobertura até que a fumaça e demais gases se dissipem, e depois até a massa constante em uma estufa em uma temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) (Nota 10 e 11). A massa do agregado extraído (W3) é igual a massa do conteúdo na panela menos a massa inicial seca do anel de filtro. Escove o material mineral aderente a superfície do anel filtro, e adicione o material no agregado extraído para ensaios posteriores.

**Nota 10** – O filtro e agregado podem ser deixados na cuba centrífuga e secos até a massa constante na estufa numa temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) e a massa determinada.

**Nota 11** – O anel de filtro pode ser secado separadamente até a massa constante em uma estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ), tomando cuidado para que nada do material fino grudado ao filtro seja perdido. Se esse procedimento for usado, o agregado pode ser seco até a massa constante na estufa ou placa quente em uma temperatura  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

12.5.1. Aplique o seguinte procedimento alternativo quando for utilizado um anel de papel filtro “sem cinzas”. Coloque o agregado e os anéis filtro em uma Bandeja de metal limpa. Seque como especificado acima. Cuidadosamente dobre o anel filtro seco e posicione-o

em cima do agregado. Queime o anel filtro. Determine a massa do agregado extraído na Bandeja (W3).

**Nota 12** – Já que o agregado seco absorve umidade quando exposto à umidade do ambiente, determine a massa do agregado extraído, imediatamente depois que resfriado a uma temperatura apropriada.

12.6. Determine a quantidade de material mineral no extrato através de qualquer um dos procedimentos indicados no Anexo A1.

---

### 13. CÁLCULO DE TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO

$$\text{Porcetagem de Ligante Asfáltico, \%} = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 - W_4)}{W_1 - W_2} \times 100 \quad (1)$$

onde:

$W_1$  = massa da amostra;

$W_2$  = massa da água na amostra;

$W_3$  = massa de agregado mineral extraído; e

$W_4$  = massa do material mineral no extrato.

**Nota 13** – Quando anel de papel filtro “sem cinzas” não é usado, adicione o aumento na massa do anel filtro de feltro à  $W_4$ .

**Nota 14** – Quando for desejável expressar o conteúdo de ligante asfáltico como uma porcentagem de massa do agregado seco, substitua pela massa  $W_3 + W_4$  a massa  $W_1 - W_2$  no divisor da Equação 1.

---

## MÉTODO DE ENSAIO B

### 14. EQUIPAMENTOS

14.1. Em adição aos equipamentos listados na Seção 6, os seguintes equipamentos são necessários para o Método de Ensaio B:

14.1.1. Equipamentos de Extração – Similar ao mostrado na figura 2.



**Figura 2** – Equipamento de Extração (Método B):



- 14.1.1.1. Recipiente de vidro – Cilíndrico, de fundo plano, feito de vidro resistente ao calor. A jarra deve estar livre de trincas ou rachaduras, ou outra evidencia que possa causar quebra durante o aquecimento.
- 14.1.1.2. Suporte de Metal Cilíndrico – Um ou dois. O suporte inferior deve ter altura suficiente para suportar a estrutura, deixando a parte de cima do cone de metal e o forro do cone de papel, acima no nível do solvente. Quando dois suportes são usados, o suporte de cima deve ter altura o suficiente para manter o cone de metal e o de papel acima do suporte de baixo. Uma alça pode ser utilizada em cima de cada aro para uma melhor manipulação. O metal usado na fabricação dos suportes deve ser essencialmente não reativo com os solventes usados no teste.
- 14.1.1.3. Condensador – feito com uma superfície condensadora inferior semiesférica truncada e uma tampa superior cônica truncada. Outras formas geométricas disponíveis também podem ser usadas, desde que possuam as características de condensação e fluxo necessárias. O material usado na fabricação do condensador

deve ser essencialmente não reagente à água e ao solvente utilizado, e deve ter entrada e saída de água apropriadas.

14.1.1.4. Filtro de Papel – graduação média, filtragem rápida. O diâmetro do papel deve ser de tamanho para que quando dobrado de acordo com as especificações abaixo, cubra totalmente os cones de metal dos suportes.

14.1.1.5. Placa Isolante para Distribuição Térmica – com espessura de 3 mm (0.1 pol.) para uso entre o recipiente de vidro e as placas quentes.

14.1.1.6. Placa Aquecedora Elétrica – com controle de termostato, de graduação e capacidade de calor suficientes para permitir o refluxo do solvente, como descrito na Seção 16.2.5.

---

## **15. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DE ENSAIO**

15.1. Prepare a amostra de ensaio para determinação de umidade e extração de acordo com o procedimento descrito na Seção 9.

---

## **16. PROCEDIMENTO**

16.1. Umidade:

16.1.1. Determine o teor de umidade da mistura asfáltica (Seção 9.2.3) de acordo com o método descrito na Seção 10.

16.2. Extração:

16.2.1. Seque uma folha de papel filtro para cada suporte utilizado até uma massa constante em uma Estufa a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230\pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Dobre cada folha no seu diâmetro, dobre as pontas, e abra de forma a caber dentro dos cones de metal.

16.2.2. Determine a massa de cada suporte com o filtro de papel com uma aproximação de 0,5 g. Registre a massa de cada suporte.

16.2.3. Coloque a amostra de ensaio no suporte (s). Se os dois suportes forem usados, distribua a amostra de ensaio aproximadamente igualmente entre os dois. A parte de cima da amostra deve estar abaixo da borda superior do filtro de papel. Determine a massa de cada suporte preenchido, separadamente com aproximação de 0,5 g. Novamente, registre a massa.

16.2.4. Use um dos solventes (Nota 15) especificados na Seção 7.1, 7.2 ou 7.3. Derrame o solvente no recipiente de vidro e coloque o suporte de baixo dentro do recipiente. O nível do solvente deve estar abaixo do ápice do nível do suporte inferior. Se forem utilizados dois suportes, posicione o suporte superior no suporte inferior, encaixando suas pernas nos furos da parte superior do suporte inferior.

**Nota 15** – Derramar etanol desnaturado sobre a(s) amostra(s) suficiente para molhar o papel filtro. Uma mistura de vinte por cento álcool desnaturado e oitenta por cento Tricloroetileno tem provado ser um melhor solvente para alguns agregados.

16.2.5. Se necessário use a placa de proteção térmica na placa aquecedora sob o recipiente de vidro. Cubra o condensador. Deixe circular suavemente um fluxo de água fria pelo condensador. Ajuste a temperatura da placa aquecedora para que o solvente ferva suavemente e um fluxo constante de solvente passe pelo cone. Se necessário, ajuste a temperatura da placa aquecedora para manter o fluxo de solvente a uma velocidade necessária para manter a amostra totalmente coberta no solvente condensado. Tome cuidado para que o solvente condensado não derrame para fora do(s) cone(s). Continue o refluxo até que o solvente passando pelo cone inferior esteja de uma cor caramelo claro (quando visto contra um fundo branco). Neste ponto, desligue a placa aquecedora e deixe o equipamento esfriar o suficiente para ser manipulado, desligue o condensador e o retire do cilindro.

16.2.6. Remova e desmonte o(s) suporte(s) do cilindro. Deixe secar ao ambiente (coifa) e então seque-o à uma massa constante, em uma Estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) (veja Nota 9).

16.2.7. Determine a parte mineral na solução extraída através de um dos procedimentos indicados no anexo A.

---

## **17. CÁLCULO DO TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO**

17.1. Calcule a porcentagem de ligante asfáltico na amostra de teste de acordo com o procedimento descrito na Seção 13.

## MÉTODO DE ENSAIO D

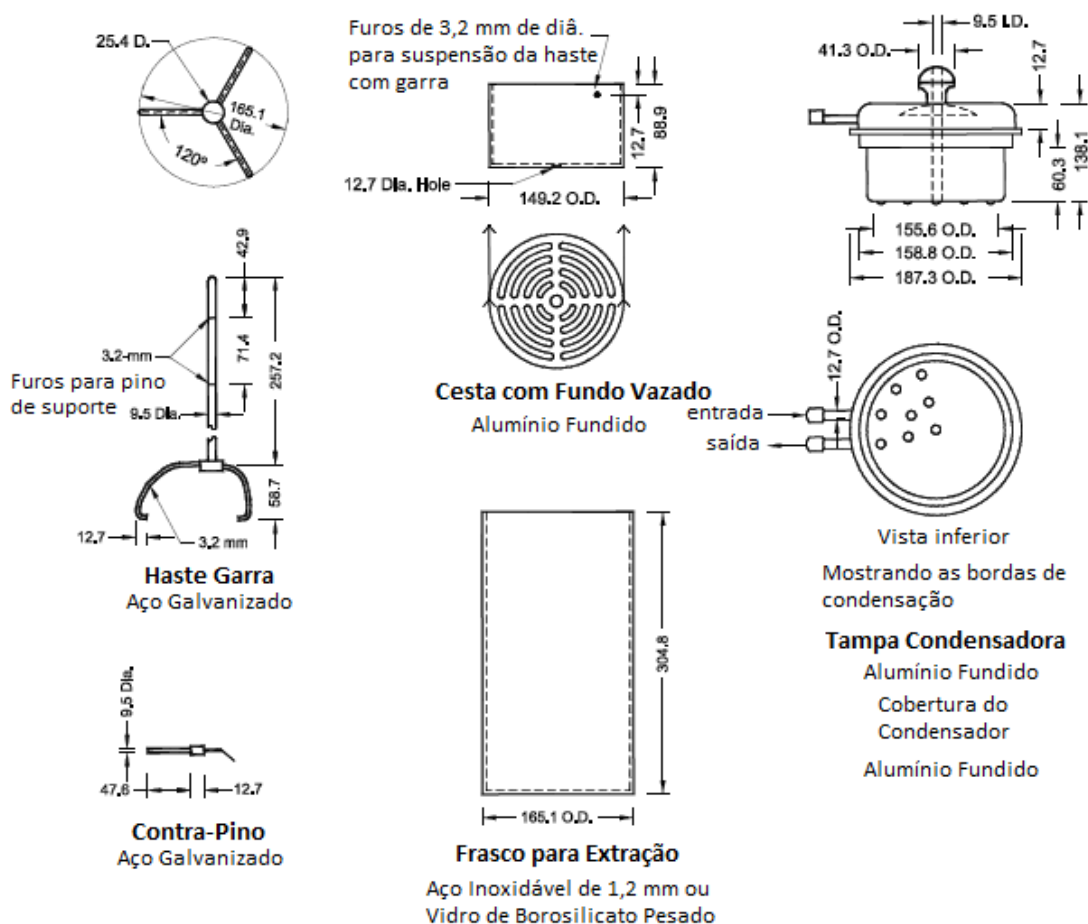
### 18. EQUIPAMENTO

18.1. Em adição aos equipamentos listados na Seção 6, os seguintes equipamentos são necessários para o Método de Ensaio D:

18.1.1. Equipamentos de Extração – Como mostrado na Figura 3, consiste em um frasco para extração de metal ou em vidro de borosilicato, uma cesta vazada e uma tampa condensadora. O fundo do condensador deve estar cheio de protuberâncias para distribuir o solvente condensado uniformemente sobre a superfície da amostra. O suporte da cesta deverá posicionar a mesma a 13 mm ( $\frac{1}{2}$  in.) acima do fundo do frasco, para imersão da amostra de ensaio no solvente, e pelo menos 75 mm (3 pol.) acima do fundo do frasco para refluxo (Nota 8).

18.1.2. Saco de Filtro de Tecido - Com borda elástica para forrar a cesta.

**Figura 3 – Unidade de Extração (Método D)**



Nota: Todas as dimensões exibidas estão em milímetros a não ser que seja especificado

---

## 19. PREPARO DAS AMOSTRAS

19.1. Prepare as amostras de teste para determinação de umidade e extração de acordo com o procedimento da Seção 9.

19.2. Umidade:

19.2.1. Determine o teor de umidade da mistura asfáltica (Seção 9.2.3) de acordo com o método descrito na Seção 10.

19.3. Extração:

19.3.1. Coloque um saco filtro na cesta de extração e determine a massa com o prato, de massa conhecida, para conhecer a massa total do conjunto. Coloque a amostra no saco filtro e determine a massa total. Calcule a massa da amostra.

19.3.2. Enganche a haste garra à cesta carregada e acomode o conjunto dentro do frasco de extração. Derrame aproximadamente 600 ml do solvente (Item 7.1, 7.2 ou 7.3) sobre a porção de amostra. Encaixe a cobertura do condensador sobre o frasco. Faça água fria circular através da tampa do condensador. Levante a cesta para o nível de imersão, por exemplo, 13 mm (½ in.) acima do fundo do frasco, inserindo o contrapino através do furo superior da haste garra. Coloque o extrator na placa aquecedora e ajuste o nível de aquecimento para que o solvente seja mantido em uma fervura suave, evite uma fervura forte que possa jogar o material fino sobre a borda da cesta.

19.3.3. Continue aquecendo com a amostra na posição de imersão por 15 a 30 minutos e então levante a cesta para a posição de refluxo. Aumente a fervura e mantenha uma fervura ativa até que o solvente que pingue da cesta aparente uma cor caramelo claro quando visto contra um fundo branco. Se um frasco de aço inoxidável é usado, levante o conjunto de cesta com cobertura do condensador, para examinar o solvente.

19.3.4. Remova o extrator da placa aquecedora e deixe esfriando por alguns minutos. Levante o conjunto de cesta e condensador. Cubra o frasco, remova o saco filtro, distribua o seu conteúdo na bandeja de massa conhecida na qual a massa da amostra foi inicialmente determinada. Coloque o saco filtro em cima do agregado recuperado. Seque a um banho de vapor e então em uma Estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) à uma massa constante. transfira a solução extraída para um recipiente de 1000 ml graduado. Lave totalmente o extrator com solvente e adicione o líquido resultante à solução extraída.

19.3.5. Determine a parte mineral na solução extraída através de um dos procedimentos descritos no Anexo A.

## 20. CÁLCULO DO TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO

20.1. Calcule a porcentagem de ligante asfáltico na amostra de teste de acordo com o procedimento descrito na Seção 13.

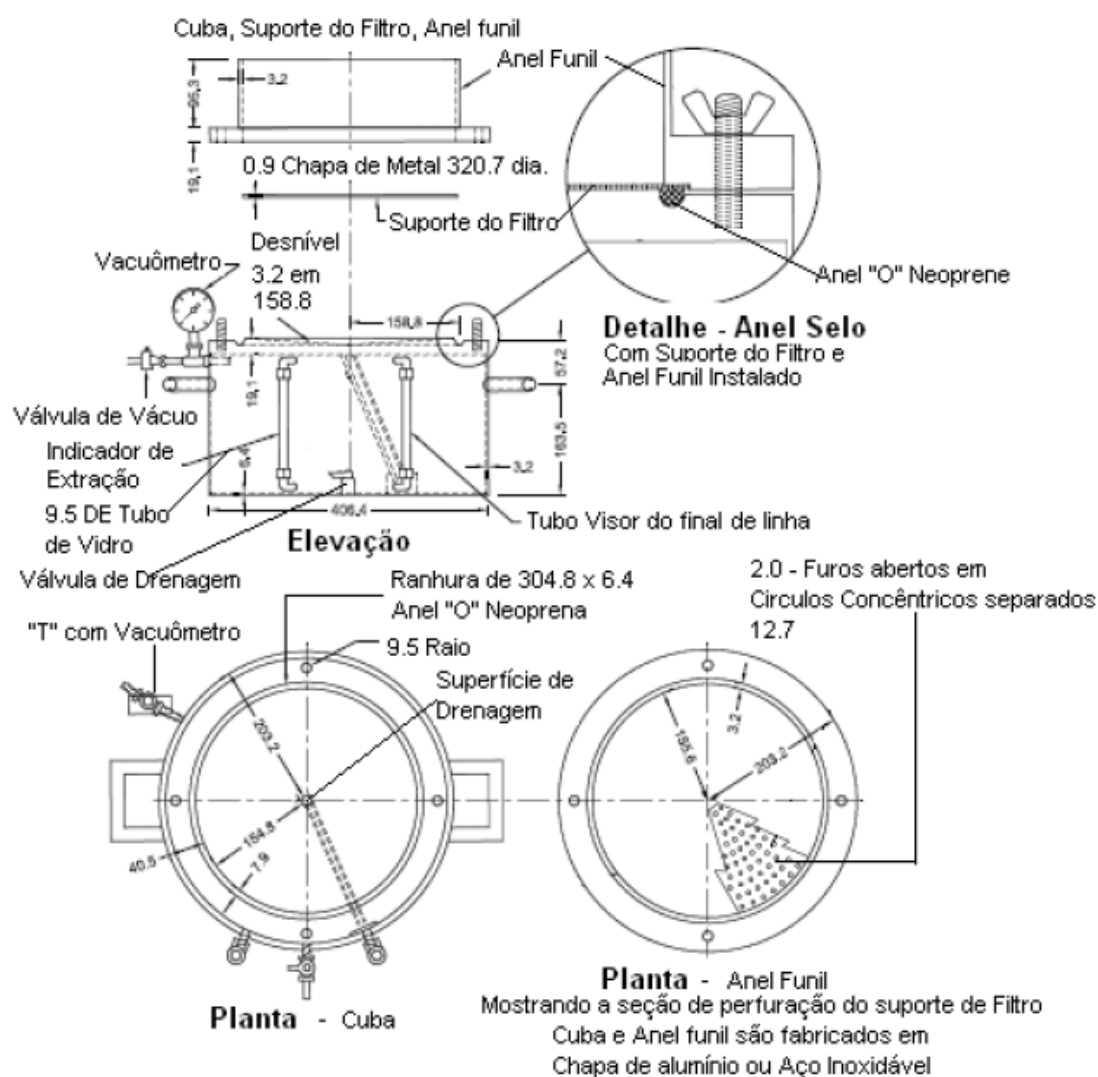
## MÉTODO DE ENSAIO E

### 21. EQUIPAMENTOS

21.1. Em adição aos equipamentos listados na Seção 6, os seguintes equipamentos são necessários para o Método de Ensaio E:

21.1.1. Extrator a Vácuo – Completo com bomba de vácuo, retentor, tubulação de borracha, papel filtro, placa de suporte, e anel funil. As dimensões equivalentes e equipamentos mostrados na Tabela 3, e Figuras 4, 5, e 6 e designs parecidos, são aceitáveis.

Figura 4a – Extrator de Vácuo

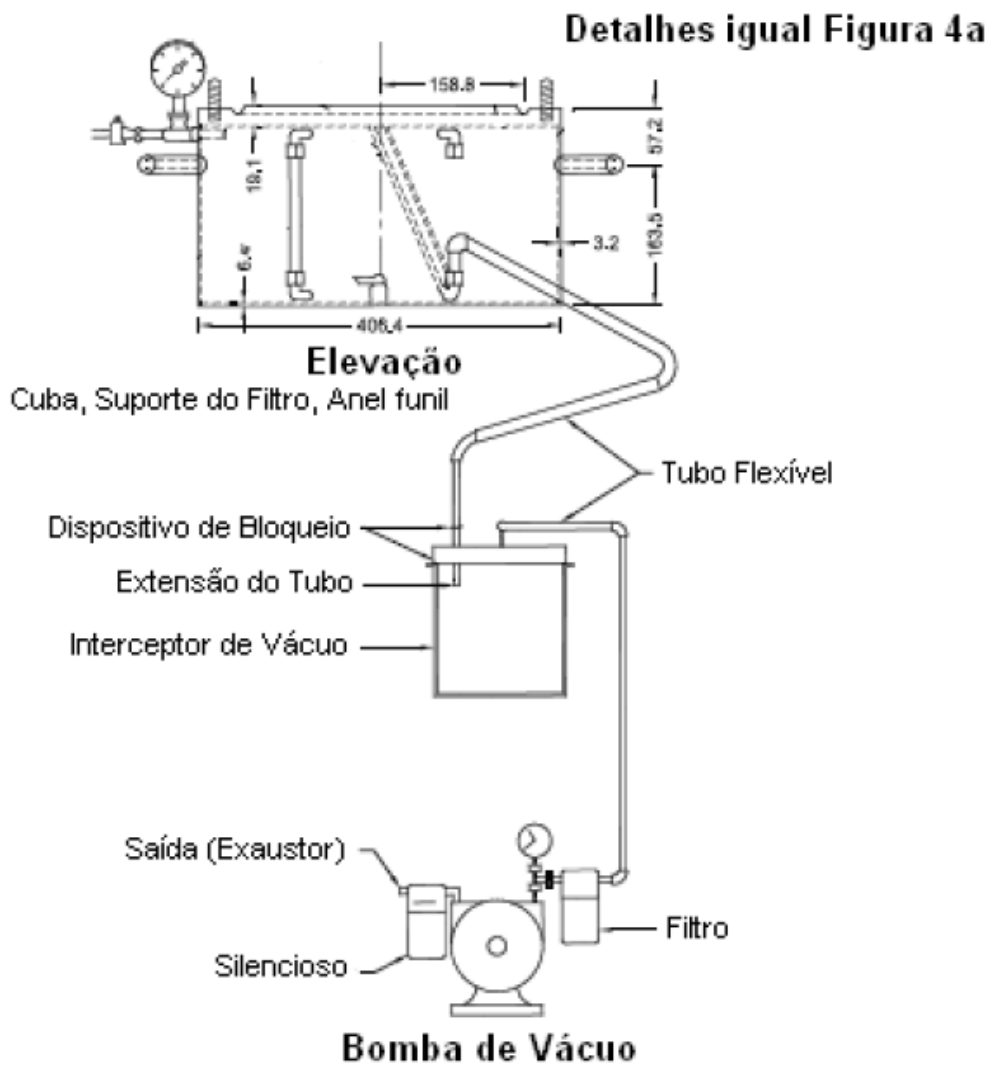


Nota: Veja Tabela 3 para dimensões equivalentes. Todas as medidas em mm, exceto onde indicado.

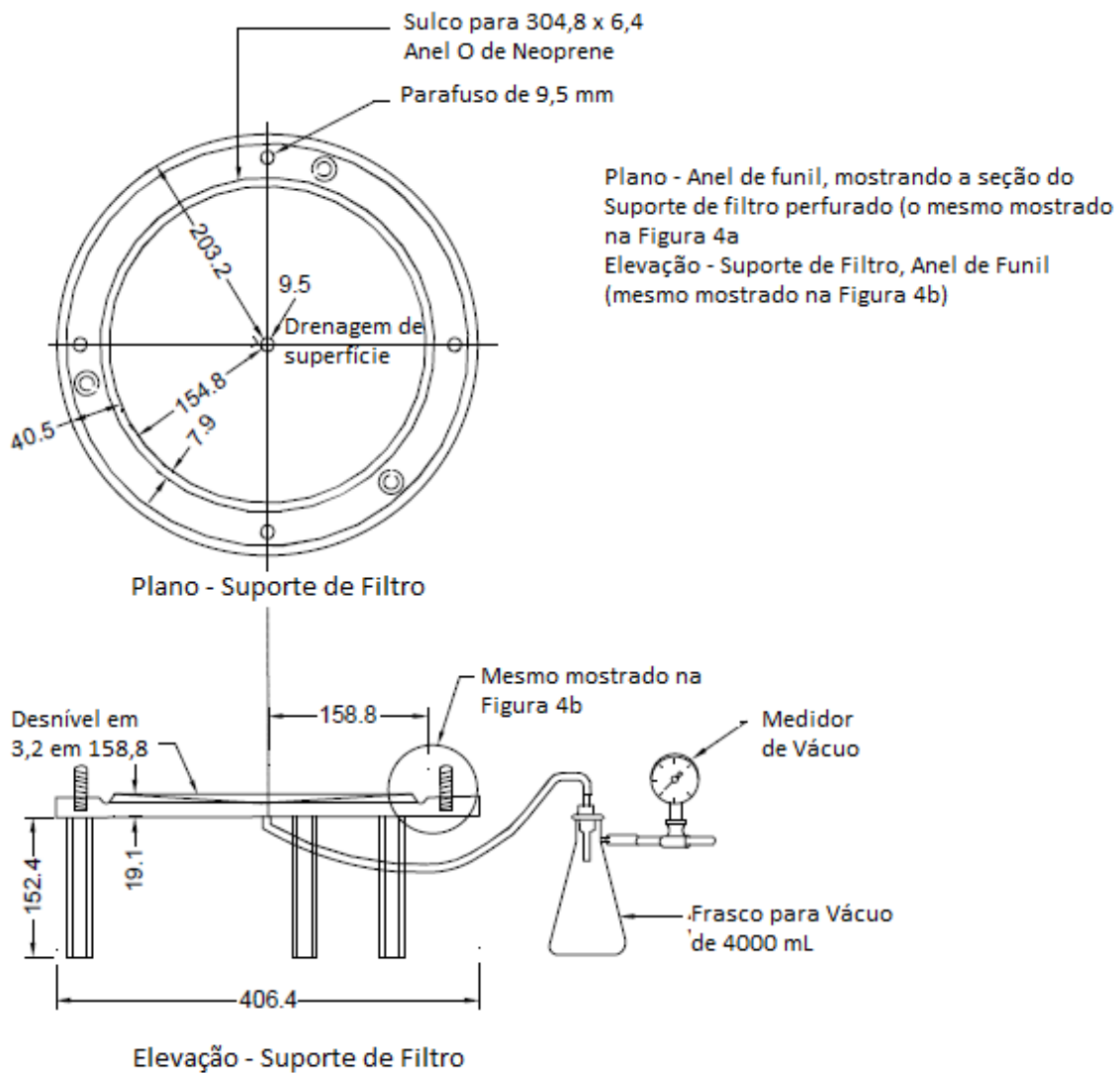
**Tabela 3 – Dimensões equivalentes**

Pol.	mm	Pol.	mm
16	406	2 1/4	57
12 5/8	321	1 19/32	40
12	305	3/4	19
8	203	1/2	12.7
6 7/16	164	3/8	9.5
6 1/4	159	1/4	6.4
6 1/8	156	3/64	1.98
6 3/32	155	0,060	1.52
3 3/4	95		

**Figura 4b – Extrator de Vácuo**



Nota : Todas as dimensões em mm, exceto onde indicado



Nota: Todas as dimensões em mm, exceto onde indicado.

**Figura 4c - Extrator de Vácuo**

- 21.1.2. Filtro de Papel – Grau médio, filtragem rápida, 330 mm (13 pol.) de diâmetro.
- 21.1.3. Recipiente para amostra – 3.8 L (4 qt.) de capacidade ou maior.
- 21.1.4. Frascos de Erlenmeyer – Em vidro, dois, tendo capacidade de 4000 ml cada.
- 21.1.5. Cilindro Graduado – Em vidro, tendo capacidade de 500 ml.
- 21.1.6. Garrafa para Lavagem – Em plástico, tendo capacidade de 500 ml.
- 21.1.7. Termômetro de Descagem – Tendo alcance de 10 a 82°C (50 a 180°F).
- 21.1.8. Colher para misturas.
- 21.1.9. Espátula.
- 21.1.10. Pincel com cerdas duras.
- 21.1.11. Frascos de Erlenmeyer – Em vidro, tendo capacidade de 1000 ml



- 21.1.12. Relógio de vidro – Tendo capacidade de aproximadamente 100 mm (4 pol.)
- 21.1.13. Pinças de Metal – Com comprimento de 150 a 200 mm (6 a 8 pol.).
- 21.1.14. Peneiras – 1,18 mm (Nº16) e 75 µm (Nº200) - 305mm (12in.) de diâmetro, (opcional).
- 21.1.15. Béquer de Aço Inox.

---

## 22. REAGENTES E MATERIAIS

- 22.1. Agente Filtrante de Sílica Diatomácea – Conforme Tipo B da ASTM D 604.
- 22.2. Álcool etílico – Desnaturado (opcional).
- 22.3. Cloreto de Metileno (Nota 17).

**Nota 17** – Qualquer outro solvente listado na Seção 7 pode ser substituído pelo cloreto de metileno.

---

## 23. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA TESTE

- 23.1. Prepare as amostras de teste para determinação de umidade e extração de acordo com o procedimento da Seção 9.

---

## 24. PROCEDIMENTO

- 24.1. Determine o teor de umidade da mistura asfáltica de acordo com o método descrito na Seção 10.
- 24.2. Extração:
  - 24.2.1. Coloque a amostra do ensaio de extração em um béquer de aço inox de massa tarada, e determine a massa (Nota 18).
  - 24.2.2. a temperatura da amostra está acima de 54°C (130°F), deixe esfriar até abaixo de 54°C (130°F). Quando resfriada suficientemente, derrame 200 ml de álcool desnaturado, se for necessário, sobre a amostra (Nota 18). Adicione aproximadamente 700 ml de solvente e mexa até se veja que o ligante asfáltico se transformou em solução (Nota 19).

**Nota 18** – Álcool não deve ser usado com solventes de terpeno.

**Nota 19** – Se disponível, um tanque de limpeza por ultrassom pode ser utilizado no lugar do béquer (Item 25.2.1) e o ligante asfáltico levado à solução (Item 25.2.2.).

---

## MÉTODO DE ENSAIO E-I

24.2.3. Seque o filtro de papel (mais de um filtro pode ser usado) até a constância de massa em uma estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e coloque o filtro de papel no extrator, tomando cuidado para centralizar o filtro de papel e apertar bem as porcas borboleta com as mãos (Nota 20).

**Nota 20** – A experiência tem mostrado que o entupimento do filtro pode ser reduzido decantando a solução de extrato pela peneira de 1,18mm (Nº. 16) e  $75\mu\text{m}$  (nº. 200) para o filtro. Quando peneiras são usadas, a solução será decantada na peneira de 1,18mm (Nº. 16) ao invés do filtro.

24.2.4. Ligue a bomba de vácuo e lentamente decante a solução de extrato do recipiente da amostra para o filtro. Quando toda a solução for removida do filtro de papel, a bomba de vácuo pode ser desligada ou deixada ligada.

24.2.5. Cubra a amostra remanescente no recipiente com o solvente, com 700 ml. Mexa gentilmente até que o ligante asfáltico e o agregado fino pareçam estar em suspensão (ou ligue o limpador ultrassônico se usado). Repita o passo da Seção 25.2.4.

24.2.6. Repetir o Item 25.2.5 até que a cor da solução esteja caramelo claro (quando visto contra um fundo branco) e o agregado visualmente limpo. O fluxo do solvente pode ser diminuído, para observação da cor, abrindo parcialmente a válvula de vácuo e reduzindo a aspiração. Se solvente de terpeno for usado, derrame todo o solvente dentro do filtro e deixe o vácuo continuar até que o fluido tenha passado através do filtro. Repetir Item 25.2.5 e 25.2.4 usando água de preferência com temperatura acima de  $43^{\circ}\text{C}$  ( $110^{\circ}\text{F}$ ) quantas vezes for necessário para remover o resíduo de terpeno do agregado e deixar a água passante transparente. A bomba de vácuo deve trabalhar por alguns minutos a mais depois da última lavagem para ajudar na secagem da amostra. Raspar o agregado do anel funil na direção do centro do filtro para que não se perca quando o anel for removido. Também lave os lados do anel funil para remover qualquer material fino. Pare o vácuo e remova o anel, escove o agregado grudado para dentro de uma Bandeja de secagem com massa conhecida. Cuidadosamente retire o papel filtro segurando o papel por lados opostos e levantando firmemente. Transferir o agregado do papel filtro para a Bandeja de secagem com massa conhecida e escovar o agregado pregado ao papel filtro para dentro da Bandeja. O papel filtro e o agregado podem ser colocados separados em Bandejas de massa conhecida ou alternativamente o agregado pode ser

colocado em uma Bandeja de massa conhecida e o papel filtro colocado em cima do agregado. Em qualquer um dos casos, todo traço de agregado da amostra deve ser transferido para a(s) Bandeja(s) de secagem.

24.2.7. Seque o agregado extraído e filtre até a constância de massa em uma estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) (Nota 21).

**Nota 21** – Veja o procedimento alternativo na Seção 12.5.1 quando papel de filtro de baixa cinza for usado.

24.2.8. Determine a massa do filtro e do agregado na(s) bandeja(s), e registre. Subtraia a massa do filtro e panela para determinar a massa do agregado extraído.

24.2.9. Determine o material mineral na solução de extrato por um dos procedimentos especificados no Anexo A1 (Nota 22).

---

## MÉTODO DE ENSAIO E-II

24.2.10. Para extrair eficientemente uma mistura asfáltica lentamente filtrada, prepare a amostra de teste como descrito na Seção 25.2.1 e Seção 25.2.1.

24.2.11. Seque o papel de filtro até a constância de massa em uma estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e coloque o papel de filtro no extrator, tomando cuidado para centralizar o filtro e apertar as porcas borboletas com as mãos (Nota 20).

24.2.12. Pese entre 50 e 200 g de agente filtrante de sílica diatomácea seca em um frasco de Erlenmeyer de 1000 ml; registre a massa, e depois adicione 500 ml de solvente. Agite em movimento giratório até que a sílica diatomácea esteja totalmente suspensa.

24.2.13. Imediatamente derrame a sílica diatomácea e o solvente sobre o filtro. Dois filtros pré-secos adicionando de 50 a 100 g sílica diatomácea podem ser usados para reter o material menor do que  $75\mu\text{m}$  (Nº 200), se desejado, para facilitar o fluxo do líquido. Ligue a bomba de vácuo, deixe ligada até que a placa formada pela sílica diatomácea esteja seca e comece a rachar levemente (Nota 23).

**Nota 23** – Algumas sílicas diatomáceas podem ser lavadas através do filtro e incluídas na determinação matéria mineral da Seção 25.2.15. Testes em branco são recomendados para

determinar a quantidade de sílica diatomácea, se existir, perdidas pelo filtro. Uma correção apropriada será necessária na massa da matéria mineral.

24.2.14. Coloque o relógio de vidro, e lentamente decante o solvente do recipiente sobre o relógio de vidro (Nota 24). Pare a bomba de vácuo quando a solução for removida do filtro. Repita como na Seção 25.2.5, mas decante a solução no relógio de vidro. Complete o procedimento como na Seção 25.2.6. Também lave o relógio de vidro com solvente para remover qualquer material fino do filtro.

**Nota 24** – Quando peneiras de tela são usadas, o relógio de vidro não é necessário.

24.2.15. Determine a quantidade de material mineral na solução de extrato por um dos procedimentos especificados no Anexo A1 (Nota 22).

---

## **25. CÁLCULO DE TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO (APLICÁVEL EM AMBOS OS MÉTODOS E-I E E-II)**

25.1. Calcule a porcentagem de ligante asfáltico na amostra de teste de acordo com o procedimento descrito na Seção 13.

---

## **MÉTODO DE ENSAIO F**

### **26. Equipamentos**

26.1. Além do equipamento descrito no Item 6, os seguintes equipamentos são necessários para o Método F:

26.2. Aparelho extrator de asfalto, similar ao mostrado na figura 5, tipo Soxhlet (extra-grande), de vidro resistente, composto de balão de 4 L para depósito do extrato, copo de alojamento da amostra e condensador.

26.3. Fonte de calor (fogareiro a gás, elétrico ou manta aquecedora, capaz de atingir o ponto de ebulição do solvente).

26.4. Papel de filtro com espessura da folha de  $1,27 \pm 0,03$ mm – gramatura 250/272g (especial). Tamanho da folha 25 x 45 cm.

26.5. Papel de filtro de gramatura 80/92g (simples). Tamanhos das folhas 50 x 50 cm e 80 x 80 cm.

26.6. Tubo de pvc de 50mm de diâmetro e 450mm de comprimento.

26.7. Solvente – conforme item 6 (preferencialmente Tricloroetileno).

26.8. Bandeja, concha, pinça tipo tesoura, grampeador de papel, tesoura, garras para fixar o aparelho Soxhlet.

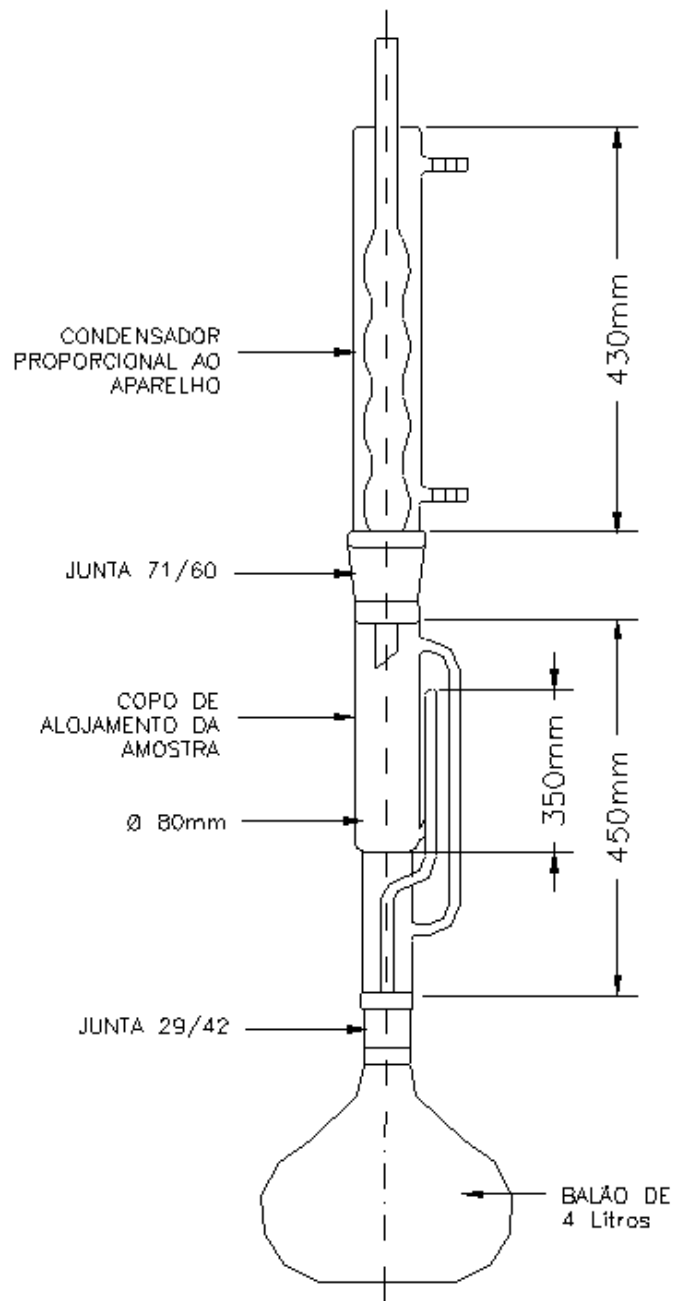


Figura 6 - Extrator Soxhlet

---

## 27. PREPARO DAS AMOSTRAS

27.1. Prepare as amostras para determinação da umidade e extração, de acordo com o procedimento descrito no Item 9.

---

## **28. PROCEDIMENTO**

28.1. Determine o conteúdo de umidade da Mistura Asfáltica (Item 9.2.3) de acordo com o método descrito no Item 10.

28.2. Extração:

28.2.1. Seca-se o cartucho até constância de peso (deixar na estufa junto com a amostra é um bom procedimento).

28.2.2. Coloca-se solvente até cerca de  $\frac{3}{4}$  do volume do balão do aparelho Soxhlet, e encaixa-se o copo de alojamento da amostra.

28.2.3. Pesa-se com aproximação de 0,1g (Ver nota 12) o cartucho seco e anota-se seu peso (P1).

28.2.4. Coloca-se a amostra no cartucho, com o auxílio da concha e pesa-se com aproximação de 0,1g (Ver nota 12) e anota-se seu peso (P2).

28.2.5. Com o auxílio da pinça, introduzir o cartucho com amostra no alojamento da amostra do aparelho Soxhlet, coloca-se solvente até aproximadamente a metade da altura do cartucho, encaixa-se o condensador, liga-se a água para resfriamento do condensador e aciona-se a fonte de calor.

28.2.6. Deixar destilar, condensar e sifonar quantas vezes forem necessárias, até que o solvente esteja com sua coloração caramelo claro.

28.2.7. Retira-se o cartucho com o agregado do copo de alojamento da amostra do aparelho Soxhlet, com auxílio da pinça e coloca-se na estufa a 110°C, até constância de peso.

28.2.8. Retira-se o cartucho com o agregado da estufa e pesa-se com aproximação de 0,1g (Ver nota 12) e anota-se seu peso (P3).

---

## **29. CONFECÇÃO DO CARTUCHO**

29.1. Toma-se uma folha de papel simples de 50x50cm, e enrola-se no tubo de pvc posicionado verticalmente no centro da folha sobre a bancada.

29.2. Sobre esta folha enrola-se a folha de papel especial de 25x45 cm com o lado maior longitudinalmente ao tubo, e dobra-se o fundo, aparando se necessário. Prende-se com fita adesiva.

29.3. Sobre esta folha enrola-se outra folha de papel simples de 50x50 cm, da mesma forma que a primeira.

29.4. Sobre esta folha enrola-se a folha de papel simples de 80x80cm, da mesma forma que as de 50x50 cm. Prende-se com grampeador e aparase o excesso com uma tesoura, deixando a altura acabada do cartucho com 36,5 cm.

---

### 30. CÁLCULOS

30.1. A percentagem (P%) de asfalto é calculada com aproximação de 0,1%, pela fórmula:

$$(P\%) = 100 \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \quad (2)$$

**Nota 25** – Quando for desejável expressar o conteúdo de ligante asfáltico como uma percentagem de massa do agregado seco, substitua pela massa P3-P1 a massa P2 – P1 no divisor da Equação 2.

---

### 31. PRECISÃO E VARIAÇÕES

31.1. O desvio padrão para laboratório único tem sido de 0,18 por cento. Assim, os resultados de dois testes conduzidos adequadamente pelo mesmo operador com amostra do mesmo tipo não devem diferir mais do que 0,52 por cento. Esses valores se tornam 0,21 e 0,58, respectivamente, quando solvente contendo 85 por cento de terpeno for usado (Nota 25 e 26).

31.2. O desvio padrão multi-laboratorial tem sido de 0,29 por cento. Porém, os resultados de dois testes conduzidos adequadamente por dois laboratórios em amostras do mesmo tipo não devem diferir mais do que 0,81 por cento. Esses valores se tornam 0,21 e 0,58, respectivamente, quando solvente contendo 85 por cento de terpeno for usado (Nota 25 e 26).

**Nota 25** – Esses números representam respectivamente, os limites (1S) e (D2S) como descrito na ASTM C 670 – Práticas Recomendadas.

**Nota 26** – Esses valores de precisão são baseados em um par de amostras de referências com 59 laboratórios e três resultados foram deletados como fora dos limites. As amostras e referência continham agregado com 98 por cento passante pela tela de 9,5 mm (3/8 pol.). Todos os métodos de ensaio foram usados no programa de testes interlaboratoriais.

---

### 32. PALAVRAS-CHAVE

32.1. Ligante asfáltico; mistura asfáltica; extração da mistura asfáltica; centrifuga; refluxo; solvente; extração a vácuo.

---

## ANEXO A

(Informação Obrigatória)

---

### 33. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE MATERIAL MINERAL NO EXTRATO

#### 33.1. Método de Cinzas:

##### 33.1.1. Equipamentos:

- 33.1.1.1. Prato de Ignição – Pelo menos com capacidade de 125 ml.
- 33.1.1.2. Mufla ou Bico de Bunsen.
- 33.1.1.3. Fonte de vapor ou placa quente.
- 33.1.1.4. Dessecador.
- 33.1.1.5. Balança Analítica – Conforme os requisitos da M 231, Classe do B.
- 33.1.1.6. Cilindro – Capacidade de 100 ml.

##### 33.1.2. Reagentes:

- 33.1.2.1. Solução de Carbonato de Amônio – Solução Saturada de reagente PA Carbonato de a  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ .

##### 33.1.3. Procedimento:

- 33.1.3.1. Determine o volume ou a massa do extrato total (W1). Condicione o prato de ignição na mufla ou no bico de Bunsen com a chama de cor vermelho opaco no mínimo por 10 min; resfrie-o no dessecador, e determine a massa do prato de ignição com aproximação de 0,001 g. Agite o extrato completamente e imediatamente calibre 100mL ou 100 g no prato de ignição. Evapore até seco, em um banho de vapor ou placa aquecedora. Queime o resíduo até vermelho (500 a 600°C) (932 a 1112°F) e resfrie. Determine a massa de cinzas e adicione 5 ml de solução de carbonato de amônia saturada por cada grama de cinza. Deixe descansar por 1 (uma) hora à temperatura ambiente. Seque em uma Estufa a  $110\pm 5^\circ\text{C}$  ( $230\pm 9^\circ\text{F}$ ) até massa constante, resfrie em um dessecador, e determine a massa com uma aproximação de 0,001 g (G)). Calcule a massa de matéria mineral no volume total do extrato (W4) coo descrito abaixo:

$$W_4 = G/(W_1/100) \tag{A1.1}$$

onde:



G = cinza remanescente no prato de ignição com aproximação de 0,001 g; e

$W_1$  = volume total, ml (ou massa total, g) do extrato.

### 33.2. Método de Centrifugação:

#### 33.2.1. Equipamentos:

33.2.1.1. Qualquer centrífuga aceitável de alta velocidade (3000 r/min ou maior) de fluxo contínuo.

33.2.1.2. Balança – Conforme os requisitos da M 231, Classe G 1.

33.2.1.3. Funil ou Exaustor de vapor.

#### 33.2.2. Procedimento:

33.2.2.1. Determine a massa de um copo da centrífuga vazio e limpo (ou cuba) com uma aproximação de 0,001g e coloque na centrífuga. Posicione um recipiente, na canaleta apropriada, para coletar o efluente da operação de centrifugação. Transfira todo o extrato (do Método A, B, D, ou E como for necessário) para um receptáculo equipado com um controle de saída (válvula ou braçadeira, etc.). Para assegurar a transferência total do extrato para o receptáculo com controle de fluxo, o recipiente com o extrato deve ser lavado muitas vezes com pequenas quantidades de solvente limpo e o líquido adicionado ao conteúdo do receptáculo. Ligue a centrífuga e deixe que alcance uma velocidade operacional constante (ex: 9000 r/min para a Tipo SMM e 20000+ r/min para a Tipo Sharpless. Abra o controle de saída do receptáculo e alimente a centrífuga entre 100 e 150 ml/min. Depois que todo o extrato passou para a centrífuga, lave o mecanismo de alimentação (com a centrífuga ainda em movimento) com pequenas quantidades de solvente, deixando cada ciclo de lavagem passar para a centrífuga até que o líquido saia essencialmente sem cor.

33.2.2.2. Deixe a centrífuga parar e remova o copo (ou cuba). Limpe o exterior com solvente limpo. Permita o solvente residual evaporar em um funil ou exaustor de vapor e então seque o recipiente em uma Estufa controlada a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Resfrie o recipiente e determine a sua massa com uma aproximação de 0,01g imediatamente. O aumento na massa é a massa de material mineral W4 no extrato (Seção 13).

### 33.3. Método Volumétrico:

### 33.3.1. Equipamentos:

33.3.1.1. Frasco.

33.3.1.2. Banho-maria – Capacidade de controlar a temperatura a  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,2^{\circ}\text{F}$ ).

33.3.1.3. Balança – Conforme os requisitos da M 231, Classe G 2.

### 33.3.2. Procedimento:

33.3.2.1. Coloque o extrato em um frasco previamente tarado e calibrado. Coloque o frasco em um banho-maria de temperatura constante controlado a  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,2^{\circ}\text{F}$ ), e permita chegar na temperatura a qual o frasco foi calibrado. Quando a temperatura desejada for alcançada, encha o frasco com solvente na mesma temperatura. Leve o nível do líquido no frasco até a borda, insira a rolha, fazendo com que o líquido chegue até o tubo capilar, e remova do banho-maria. Seque bem o frasco e determine a massa com uma aproximação de 0,1g, e gravar o resultado como sendo a massa do conteúdo do frasco, M1.

**Nota A1** – Em lugar de usar um banho-maria de temperatura controlada, a temperatura do extrato pode ser medida e as correções necessárias, ao volume do frasco e densidade de asfalto e solventes, poderão ser feitas.

33.3.2.2. Após o agregado extraído ser resfriado e seco até atingir uma massa constante, determinar a massa com precisão de 0.1g. Registrar a massa inicial menos a massa do agregado após a extração como a massa do ligante asfáltico, M2.

33.3.2.3. Calcule o volume do asfalto e agregados finos no extrato como descrito abaixo:

$$V_1 = V_2 - \frac{(M_1 - M_2)}{G_1} \quad (\text{A1.2})$$

onde:

$V_1$  = volume do asfalto e finos do extrato, ml;

$V_2$  = volume do frasco, ml;

$M_1$  = massa do conteúdo do frasco, g;

$M_2$  = massa do ligante asfáltico e finos no extrato (ou massa inicial da amostra menos a massa do agregado extraído), g; e

$G_1$  = massa específica do solvente determinada com aproximação de 0,001 de acordo com a ASTM D2111.

33.3.2.4. Calcule a massa de agregado fino no extrato com descrito abaixo:

$$W_4 = K(M_2 - G_3V_1) \quad (A1.3)$$

onde:

$W_4$  = massa da matéria mineral no extrato;

$$K = \frac{G_2}{G_2 - G_3}$$

$G_2$  = massa específica dos finos como determinado de acordo com a T 84;

$G_3$  = massa específica do ligante asfáltico como determinado de acordo com a T 228;

$M_2$  = como dado na Seção A1.3.2.3; e

$V_1$  = com dado na Seção A1.3.2.3.

## **T-166 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS USANDO AMOSTRAS SATURADAS COM SUPERFÍCIE SECA**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio estabelece a determinação da Massa Específica Aparente de corpos de prova de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) compactadas.

1.2. Este método não deve ser usado com amostras que contém aberturas ou vazios interconectados ou que absorvam mais de 2 por cento de água em volume, como determinado das Seções 7.2 ou 10.2 em diante. Se a amostra contiver aberturas ou vazios interconectados ou que absorvam mais de 2 por cento de água em volume, deve se usar T-275 ou T-331.

1.3. A massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da mistura asfáltica compactada pode ser usada no cálculo massa unitária da mistura.

1.4. Nota 1 – Os valores para massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) obtidos da T-275 ou T-331 podem ser diferentes. Cuidado deve ser exercido quando comparando resultados de ensaios da T-275 ou T-331.

1.5. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.6. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

#### 2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 275 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Compactadas Usando Corpos de Prova Parafinados
- ARTERIS T 331 - Massa Específica Aparente e Densidade de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Método de Selagem Automática a Vácuo
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories

- AASHTO R 79 – Vacuum Drying Compacted Asphalt Specimens
- ASTM C670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- E1 – Standard Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers

---

### 3. TERMINOLOGIA

#### 3.1. Definições:

3.1.1. Massa específica aparente (de sólidos) ( $G_{mb}$ ) – A razão do peso ao ar de uma unidade de volume de um material permeável (incluindo não só os vazios permeáveis, mas também os impermeáveis do material) a uma determinada temperatura, para o peso ao ar de igual volume de água destilada livre de gases a uma determinada temperatura. A forma da expressão será:

$$\text{Massa específica aparente } (G_{mb}) \text{ } x/y^{\circ}\text{C}$$

onde:

$x$  = temperatura do material; e

$y$  = temperatura da água.

3.1.2. Constância de Massa – Deve ser definida como a massa a qual secagens futuras não alterarão a massa por mais de 0,05 por cento quando pesado em intervalos de 2 h usando uma estufa de secagem, ou por mais de 0,05 por cento quando pesado depois de pelo menos dois ciclos de secagem em equipamentos de secagens a vácuo conforme descrito na R 79.

---

### 4. AMOSTRAS DE ENSAIO

4.1. Os corpos de prova para ensaio podem ser aqueles extraídos da pista ou misturas asfálticas compactadas em laboratório.

4.2. Tamanho das Amostras – É recomendado que: (1) o diâmetro de amostras compactadas cilíndricamente ou tubulares, ou o comprimento dos lados de amostras cerradas, seja pelo menos igual a quatro vezes o tamanho máximo do agregado; e (2) a espessura das amostras seja pelo menos uma vez e meia o tamanho máximo do agregado.

- 4.3. Os corpos de prova da pista devem ser retirados com broca de diamante ou vdia ou outro meio adequado.
- 4.4. Devem ser tomados cuidados para evitar distorção, selamento ou trincamento do corpo de prova durante ou após sua remoção do pavimento ou molde. Eles devem ser guardados em locais frios e seguros.
- 4.5. Os corpos de prova devem ser livres de materiais estranhos, tais como imprimação, pintura de ligação, material da camada subjacente, solos, papéis ou alumínio.
- 4.6. Se necessário, os corpos de prova podem ser separados das outras camadas do pavimento por serra ou outro meio adequado. Cuidado deve ser exercido para assegurar que a serragem não cause danos às amostras.

---

## **MÉTODO A**

### **5. EQUIPAMENTOS**

- 5.1. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, precisão de 0,1 por cento da massa do corpo de prova, ou melhor, e estar de acordo com os requisitos da ET 231. balança deverá estar equipada com um sistema adequado para suspender e agarrar o corpo de prova para permitir a pesagem do mesmo pelo centro do prato.
- 5.2. Equipamento de Suspensão – O arame suspendendo o recipiente deve ser do menor tamanho possível para minimizar quaisquer possíveis efeitos de variação no comprimento imerso. O equipamento de suspensão deve ser feito de maneira a permitir a imersão total do corpo de prova durante a pesagem Cuidado deve ser exercido para assegurar que nenhuma bolha de ar fique presa embaixo da amostra.
- 5.3. Recipiente para gua – Para imersão do corpo de prova na água quando suspenso debaixo da balança, equipado com um ladrão para permitir a manutenção do nível de água constante.

---

### **6. PROCEDIMENTO**

- 6.1. Secar a amostra até a massa constante à temperatura de  $45 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $113 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ). Amostras saturadas com água, inicialmente devem ser secas durante a noite e, em seguida, pesadas a intervalos 2 horas de secagem. Amostras de laboratório compactadas recentemente, que não foram expostas a umidade, não necessitam de secagem. Como uma alternativa para a secagem em estufa até a constância de massa, secar a amostra de acordo com a R 79 é aceito. Quando usando a R 79

para chegar até a constância de massa, faça o procedimento de secagem pelo menos 2 vezes, com uma determinação de massa a cada ciclo de secagem.

6.2. Esfrie a amostra a temperatura ambiente a  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ), e registre a massa seca como A (Nota 2). Mergulhe a amostra no banho a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ) por  $4 \pm 1$  min, e registre a massa imersa como C. Remova a amostra do banho; seque com uma toalha úmida, e determine a massa da superfície seca com B o mais rápido possível (a operação inteira não deve exceder 15 s). Qualquer água que vaze da amostra durante a operação de pesagem é considerada parte da amostra saturada. Cada amostra deve ser imersa e pesada individualmente.

**Nota 2** – Se desejado, a sequência das operações de ensaio pode ser trocada para acelerar os resultados do ensaio. Por exemplo, primeiro pese massa imersa (C), depois a saturada com superfície seca (B) e finalmente a massa seca (A).

**Nota 3** – Toalhas de algodão funcionaram bem como tecido absorvente. É considerada úmida quando nenhuma água sair da toalha quando torcida.

---

## 7. CÁLCULOS

7.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra como descrito abaixo:

$$\text{Massa Específica Aparente} = \frac{A}{B - C} \quad (2)$$

onde:

A = Massa da amostra ao ar, g;

B = Massa da amostra saturada com superfície seca, g.; e

C = Massa da amostra imersa na água, g.

7.2. Calcule a porcentagem da água absorvida pelo corpo de prova (em bases volumétricas) como descrito abaixo:

$$\text{Porcentagem de água absorvida} = 100 \times \frac{B - A}{B - C} \quad (3)$$

7.3. Se a porcentagem de água absorvida pela amostra como calculada na Seção 7.2 exceder 2,0 por cento, use a T 275 ou a T 331 para calcular a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ).

---

## MÉTODO B

### 8. EQUIPAMENTOS

- 8.1. Balança – A balança deve ter capacidade suficiente, precisão de 0,1 por cento da massa do corpo de prova, ou melhor, e estar de acordo com os requisitos da ET 231.
- 8.2. Recipiente com água – Para imersão da amostra.
- 8.3. Termômetro – ASTM 17 C (17 F) como previsto na ASTM E1, tendo intervalo de 19 a 27°C (66 a 80°F), graduado em subdivisões de 0,1°C (0,2°F).
- 8.4. Volúmetro - calibrado para 1200 ml ou de capacidade apropriada para conter o volume da amostra. O volúmetro deve ter uma tampa lacrada com um furo capilar.

---

### 9. PROCEDIMENTO

- 9.1. Secar a amostra até a massa constante à temperatura de  $45 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $113 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ). Amostras saturadas com água, inicialmente devem ser secas durante a noite e, em seguida, pesadas a intervalos 2 horas de secagem. Amostras de laboratório compactadas recentemente, que não foram expostas a umidade, não necessitam de secagem. Como uma alternativa para a secagem em estufa até a constância de massa, secar a amostra de acordo com a R 79 é aceito. Quando usando a R 79 para chegar até a constância de massa, faça o procedimento de secagem pelo menos 2 vezes, com uma determinação de massa a cada ciclo de secagem.
- 9.2. Esfrie a amostra à temperatura ambiente,  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$ ), e registre a massa seca como A (Nota 2). Imerja a amostra em um banho de água e deixe saturando por, no mínimo, 10 minutos. Ao final do período de 10 minutos, encha o volúmetro calibrado com água destilada à  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$ ), e pese o volúmetro. Designe esta massa como D. Remova a amostra saturada do banho e seque com uma toalha úmida (Nota 3) tão rápido quanto possível (não mais que 5s). Pese a amostra e registre o peso saturado com superfície seca como B. Qualquer gota de água que escorra do corpo de prova durante a operação de pesagem deve ser considerada como parte da amostra úmida.
- 9.3. Coloque a amostra no volúmetro, e deixe em repouso por no mínimo 60s. Deixe a água na temperatura de  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e cubra o volúmetro, tendo certeza de que um pouco de água escape pelo furo capilar da tampa. Limpe o lado de fora do volúmetro seco com uma toalha absorvente seca, e pese o volúmetro e seu conteúdo (Nota 4). Registre este peso como E.



**Nota 4** - Se desejado, a sequência das operações do ensaio pode ser alterada para acelerar os resultados. Por exemplo, primeiro pese massa da amostra saturada com superfície seca (B), depois o volúmetro com a amostra saturada (E), e finalmente a massa seca (A).

**Nota 5** – O Método B não é indicado para Amostras que tenham mais de 6 por cento de vazios.

---

## 10. CÁLCULOS

10.1. Calcule a massa específica aparente (Gmb) da amostra como descrito abaixo:

$$\text{Massa Específica Aparente} = \frac{A}{B + D - E} \quad (4)$$

onde:

A = Massa da amostra seca, g;

B = Massa da amostra saturada com superfície seca, g.; e

D = Massa do volúmetro cheio de água a  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ), g; e

E = Massa do volúmetro cheio com a amostra e água a  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ), g.

10.2. Calcule a porcentagem da água absorvida pelo corpo de prova (em uma base de volume) como descrito abaixo:

$$\text{Porcentagem de água absorvida por volume} = \frac{B - A}{B + D - E} \times 100$$

10.3. Se a porcentagem de água absorvida pela amostra como calculada na Seção 10.2 exceder 2,0 por cento, use a T 275 ou a T 331 para calcular a massa específica aparente (Gmb).

---

## MÉTODO C (ENSAIO RÁPIDO)

### 11. PROCEDIMENTO

11.1. Este procedimento pode ser usado para amostras de teste que não precisam ser mantidas e que contenham uma quantidade substancial de umidade. Amostras obtidas da pista ou serradas podem ser ensaiadas no mesmo dia por este método.

11.2. Este procedimento de ensaio deve ser o mesmo dado na Seção 6 ou 9 exceto pela sequência das operações. A amassa seca A da amostra é determinada por último como descrito abaixo:

11.2.1. Coloque a amostra em uma bandeja larga e de fundo plano, de massa conhecida.

Coloque a bandeja e a amostra em uma estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Deixe a amostra na estufa até que possa ser facilmente separada ao ponto que as partículas da porção de agregado fino da mistura asfáltica não sejam maiores do que 6,3 mm (1/4 pol.). Coloque a amostra separada em uma estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ), e seque até a constância de massa.

11.2.2. Esfrie a bandeja e a amostra a temperatura ambiente  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Determine a massa da bandeja e da amostra, subtraia a massa da bandeja, e registre a massa seca, A.

---

## 12. CÁLCULOS

12.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) como descrito na Seção 7.1 ou 10.1.

---

## 13. RELATÓRIO

13.1. O relatório deve incluir o seguinte:

13.1.1. O método usado (A, B ou C).

13.1.2. A massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) registrada com a aproximação ao milésimo.

13.1.3. A absorção registrada com aproximação ao centésimo.

---

## 14. PRECISÃO

**Tabela 1** – Estimativas de Precisão para a T 166

Condição de Ensaio	Desvio Padrão (1s) <sup>a</sup>	Intervalo Aceitável entre Dois Resultados (d2s) <sup>a</sup>
Precisão de operador único	0,002	0,006
Precisão multilaboratório	0,006	0,017

<sup>a</sup> Estes valores representam os limites 1s e d2s descritos na ASTM C670.

Nota: Baseado em estudos interlaboratoriais descritos na NCHRP Research Report 9-26 Phase 2 envolvendo amostras de 150 mm de diâmetro, 20 laboratórios, três materiais (misturas de 9,5 mm, 12,5 mm e 19,0 mm) e duas replicadas.

---

## **15. PALAVRAS-CHAVE**

15.1. Mistura asfáltica; massa específica aparente, superfície seca saturada; volúmetro.

## **T-209 - MASSA ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA E DENSIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTAÇÃO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio cobre a determinação da massa específica teórica máxima / massa específica máxima medida (Gmm) e densidade de misturas asfálticas não compactadas a 25°C (77°F).

**Nota 1** – A precisão do método é melhor quando o procedimento é performedo em amostras que contém agregados que foram completamente revestidos. Em ordem de assegurar o revestimento completo, é desejável performar o ensaio em amostras que possuem teor de ligante asfáltico próximo ao ótimo.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS ET 30 – Condicionamento de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ)
- ARTERIS R 47 – Redução de Amostras de Mistura Asfáltica a Quente para Ensaio de Granulometria
- AASHTO R 18 - Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- AASHTO R 61 – Establishing Requirements for Equipment Calibrations, Standardizations, and Checks
- AASHTO R 67 – Sampling Asphalt Mixtures after Compaction (Obtaining Cores)
- AASHTO R 97 – Sampling Asphalt Mixtures

- ASTM C 670 –Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

---

### **3. TERMINOLOGIA**

#### 3.1. Definições:

- 3.1.1. Densidade, como determinada por esta método – A massa de um metro cúbico de material a 25°C (77°F) em unidades do Sistema Internacional.
- 3.1.2. Pressão residual, como empregada por este método – A pressão em um recipiente quando é aplicado o vácuo.
- 3.1.3. Massa específica, como determinada por este método – A proporção de uma determinada massa de material a 25°C (77°F) para a massa de um volume igual de água na mesma temperatura.

---

### **4. SIGNIFICADO E USO**

4.1. A massa específica teórica máxima (Gmm) e a densidade de misturas asfálticas são propriedades intrínsecas pelas quais os valores são influenciados pela composição das misturas nos termos de tipos e quantidades de agregados e materiais asfálticos.

- 4.1.1. Essas propriedades são usadas para calcular a porcentagem de vazios de ar em misturas asfálticas compactadas.
- 4.1.2. Essas propriedades preveem valores alvo para compactação de misturas asfálticas.
- 4.1.3. Essas propriedades são essenciais para se calcular a quantidade de ligante asfáltico absorvido pela porosidade interna das partículas individuais de agregados na mistura asfáltica.

---

### **5. EQUIPAMENTOS**

5.1. Siga os procedimentos para calibrações, padronizações e checagens que estão de acordo com a R 18 e a R 61. A tara dos recipientes para vácuo devem ser determinadas e anotadas semanalmente.

#### 5.2. Recipiente para Vácuo:

- 5.2.1. O recipiente para vácuo descrito deve ser capaz de manter vácuo completo, e cada um deve ser equipado com os acessórios necessários pelo procedimento de ensaio sendo empregado. A abertura do recipiente que leva à bomba de vácuo deve ser coberta com uma malha de fio de 0,075 mm (N°.200) para minimizar as perdas de material fino.

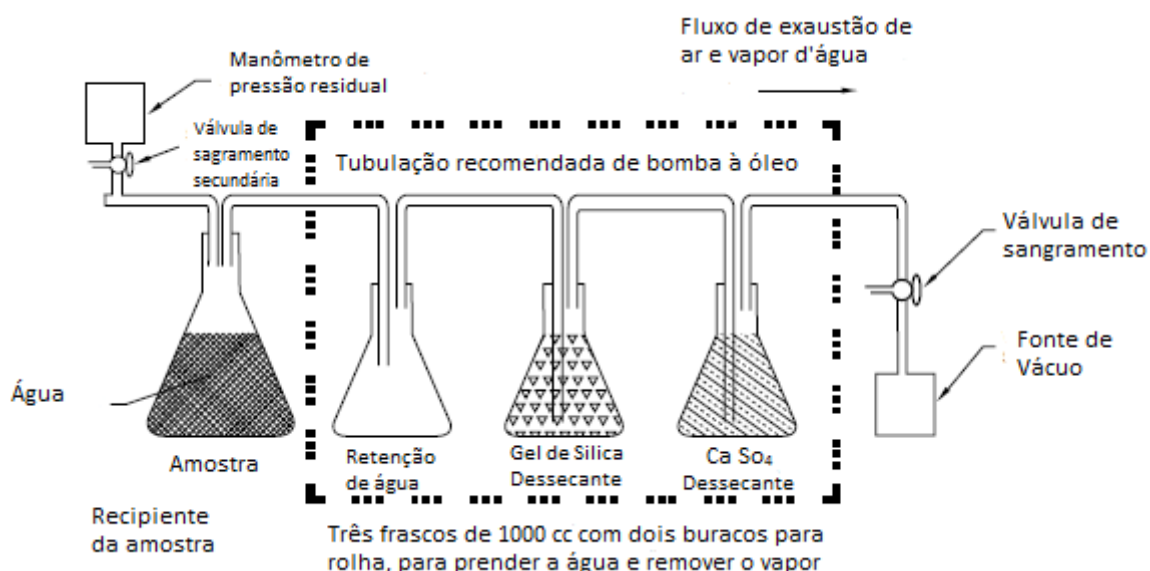
- 5.2.2. A capacidade do recipiente de vácuo deve ser entre 2000 e 10000 ml e depende dos requisitos de tamanho mínimo de amostra dados na Seção 6.3. Evite o uso de amostras pequenas em recipientes grandes.
- 5.2.3. Bandeja para Determinação de Massa em Água (Seção 11.1) – Bandejas de metal ou plástico com diâmetro de aproximadamente 180 a 260 mm (7 a 10 pol.) e altura de pelo menos 160 mm (6.3 pol.) equipada com uma tampa transparente com uma junta de borracha e uma conexão para a via de vácuo.
- 5.2.4. Frasco para Determinação de Massa ao Ar (Seção 11.2) – Um frasco volumétrico de vidro de parede grossa com uma linha inscrita de fábrica e uma rolha de borracha com uma conexão para a via de vácuo.
- 5.2.5. Picnômetro para Determinação da Massa ao Ar (Seção 11.2) – Um picnômetro de vidro, metal ou plástico com volume definido por meio de uma rolha capilar de vidro, tampa capilar ou placa de vidro.
- 5.3. Balança – Uma balança conforme os requisitos da M 231, Classe G 2. A balança deve ser calibrada com a periodicidade descrita nas normativas internas da Contratante.
- 5.3.1. Para o método de determinação de massa na água (Seção 11.1), a balança deve ser equipada com um equipamento adequado e suporte que permita a determinação da massa da amostra enquanto suspensa abaixo da balança. O fio suspendendo o suporte deve ser do menor tamanho prático para minimizar quaisquer possíveis efeitos de variação de comprimento enquanto imerso.
- 5.4. Bomba de Vácuo ou Aspirador de Água – Capaz de evacuar ar do recipiente para vácuo para uma pressão residual de 4,0 kPa (30 mmHg).
- 5.4.1. Quando uma bomba de vácuo a óleo for utilizada, uma bateria adequada de um ou mais frascos, ou equivalente, devem ser instalados entre o recipiente de vácuo e a fonte de vácuo para reduzir a quantidade de vapor de água entrando na bomba de vácuo.
- 5.5. Equipamento de Medição de Vácuo – Manômetro de pressão residual ou medidor de vácuo a ser conectado diretamente ao recipiente de vácuo e capaz de medir a pressão residual abaixo de 4,0 kPa (30 mmHg) ou menos (preferencialmente a zero). O dispositivo deve ser calibrado com a periodicidade descrita nas normativas internas da Contratante. Deve ter precisão de 0,1 kPa (1 mmHg). O dispositivo deve ser conectado no final da linha de vácuo usando um tubo apropriado ou um conector “T” no topo do recipiente ou uma abertura separada (da linha de vácuo) no topo do

recipiente ligado à mangueira. Para evitar danos, o manômetro não deve ser situado no topo do recipiente.

**Nota 2** – A pressão residual de 4,0 kPa (30 mmHg) de pressão absoluta é aproximadamente equivalente a leitura de 97 kPa (730 mmHg) em um medidor de vácuo no nível do mar.

**Nota 3** – Um exemplo de um arranjo adequado do equipamento de teste é mostrado na Figura 1. Na figura, o motivo desse exercício de pequenos filtros de frascos é prender o vapor de água do recipiente de vácuo que, se fosse o contrário, iria entrar no óleo da bomba de vácuo e diminuir a capacidade de bomba de prover o vácuo adequado.

**Figura 1** – Exemplo de arranjo adequado para equipamentos de ensaio



5.6. Válvula de sangramento - Ligada ao duto de vácuo para facilitar o ajuste de vácuo a ser aplicado ao recipiente de vácuo.

5.7. Termômetro (determinação de massa em Ar) – Um termômetro líquido em vidro ou outro dispositivo termométrico, com precisão de 0,5°C (1°F), de intervalo adequado com subdivisões de 0,5°C (1°F). O termômetro deve ser calibrado de acordo com a periodicidade descrita nas normativas internas da Contratante.

5.8. Estufa de secagem – Uma estufa de secagem controlada termicamente capaz de manter a temperatura a 135° ± 5°C (275 ± 9°F) ou 105 ± 5°C (221 ± 9°F).

5.8.1. Termômetro – Um termômetro líquido em vidro ou outro dispositivo termométrico, com precisão de 0,5°C (1°F), de intervalo adequado com subdivisões de 0,5°C (1°F). O termômetro deve ser calibrado de acordo com a periodicidade descrita nas normativas internas da Contratante.

5.9. Banho-Maria:

5.9.1. Para bandejas, é necessário um banho-maria capaz de manter temperatura constante entre 20 e 30°C (68 e 86°F).

5.9.2. Termômetro – Um termômetro líquido em vidro ou outro dispositivo termométrico, com precisão de 0,5°C (1°F), de intervalo adequado com subdivisões de 0,5°C (1°F). O termômetro deve ser calibrado de acordo com a periodicidade descrita nas normativas internas da Contratante.

5.9.3. Quando usando a técnica de determinação de massa em água (Seção 13.1), o banho-maria deve ser adequado para imersão do recipiente suspenso com a amostra dentro sem ar.

5.10. Luvas Protetoras – Usadas para manusear equipamento de vidro em efeito de vácuo.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. Produzidas em usinas:

6.1.1. Obter as amostras de acordo com a R 47 ou R 67 (corpos de prova).

6.1.2. Reduzir a amostra de acordo com a R 47.

6.2. Preparadas em laboratório:

6.2.1. Quando necessário, reduzir as amostras preparadas ou produzidas em laboratório de acordo com a R 47.

6.3. O tamanho da amostra deve ser de acordo com os seguintes requisitos. Amostras maiores que a capacidade do recipiente devem ser ensaiadas uma porção por vez.

**Tabela 1 – Tamanhos mínimos de amostra**

Tamanho Máximo Nominal de Agregado, mm	Tamanho mínimo da amostra, g
37,5 ou maior	4000
16 a 25	2500
12,5 ou menor	1500



---

## 7. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

### 7.1. Amostras preparadas em laboratório:

7.1.1. Amostras preparadas em laboratório devem ser condicionadas a curto prazo de acordo com a ET 30.

### 7.2. Amostras feitas em usina:

7.2.1. Seque a amostra até a constância de massa à temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $221 \pm 9^\circ\text{F}$ ) até que secagens futuras não alterem a massa em mais do que 0,1 por cento. Secagens devem ser combinadas com qualquer aquecimento descrito na Seção 7.3.

**Nota 5** – Condicionamento de curto-prazo na temperatura especificada é especialmente importante quando agregados absorventes são usados. O condicionamento de curto-prazo assegurará a computação de valores realistas para a quantidade de ligante asfáltico absorvido pelo agregado e propriedades de vazios da mistura. Misturas asfálticas produzidas em usinas devem ser avaliadas para assegurar que o período de condicionamento ocorreu durante a produção e entrega.

7.3. Separe as partículas da mistura asfáltica à mão, tomando cuidado para evitar fratura no agregado, para que as partículas da porção de agregado fino não sejam maiores do que 6,3 mm (1/4 pol.). Se a amostra de mistura asfáltica não estiver suficientemente mole para ser separada manualmente, coloque em uma bandeja e aquece-a em uma estufa até que possa ser separada como descrito.

7.4. Determine e registre a massa do recipiente de vácuo vazio.

7.5. Resfrie a amostra à temperatura ambiente, e coloque a amostra no recipiente de vácuo. Um recipiente dentro de outro recipiente não deve ser usado. Determine e registre a massa da amostra no recipiente. Subtraia a massa do recipiente da massa da amostra no recipiente. Registre a massa líquida da amostra como A.

7.6. Adicione água suficiente para cobrir a amostra completamente a temperatura de aproximadamente  $25^\circ\text{C}$  ( $77^\circ\text{F}$ ).

**Nota 6** – A liberação do ar preso pode ser facilitada pela adição de um agente solúvel em água adequado como Aerosol OT na concentração de 0,001 por cento ou 0,2 g em 20 L de água. Esta solução então é diluída na proporção de 20:1 para fazer um agente o qual 5 a 10 ml será adicionado ao equipamento.

---

## **MÉTODO DE ENSAIO A – AGITAÇÃO MECÂNICA**

### **8. EQUIPAMENTOS**

8.1. Em adição aos equipamentos listados na Seção 5, os equipamentos seguintes são necessários para o método A:

8.2. Agitador Mecânico – Agitador para remover o ar da mistura asfáltica.

---

### **9. PROCEDIMENTO**

9.1. Remova o ar preso na mistura aplicando vácuo aumentando gradualmente a intensidade até que o manômetro de pressão residual leia  $3,7 \pm 0,3$  kPa ( $27,5 \pm 2,5$  mmHg). Mantenha esta pressão residual por  $15 \pm 2$  min. Agite o recipiente e o conteúdo usando o dispositivo mecânico durante o período de vácuo. Frascos de vidro devem ser agitados em uma superfície resiliente como borracha ou um material plástico, e não em uma superfície dura, para assim evitar impacto excessivo durante o vácuo.

9.2. No final do período de vácuo, libere o vácuo aumentando a pressão em uma taxa que não exceda 8 kPa (60 mmHg) por segundo e proceda com um dos métodos de determinação de massa na Seção 11.

---

## **MÉTODO DE ENSAIO B – AGITAÇÃO MANUAL**

### **10. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA**

10.1. Remova o ar preso na mistura aplicando vácuo aumentando gradualmente a intensidade até que a manômetro de pressão residual leia  $3,7 \pm 0,3$  kPa ( $27,5 \pm 2,5$  mmHg). Mantenha esta pressão residual por  $15 \pm 2$  min. Agite o recipiente e seu conteúdo vigorosamente em intervalos de 2 minutos. Frascos de vidro devem ser agitados em uma superfície resiliente como borracha ou um material plástico, e não em uma superfície dura, para assim evitar impacto excessivo durante o vácuo.

10.2. No final do período de vácuo, libere o vácuo aumentando a pressão em uma taxa que não exceda 8 kPa (60 mmHg) por segundo e proceda com um dos métodos de determinação de massa na Seção 11.

---

### **11. DETERMINAÇÃO DE MASSA**

11.1. Determinação de Massa na Água – Suspenda o recipiente e seu conteúdo em um banho-maria a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77^\circ \pm 2^\circ\text{F}$ ). Determine e registre a massa depois de  $10 \pm 1$  min de imersão. Designe a massa da amostra e do recipiente na água como C.

11.2. Determinação de Massa ao Ar – Encha o frasco ou um dos picnômetros com água e ajuste o conteúdo para uma temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 2^\circ\text{F}$ ). Determine e registre a massa do recipiente

e seu conteúdo, completamente cheio, de acordo com a Seção A1.2.1 dentro de  $10 \pm 1$  min depois do vácuo ser liberado. Designe essa massa como E.

---

## 12. CÁLCULO

12.1. Massa específica teórica máxima (Gmm):

12.1.1. Calcule a massa específica teórica máxima (Gmm) da amostra a 25°C (77°F) como descrito abaixo:

12.1.2. Determinação de Massa em Água:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \quad (1)$$

onde:

A = massa ao ar da amostra seca em estufa, g.

B = massa do recipiente imerso na água, g, determinada de acordo com a Seção A1.1; e

C = massa da amostra e recipiente na água, g.

12.1.3. Determinação de Massa ao Ar.

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad (2)$$

onde:

A = massa ao ar da amostra seca em estufa, g.

D = massa do recipiente preenchido com água, g, determinada de acordo com a Seção A1.1; e

E = massa do recipiente com água e a amostra, g.

12.2. Para amostras grandes, cujo ensaio é realizado em frações distintas (veja a Seção 6.3), calcule a média ponderada da massa específica teórica máxima (Gmm) usando a massa ao ar da amostra seca na estufa e a massa específica teórica máxima (Gmm) de cada porção ensaiada como descrito abaixo:

12.2.1. Média Ponderada da massa específica teórica máxima [Gmm(avg)]:

$$G_{mm(avg)} = \frac{\sum(A_x \times G_{mm_x})}{\sum A_x} \quad (3)$$

onde:

$A_x$  = massa da amostra ao ar seca na estufa de cada porção, g; e

$G_{mm_x}$  = massa específica teórica máxima de cada porção.

**Nota 7** – Um exemplo para calcular a média ponderada, se a amostra é dividida em duas porções para ensaio, é como mostrado abaixo. Neste exemplo, a massa seca da primeira porção é 2681,0 g, e a massa específica teórica é 2,476. A massa seca da segunda porção é 2866,3 g, e a massa específica teórica é 2,488.

$$G_{mm(avg)} = \frac{(A_1 \times G_{mm_1}) + (A_2 \times G_{mm_2})}{(A_1 + A_2)}$$

$$= \frac{(2681,0 \times 2,476) + (2866,4 \times 2,488)}{(2681,0 + 2866,3)} = 2,482$$

12.3. Densidade teórica máxima a 25°C (77°F):

12.3.1. Calcule a densidade teórica máxima a 25°C (77°F) como a seguir:

Densidade teórica máxima a 25°C (77°F) = massa específica teórica máxima x 997,1 kg/m<sup>3</sup> em unidades SI.

ou

Densidade teórica máxima a 25°C (77°F) = massa específica teórica máxima x 62.245 lb/pés<sup>3</sup> em unidades inglesas.

onde:

A densidade da água a 25°C (77°F) = 997,1 kg/m<sup>3</sup> em unidades do SI e 62.245 lb/pés<sup>3</sup> em unidades inglesas.

---

### 13. PROCEDIMENTO SUPLEMENTAR PARA MISTURAS CONTENDO AGREGADOS POROSOS

**Nota 8** – Experimentos indicam que este procedimento suplementar tem um efeito insignificante sobre os resultados do ensaio se a mistura asfáltica contiver agregado individual com absorção de água abaixo de 1,5 por cento.

13.1. Se os poros do agregado não estão completamente selados por uma película asfáltica, eles podem se tornar saturados com água durante a aplicação do vácuo. Para determinar se essa condição ocorreu, proceda como descrito abaixo depois de completar a Seção 11.1 ou 11.2. Drene a água da amostra. Para prevenir a perda de partículas finas, decante a água por uma toalha suspensa sobre o recipiente. Quebre o agregado em vários pedaços e examine as superfícies quebradas se existe umidade.

13.2. Se o agregado absorveu água, espalhe a amostra na frente de um ventilador elétrica para remover a umidade da superfície. Determine e registre a massa em intervalos de 15 min, e quando a perda de massa for menor do que 0,05 por cento para esse intervalo, a amostra pode ser considerada seca em sua superfície. Este procedimento requer aproximadamente 2 h e deve ser acompanhado por agitação intermitente da amostra. Quebre conglomerados de mistura asfáltica à mão. Tome cuidado para prevenir perda de partículas de mistura asfáltica.

13.3. Para calcular a massa específica da amostra, substitua a massa de superfície seca final determinada na Seção 13.2 para A no denominador da Equação 2 ou 3 como apropriado.

---

## **14. RELATÓRIO**

14.1. Registre as seguintes informações:

14.1.1. Gmm e densidade da mistura asfáltica com aproximação de 0,001 para massa específica ou aproximação de 1 kg/m<sup>3</sup> (0,1 lb/pés<sup>3</sup>) para densidade como a seguir: massa específica 25/25°C (77/77°F) ou densidade a 25°C (77°F);

14.1.2. Tipo de mistura asfáltica;

14.1.3. Tamanho da amostra;

14.1.4. Número de amostras;

14.1.5. Tipo de recipiente; e

14.1.6. Tipo de procedimento.

---

## **15. PRECISÃO**

15.1. Critérios para julgamento de aprovação de massa específica de resultados de ensaio por este método de ensaio são dados na tabela seguinte:

**Tabela 2 – Estimativas de Precisão**

Ensaio e Tipo de Índice	Desvio Padrão (1s)	Intervalo Aceitável de Dois Resultados (d2s)
Resultados de ensaio obtidos sem o uso da Seção 15		
Método A <sup>a</sup>		
Precisão de operador único	0,0051	0,014
Precisão multilaboratório	0,0084	0,024
Método B <sup>b</sup>		
Precisão de operador único	0,0064	0,018
Precisão multilaboratório	0,0103	0,029

15.2. As figuras dadas na coluna 2 são os desvios padrão que foram observados apropriados para as condições da coluna 1. As figuras dadas na Coluna 3 são os limites que não devem ser excedidos pela diferença entre os resultados dos dois ensaios conduzidos apropriadamente. A precisão multilaboratorial não foi verificada para picnômetros de 4500 ml ou maiores.

15.3. Os valores da Coluna 3 são os intervalos aceitáveis para dois ensaios. Quando mais de dois resultados estão sendo avaliados, o intervalo dado na Coluna 3 deve ser aumentado. Multiplique o desvio(s) padrão da Coluna 2 pelo multiplicador dado na Tabela 1 da ASTM C670 para o número atual de ensaios.

Exemplo para três ensaios =  $0,004 \times 3.3 = 0,013$ .

Guia adicional e suporte é dado na ASTM C670.

---

## 16. PALAVRAS-CHAVE

16.1. Agitação; mistura asfáltica; densidade máxima; massa específica teórica; picnômetro; vácuo.

---

## ANEXO A

(Informação Obrigatória)

---

## 17. CALIBRAÇÃO DE BANDEJAS, FRASCOS E PICNÔMETROS

17.1. Padronização e Checagem de Bandejas para Determinação de Massa em Água:

17.1.1. Padronização – Mergulhe uma bandeja vazia em água a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 2^\circ\text{F}$ ) por  $10 \pm 1$  min. Determine e registre a massa da bandeja. Repita esse processo três vezes. Se as três massas não variam mais de 0,3 g, use a média como B na equação 2. Se a variação das massas é maior do que 0,3 g tome uma ação corretora e faça o procedimento de padronização novamente.

17.1.2. Checagem – Faça a determinação de massa da bandeja como descrito em A1.2.1. Se essa determinação não variar mais do que 0,3 g de valor de padronização, use o valor de padronização como C. Se valor for maior do que 0,3 g, faça o procedimento de padronização novamente.

## 17.2. Padronização e Checagem do Frasco e Picnômetro para Determinação de Massa ao Ar

17.2.1. Padronização – Encha o frasco ou picnômetro com água a aproximadamente  $25^\circ\text{C}$  ( $7^\circ\text{F}$ ). Use uma rolha capilar de vidro, tampa capilar ou placa de vidro para assegurar que todo o ar preso foi removido. Estabilize o frasco ou o picnômetro a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 2^\circ\text{F}$ ) por  $10 \pm 1$  min. Determine e registre a massa do frasco ou picnômetro, água e tampa. Repita esse processo três vezes. Se as três massas não variam mais de 0,3 g, use a média como D na equação 3. Se a variação das massas é maior do que 0,3 g tome uma ação corretora e faça o procedimento de padronização novamente.

## **T-248 - REDUÇÃO DE AMOSTRAS DE AGREGADOS PARA TESTES**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Estes métodos abrangem a redução de grandes quantidades de amostras de agregados para o tamanho apropriado para os testes, empregando técnicas que visam minimizar as variações nas características medidas entre as amostras reduzidas e a amostra maior original.
- 1.2. Os valores declarados em unidades SI são considerados como o padrão.
- 1.3. Esta norma não tem como propósito resolver os problemas de segurança associados à sua utilização. É responsabilidade do usuário da norma estabelecer práticas adequadas de saúde e segurança e determinar a aplicabilidade das limitações regulamentares antes do uso.

---

### **2. Documentos Mencionados.**

- 2.1. Normas:
  - ARTERIS T 2, Amostragem de agregados
  - ARTERIS T 84, Massa específica e absorção de agregação fina.
- 2.2. Normas ASTM:
  - C 125, Terminologia relativa ao concreto e agregados para concreto.

---

### **3. TERMINOLOGIA**

- 3.1. Definições — os termos usados neste padrão são definidos no ASTM C 125.

---

### **4. SIGNIFICADO E USO**

- 4.1. As especificações para agregados requerem porções de amostras dos materiais para os testes. Outros fatores igualmente importantes, amostras maiores tendem a ser mais representativas da porção maior original. Esses métodos são fornecidos para reduzir a amostra maior original obtida no campo, ou produzidas em laboratório, para um tamanho conveniente para a realização de uma série de testes, para descrever o material e medir a sua qualidade de forma que a porção de amostra menor de teste seja o mais representativo possível da amostra maior. Os métodos de teste individuais fornecem massas mínimas de material a ensaiar.
- 4.2. Sob certas circunstâncias, redução no tamanho da amostra maior para o ensaio não é recomendada. Diferenças substanciais entre as amostras selecionadas para o ensaio, por vezes, não



podem ser evitadas como, por exemplo, no caso de um agregado com poucas partículas grandes na amostra. As leis do acaso ditam que estas poucas partículas podem ser repartidas entre as amostras de tamanho reduzido. Da mesma forma, se a amostra que está sendo examinada contém certos contaminantes, como alguns fragmentos discretos em apenas pequenas porcentagens, um cuidado deve ser dado na interpretação dos resultados da amostra para ensaio tamanho reduzido. A chance de inclusão ou exclusão de apenas uma ou duas partículas da amostra selecionada pode influenciar significativamente na interpretação das características da amostra original. Nestes casos, toda a amostra original deve ser testada.

4.3. Não seguir atentamente os procedimentos destes métodos podem resultar em fornecer uma amostra não representativa para teste subsequente.

---

## 5. SELEÇÃO DO MÉTODO

5.1. Agregado Fino — Amostras de agregado mais secos do que a condição de saturado superfície seca (Nota 1) devem ser reduzidos em um repartidor mecânico de acordo com método A. Amostras com umidade livre na superfície das partículas podem ser reduzidas pelo quarteamento de acordo com a método B, ou tratado como uma pilha em miniatura, conforme descrito no método C.

5.1.1. Se método B ou método C for desejado, e a amostra não tem umidade livre na superfície das partículas, a amostra pode ser umedecida para alcançar esta condição, bem misturada, e, em seguida, a redução da amostra realizada.

**Nota 1** - O método para determinar a condição de saturado superfície seca é descrito no T 84. Como uma aproximação rápida, se o agregado fino mantiver sua forma quando moldado a mão, pode ser considerado mais úmido do que a condição de saturado superfície seca.

5.1.2. Se método A é desejado e a amostra tem umidade livre na superfície da partícula, toda a amostra pode ser seca até, pelo menos, a condição de superfície seca, usando temperaturas que não excedam aquelas especificadas por qualquer um dos testes previstos e, em seguida, a redução da amostra realizada. Como alternativa, se a amostra úmida for muito grande, uma divisão preliminar pode ser feita usando um repartidor mecânico com aberturas de 38 mm (1 1/2 pol.) ou mais, para reduzir a amostra a tamanho não inferior a 5000 g. A porção assim obtida é então seca e a redução da amostra para o tamanho de teste é concluída usando o método A.

5.2. Agregados graúdos – Reduza a amostra usando um repartidor mecânico de acordo com o método A (método recomendado) ou através do quarteamento de acordo com o método B. O método C, amostragem de pilha de estoque em miniatura, não é permitido para agregados graúdos e misturas de agregados finos e graúdos.

5.3. Agregados graúdos e misturas de agregados graúdos e agregados finos - Reduza a amostra seca usando um repartidor mecânico de acordo com o método A (método preferido) ou pelo quarteamento de acordo com o método B. Amostras que tem umidade livre na superfície das partículas devem ser reduzidas através do quarteamento de acordo com o método B. Quando o método A é desejado e a amostra é úmida ou apresenta água, secar a amostra até que ela aparente estar seca ou até os aglomerados serem facilmente quebrados pela mão (Nota 2). Seque toda a amostra até esta condição, usando temperaturas que não excedam as especificações para cada teste que será executado, e então reduza a amostra. A pilha de estoque em miniatura Método C não é permitido para agregados graúdos ou misturas de agregados graúdos e finos.

**Nota 2** - A secagem da amostra pode ser conferida ao se apertar firmemente uma pequena porção da amostra na palma da mão. Se ela se desintegrar facilmente, o teor de umidade desejado foi alcançado.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. As amostras de agregado são obtidas no campo de acordo com T-2, ou conforme exigido por métodos individuais de teste. Quando são previstos somente testes de análise granulométrica, o tamanho da amostra de campo listado em T-2 é geralmente suficiente. Quando testes adicionais serão efetuados, o usuário deve garantir que o tamanho inicial da amostra de campo seja suficiente para realizar todos os testes previstos. Serão utilizados procedimentos semelhantes para amostras de agregados produzidas em laboratório.

---

## MÉTODO A — REDUÇÃO MECÂNICA

### 7. APARELHOS

7.1. Repartidor de Amostras — Os repartidores de amostra devem ter um número par de calhas de largura igual, mas não inferior a 8 para agregado graúdo ou 12 para agregado fino, que despejam alternativamente para cada lado do repartidor. Para agregado graúdo e mistura de agregados a largura mínima das calhas individuais serão aproximadamente 50% maior do que as partículas maiores na amostra a ser repartida (Nota 2). Para agregado fino seco em que toda a amostra passa

na peneira de 9,5 mm (3/8 pol.), a largura mínima das calhas individuais deve ser pelo menos 50% maior que as partículas maiores na amostra e a largura máxima será a 19 mm (3/4 pol.). O repartidor deve ser equipado com dois recipientes para manter as duas metades da amostra para divisão seguinte. Devem igualmente ser equipado com uma concha quadrada, que tem uma largura igual ou ligeiramente menor que a largura total do conjunto de calhas, através da qual a amostra pode ser alimentada a um ritmo controlado para as rampas. O repartidor e acessórios devem ser concebidos de modo que a amostra flua suavemente sem restrição ou perda de material (Figura 1).



**Figura 1** – Repartidor de Amostras (cascata) e acessórios

**Nota 2** - Repartidores mecânicos estão normalmente disponíveis em tamanhos adequados para o agregado graúdo, tendo a maior das partículas não superior a 37,5 mm (1 1/2 in.).

---

## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Colocar a amostra original no funil ou bandeja e uniformemente distribuí-lo de borda, a borda, para que quando ele for introduzido nas calhas, fluam através de cada calha. A taxa em que a amostra é introduzida será, de forma que permita o livre fluxo através das rampas para os recipientes abaixo.

Reintroduza a parte da amostra de um dos recipientes para o repartidor quantas vezes forem necessárias para a redução da amostra para o tamanho especificado para o teste a que se destina. A parte do material coletado no outro recipiente pode ser reservada para a redução de tamanho para outros testes.

---

## METODO B — QUARTAMENTO

### 9. APARELHOS

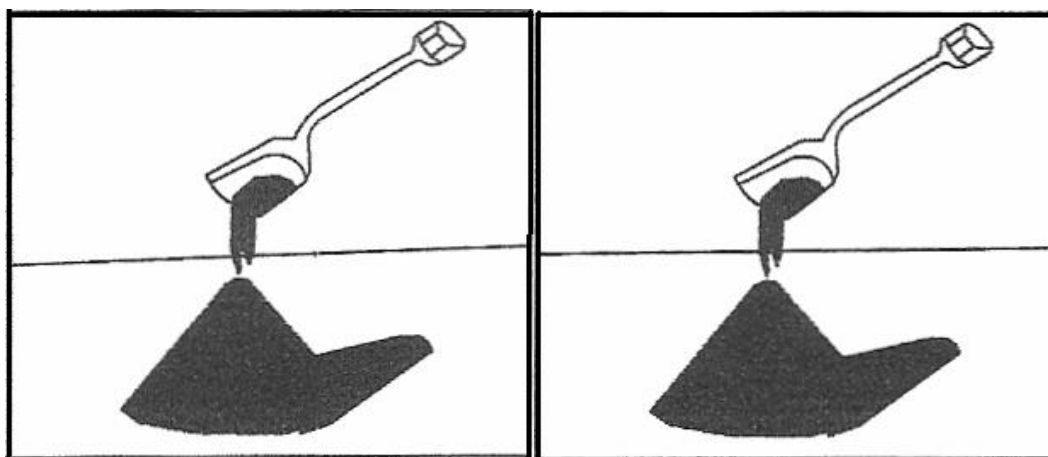
9.1. A Aparelhagem deve consistir em uma concha de aresta reta, pá ou espátula; uma vassoura ou pincel; e uma lona de aproximadamente 2 por 2,5 m (6 por 8 pés). 10.

---

### 10. PROCEDIMENTO

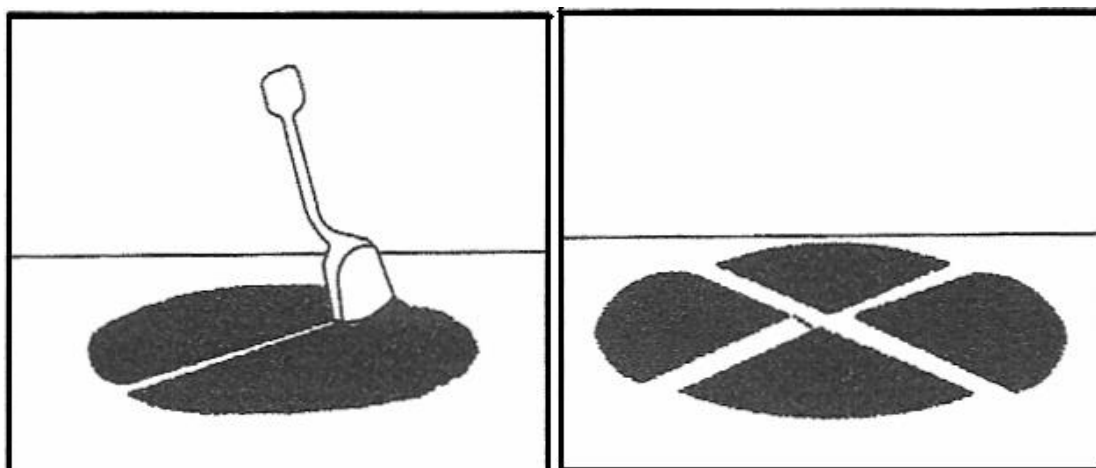
10.1. Use o procedimento descrito na secção 10.1.1 ou 10.1.2 ou uma combinação de ambos.

10.1.1. Colocar a amostra original em uma superfície rígida, limpa, onde não ocorra perda de material nem a adição acidental de substâncias estranhas. Misture e homogeneíze toda a amostra pelo menos três vezes. Com o último giro, transforme toda a amostra numa pilha cônica depositando cada “pazada” em cima da precedente. Cuidadosamente achatar a pilha cônica para uma espessura e diâmetro uniformes, pressionando para baixo o ápice com a pá para que cada quarta parte da pilha resultante contenha o material originalmente na mesma. O diâmetro deve ser cerca de quatro a oito vezes a espessura. Divida a massa achatada em quatro partes iguais com uma pá ou uma espátula e remova dois lados diagonalmente opostos, incluindo todos os materiais finos que são removidos com uma escova limpa. Sucessivamente misturar os quartos restantes do material até que a amostra seja reduzida ao tamanho desejado (Figura 2).



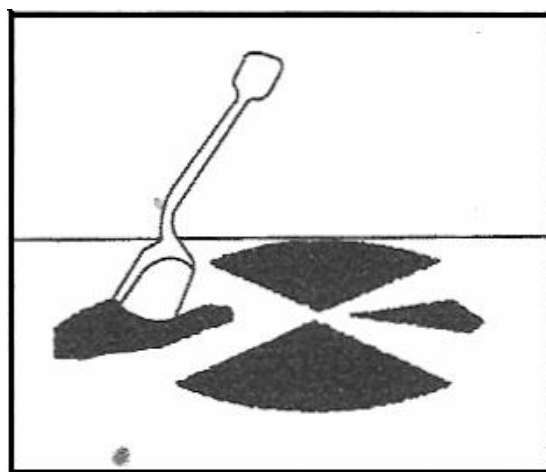
Cone da amostra na superfície rígida e limpa.

Misturar formando um novo cone.



Quartear após achatar o cone.

Amostra dividida em quatro partes.

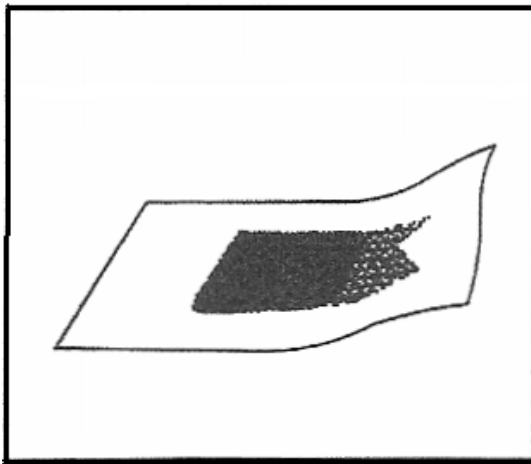


Remova dois lados diagonalmente opostos e  
rejeite as outras duas partes.

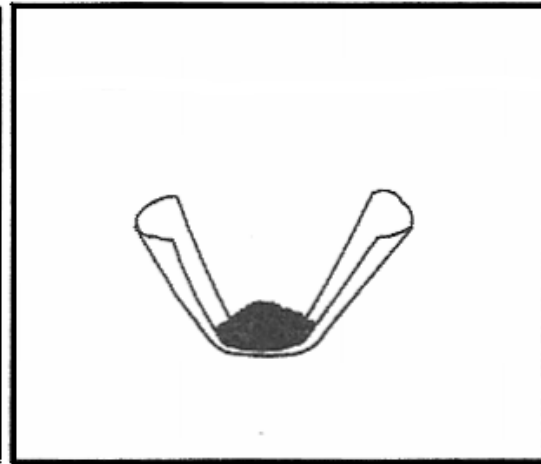
**Figura 2** – Quartejamento em uma superfície limpa e rígida.

10.1.2. Como uma alternativa para o procedimento da seção 10.1.1, quando a superfície do piso é irregular, a amostra de campo pode ser colocada em uma lona resistente ao rasgamento e misturada com uma pá ou colher de pedreiro, conforme descrito na seção 10.1.1, transformando a amostra em uma pilha cônica. Alternativamente, esse procedimento pode ser realizado levantando cada canto da lona e puxando a amostra em direção ao canto diagonalmente oposto, fazendo com que o material seja revirado. Após o material ser revirado por um número suficiente de vezes (um mínimo de quatro vezes), de modo que seja totalmente misturado, puxar cada canto da lona em direção ao centro da pilha de forma que o material seja deixado em uma pilha cônica. Nivelar a

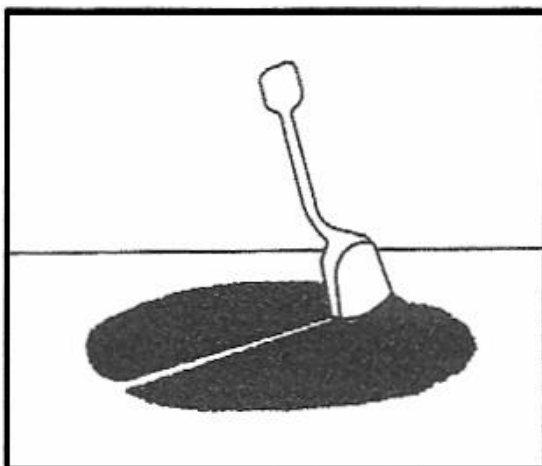
pilha como descrito na Secção 10.1.1. Divida a amostra conforme descrito na secção 10.1.1 ou, se a superfície sob a lona é desigual, insira um bastão sob a lona e sob o centro da pilha, em seguida, elevando ambos os lados, dividindo a amostra em duas partes iguais. Remova o bastão deixando uma dobra na lona entre as partes divididas. Insira o bastão sob o centro da pilha perpendicularmente à primeira divisão e novamente levante ambas as extremidades do bastão, dividindo a amostra em quatro partes iguais. Remova duas partes diagonalmente opostas, tendo o cuidado de limpar com o pincel, os finos aderidos à lona. Sucessivamente, misturar a parte restante do material até que a amostra seja reduzida para o tamanho desejado (Figura 3).



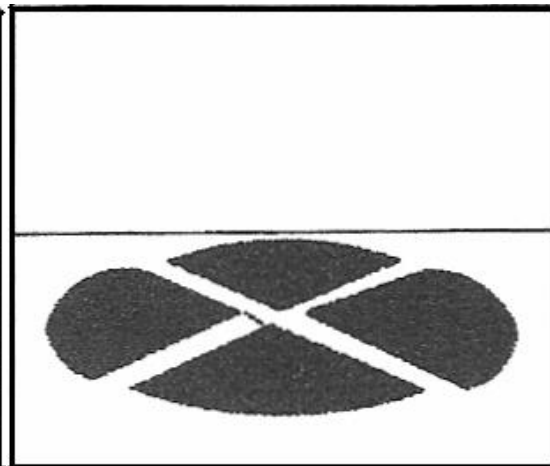
Misturar rolando na lona.



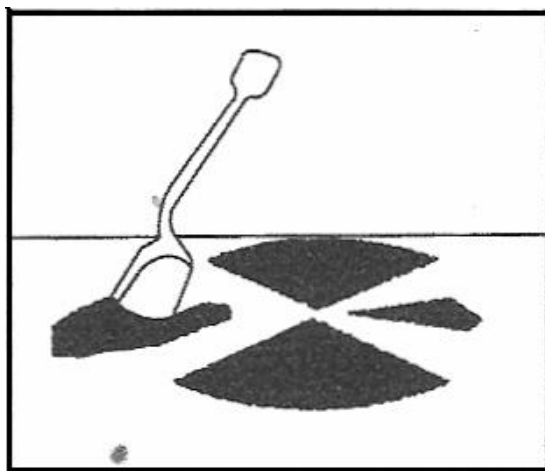
Formar um cone após a mistura.



Quartear após achatar o cone.



Amostra dividida em quatro partes.



Remova dois lados diagonalmente opostos e rejeite as outras duas partes.

---

## **MÉTODO C — AMOSTRAGEM DE PILHA DE ESTOQUE EM MINIATURA (APENAS AGREGADO FINO ÚMIDO)**

### **11. APARELHOS**

11.1. A aparelhagem deve consistir em uma colher de aresta reta, pá ou espátula para misturar o agregado e um dispositivo para amostra pequena, colher pequena, ou colher de amostragem.

---

### **12. PROCEDIMENTO**

12.1. Colocar a amostra original de agregado fino úmido em uma superfície rígida, limpa, onde não ocorra perda de material nem a adição acidental de substâncias estranhas. Misture e homogeneíze toda a amostra pelo menos três vezes. Com o último giro, transforme toda a amostra numa pilha cônica depositando cada “pazada” em cima da precedente. Se desejado, a pilha cônica pode ser achatada para uma espessura e diâmetro uniformes, pressionando para baixo o ápice com a pá para que cada quarta parte da pilha resultante contenha o material originalmente na mesma. Obtenha uma amostra para cada teste, selecionando pelo menos cinco incrementos de material em locais aleatórios da pilha de estoque em miniatura, usando qualquer um dos dispositivos de amostragem descritos na seção 11.1.

---

<sup>1</sup>Tecnicamente equivalente, mas não idêntico ao ASTM C 702/C 702M-11.

## T-255 - DESTILAÇÃO A VAPOR DE FILMES ASFÁLTICOS

Este método é uma adaptação, e modificação do método ASTM-D-255-92.

---

### 1. ESCOPO

1.1. Este é um método para a separação por destilação por arraste e a recuperação de voláteis e base de misturas asfálticas.

1.2. As advertências a seguir para os riscos de segurança são válidas somente para o método de ensaio descrito nesta especificação. Este método de ensaio não pretende cobrir todos os problemas de segurança, se houver algum, associado com seu uso. É responsabilidade do usuário deste método padrão estabelecer as práticas apropriadas de segurança e saúde e determinar as limitações regulamentares antes de usá-lo.

---

### 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. Métodos ASTM:

- D 255 Método de ensaio – Destilação a vapor de filmes protetores asfálticos
  - D 140 Procedimento para amostragem de materiais asfálticos
  - E1 Especificação para Termômetros da ASTM
- 

### 3. EQUIPAMENTOS

3.1. Gerador de vapor (figuras 2 – 3 e 4), feito de metal ou vidro, com capacidade de aproximadamente 2 galões (7600 cm<sup>3</sup>), adequado para uso contínuo na produção de vapor. Se de vidro, deve ter duas saídas tendo conexões adequadas para mangueiras de borracha. No caso de um gerador de metal, uma abertura grande para enchimento e uma torneira para água devem ser uma parte adicional do equipamento. O gerador deve ser fornecido com um ladrão ou válvulas adequadas de maneira que o vapor seja expelido para a atmosfera até que o ensaio seja concluído.

**Nota 1** – Os seguintes fatores de conversão volumétricos são dados para frascos de vidro graduados em litros:

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 \text{ ou } 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$$



3.2. Banho, feito de metal e tendo capacidade suficiente para permitir a imersão do frasco de destilação a uma profundidade não menor que 4 "(101,6 mm).

3.3. Fonte de calor para o banho, tal como um queimador a gás, prato quente elétrico ou equivalente. Uma manta elétrica tipo aquecedor, equipada com um transformador de resistência variável e capacidade de aquecimento, é um substituto adequado para o banho e fonte de calor.

3.4. Frasco de destilação, 1000 cm<sup>3</sup> (figura 5), de vidro resistente ao calor, com um pescoço redondo curto. Deve ser provido de rolha de borracha com três furos, um tubo de liberação de vapor que deverá atingir 3/8" ± 1/8" (9,5 ± 4,7 mm) do fundo do frasco e projetar da tampa até uma distância conveniente para conexão com o gerador (figura 7), um tubo de saída de vapor (figura 6) estendendo abaixo da rolha de borracha até um ponto suficientemente acima para permitir conexão conveniente com o condensador e um termômetro (figura 8). A tubulação de vapor não deve ser menor que 2 mm nem maior que 4 mm de diâmetro interno, e o tubo de saída de vapor não deve ser menor que 5mm de diâmetro interno.

3.5. Termômetro, ASTM low distillation, tendo um intervalo de - 2°C a + 300 °C, como especificado, e de acordo com os requisitos para termômetro 7°C ou 7°F, respectivamente, como prescrito na especificação E1.

3.6. Condensador (figura 9) – Um conjunto de vidro com tubo interno de condensação. As seguintes dimensões são recomendadas:

Comprimento da jaqueta, excluindo os pescoços - 200 ± 5 mm

Comprimento do tubo de condensação - 400 ± 25 mm

diâmetro externo do próprio tubo de condensação - 12,5 ± 1 mm

Comprimento do fim expandido do tubo - 75 ± 1 mm

3.7. Adaptador (figura 10) – Um adaptador de vidro de parede grossa (1 mm), com o topo reforçado, tendo um ângulo aproximado de 105°. O diâmetro interno da ponta maior deve ter aproximadamente 18 mm e a menor acima de 5 mm. A superfície inferior do adaptador deve ser uma curva descendente suave da ponta maior para a menor. A linha interna da ponta de saída deve ser cortada ou esmerilhada (Não polida) a um ângulo de 45 ± 5° em relação à linha interna.

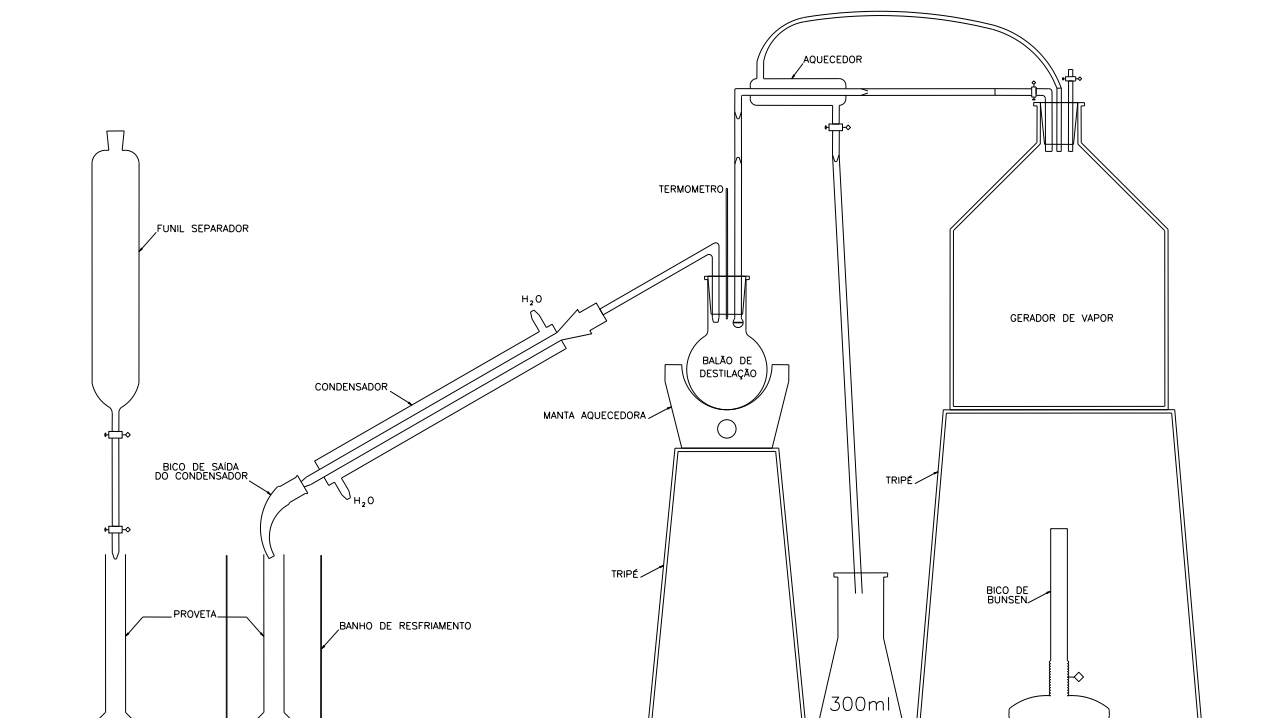
3.8. Receptor – Cilindros graduados (provetas) de diâmetro uniforme, com base moldada ou prensada e um topo esbeçado. A altura total deve ser 10 ± 0,250" (254 ± 6,35 mm). O cilindro deve

ser graduado em unidades de milímetros para conter 100 cm<sup>3</sup>, e a porção graduada deve ter um comprimento de 7,5 ± 0,500" (190,5 ± 12,70 mm).

3.9. Funil separador (figura 12) – Um funil separador tendo uma capacidade acima de 800 cm<sup>3</sup>.

3.9.1. A figura 1 mostra o conjunto montado

FIGURA 1 – CROQUI ESQUEMATICO DO SISTEMA  
(SEM ESCALA)





**Foto 1** - Conjunto montado

---

#### **4. AMOSTRAGEM**

4.1. Colha as amostras para exame no laboratório do recipiente imediatamente após agitá-la até uma condição uniforme. Determine o número de recipientes amostrados para representar uma partida de acordo com o procedimento D-140. Remexa esta amostra combinada imediatamente antes de tomar as amostras para os ensaios Individuais.

---

#### **5. PROCEDIMENTOS**

- 5.1. Monte o equipamento como mostrado na figura 1. Com a saída para a atmosfera aberta e a saída de liberação de vapor fechada, encha o gerador de vapor até a metade com água e aqueça.
- 5.2. Pese o conjunto (frasco de destilação + rolha de borracha com 2 tubos de conexão e termômetro), e anote (P1).
- 5.3. Tare o frasco de destilação na balança e pese  $300 \pm 10$ g de amostra, e anote (P2).
- 5.4. Conecte o gerador de vapor ao tubo de saída de vapor, cuja ponta deve estar dentro de  $3/8 \pm 1/8$ " ( $9,5 \pm 3,2$  mm) do fundo do frasco de destilação. Conecte a saída do frasco de destilação ao

condensador e abra a água de refrigeração. Ajuste o adaptador na ponta do tubo condensador para conduzir o destilado dentro do receptor e tape bem o topo do mesmo durante a destilação com uma peça de papel absorvente (mata-borrão) ou seu equivalente, cortado para encaixar no adaptador firmemente. Estenda o adaptador dentro do receptor no mínimo, 1" (25,4 mm) mas não abaixo da marca de 100cm<sup>3</sup>. Coloque o receptor dentro de um banho Maria, mantido entre 13 e 18°C, transparente, até a marca de 100-cm<sup>3</sup>. Coloque a ponta do bulbo do termômetro dentro do frasco de destilação até 3/8 ± 1/8" do fundo. Se o banho for usado, encha o Banho com um óleo de alto ponto de fulgor e aqueça. Quando a temperatura da amostra no frasco de destilação atingir 130 °C, feche simultaneamente a saída do gerador de vapor para a atmosfera e abra a que libera o vapor a passar através da amostra. Ajuste o fluxo de vapor de maneira que o total condensado seja coletado a uma taxa de 6 a 10 cm<sup>3</sup> / minuto. Aumente a temperatura da amostra a uma taxa de 2,2 a 3,3 °C/min, até atingir a temperatura máxima de 215°C, mantendo a taxa de condensação total controlando o fluxo de vapor. Colete sucessivos incrementos de 100 cm<sup>3</sup> de vapor condensado, até um total de 800cm<sup>3</sup> (Anotar a temperatura em que surgiram os primeiros voláteis).

5.5. Combine os totais condensados no funil separador e separe a água dos voláteis pela retirada da fase aquosa inferior. Em alguns casos, a água e os voláteis podem não separar imediatamente; a separação pode ser facilitada pela adição de cloreto de sódio, que resultará em uma diferença de massa suficiente para produzir uma clara separação de duas camadas. Retenha os voláteis para qualquer outro ensaio que possa ser necessário.

5.6. Coloque o conjunto (frasco de destilação + rolha de borracha com 2 tubos de conexão e termômetro + amostra) na estufa a 105/110°C até constância de peso. Pese, e anote (P3).

---

## 6. CALCULOS

6.1. Calcule a porcentagem de voláteis em peso como segue:

$$\%P = \frac{P1 + P2 - P3}{P2} \times 100$$

Onde:

%P = Porcentagem de voláteis em peso

## 7. RELATÓRIO

- 7.1. Relate os resultados com porcentagem em massa dos voláteis.
- 7.2. Relate a temperatura em que surgiram os primeiros voláteis.

FIGURA 2 – DISPOSITIVOS PARA CONDUÇÃO DO VAPOR

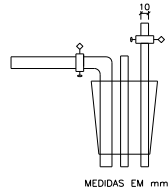


FIGURA 3 – GERADOR DE VAPOR

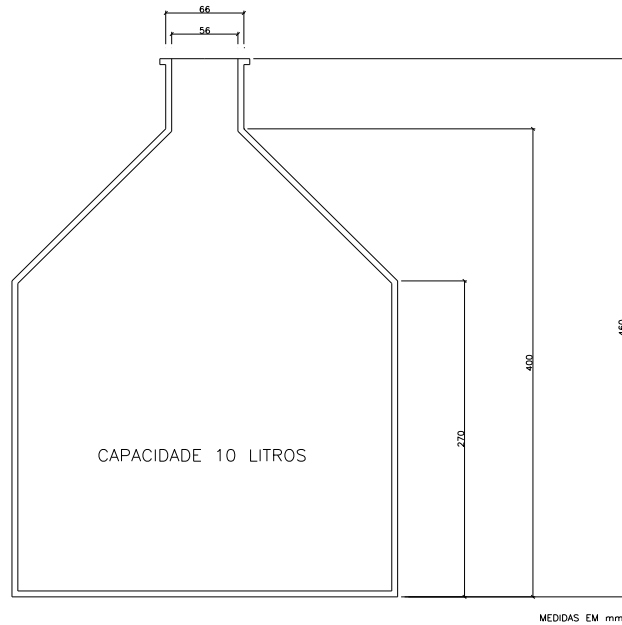


FIGURA 4 – AQUECEDOR PARA CONDUÇÃO DO VAPOR

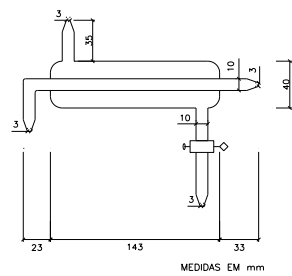


FIGURA 5 – BALÃO DE DESTILAÇÃO

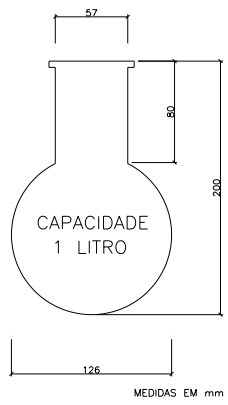


FIGURA 6 – TUBO DE SAÍDA DO VAPOR

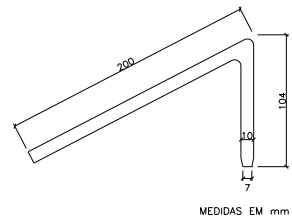


FIGURA 7 – TUBO PERFURADO PARA INTRODUÇÃO DO VAPOR

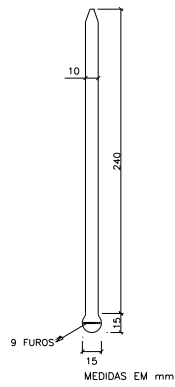


FIGURA 8 – CROQUI DO CONJUNTO DE ENTRADA E SAÍDA DO VAPOR

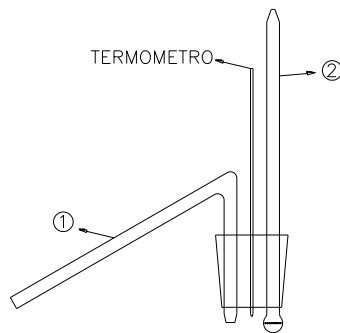


FIGURA 9 – CONDENSADOR APÓS O BALÃO DE DESTILAÇÃO

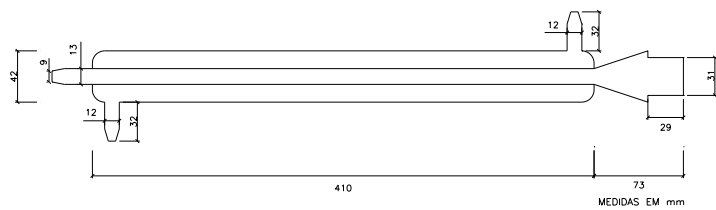


FIGURA 10 – ADAPTADOR PARA CONDUÇÃO DA ÁGUA CONDENSADA

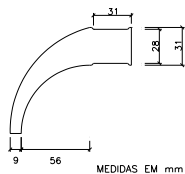


FIGURA 11 – BANHO DE RESFRIAMENTO

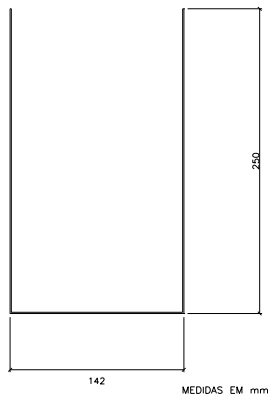
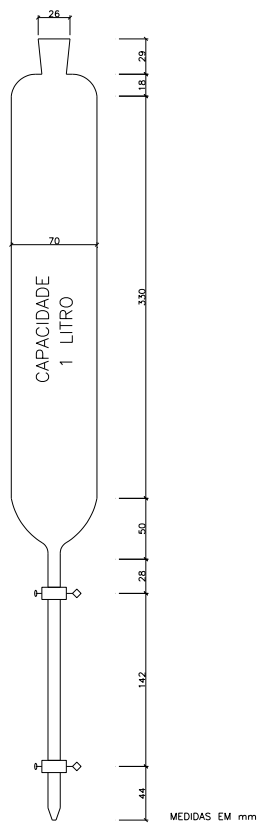


FIGURA 12 – FUNIL SEPARADOR



## **T-269 - PORCENTAGEM DE VAZIOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS E ABERTAS COMPACTADAS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio estabelece a determinação da porcentagem de vazios de ar (Pa) em misturas asfálticas abertas ou densas compactadas.

1.2. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS T 166 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca
- ARTERIS T 275 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Compactadas Usando Corpos de Prova Parafinados
- ARTERIS T 331 - Massa Específica Aparente e Densidade de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Método de Selagem a Automática Vácuo
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- ASTM D3549/D3549M-11 – Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens
- ASTM D4460 – Standard Practice for Calculating Precision Limits Where Values Are Calculated from Other Test Methods
- ASTM E1547 – Standard Terminology Relating to Industrial and Specialty Chemicals

---

### **3. TERMINOLOGIA**

3.1. Os termos massa específica e densidade usados neste método de ensaio estão de acordo com a ASTM E1547.



### 3.2. Definições:

3.2.1. Vazios de ar (Pa) – Vazios preenchidos com ar entre as partículas de agregados revestidos por ligante asfáltico em misturas asfálticas.

3.2.2. Mistura asfáltica densa – misturas asfálticas em que os vazios de ar (Pa) são menores do que 10 por cento quando compactadas.

3.2.3. Misturas asfálticas abertas – Misturas asfálticas em que os vazios de ar (Pa) são maiores ou iguais a 10 por cento quando compactadas.

3.2.3.1. Para casos incertos, a mistura asfáltica deve ser designada como aberta se o percentual de vazios calculado, baseados na Seção 6.1 ou 6.2, é de 10 por cento ou maior.

---

## 4. SIGNIFICADO E USO

4.1. A porcentagem de vazios de ar (Pa) em uma mistura asfáltica é usada como um dos critérios em projetos de dosagem bem como para avaliação da compactação alcançada em projetos de pavimentação.

---

## 5. AMOSTRAGEM

5.1. Amostras para ensaio devem consistir em amostras de misturas moldadas em laboratório ou corpos de prova de misturas compactadas de pista.

---

## 6. PROCEDIMENTO

6.1. Para misturas asfálticas densas, determine a massa específica aparente (Gmb) da mistura compactada pela T 166, T 275 ou T 331. Determine a massa específica máxima (Gmm) de acordo com a T 209 em uma mistura asfáltica representativa do material que está sendo testado para evitar influência de diferenças de granulometria, teor de asfalto etc.

6.2. Para misturas asfálticas abertas, use algum dos seguintes métodos:

6.2.1. Método de Selagem Automática a Vácuo – Determine a massa específica aparente (Gmb) da mistura compactada pela T 331. Determine a massa específica máxima (Gmm) de acordo com a T 209 em uma mistura asfáltica representativa do material que está sendo testado para evitar influência de diferenças de granulometria, teor de asfalto etc.

6.2.2. Método de Volume – Determine a densidade de um corpo de prova compactado, perfeitamente acabado, através de sua massa seca (em gramas) e seu volume (em cm<sup>3</sup>). Obtenha a altura do corpo de prova pelo método ASTM D 3549/ D 3549M. Meça o diâmetro do corpo de prova em 4 pontos e tire a média das medições. Calcule o volume

do corpo de prova baseado na média de altura e diâmetro medido. Converta a densidade para massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) dividindo por 0,99707 g/cm<sup>3</sup> ou 997 kg/m<sup>3</sup>, a densidade da água a 25°C (77°F). Determine a massa específica máxima ( $G_{mm}$ ) de acordo com a T 209 em uma mistura asfáltica representativa do material que está sendo testado para evitar influência de diferenças de granulometria, teor de asfalto etc.

6.2.3. Para propósitos de referência, determine a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) e a massa específica máxima ( $G_{mm}$ ) em porções da mesma amostra de mistura asfáltica compactada.

---

## 7. CÁLCULOS

7.1. Calcule a porcentagem de vazios de ar ( $P_a$ ) em uma mistura asfáltica compactada como descrito abaixo:

$$P_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (1)$$

ou

$$P_a = 100 \left( \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (2)$$

onde:

$G_{mb}$  = massa específica aparente; e

$G_{mm}$  = massa específica máxima.

7.2. Registre a porcentagem de vazios de ar ( $P_a$ ) com uma casa decimal.

---

## 8. PRECISÃO E TENDÊNCIA

8.1. A precisão de deste método de ensaio depende da precisão dos métodos de ensaio para massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) e massa específica máxima ( $G_{mm}$ ). Ela é computada pelo procedimento descrito na ASTM D4460. Uma vez que a computação da porcentagem de vazios de ar ( $G_{mb}$ ) na Seção 7.1 envolve o quociente da massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) dividido pela massa específica máxima ( $G_{mm}$ ), a fórmula do quociente é usada da seguinte maneira:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}} \quad (3)$$

onde:

$\sigma_{x/y}$  = o desvio padrão para determinação de limites de precisão de resultados de ensaio para o padrão baseado no quociente de dois resultados de ensaio de outros dois padrões;

$\bar{X}$  = o valor médio de resultados de ensaio do padrão x [massa específica aparente ( $G_{mb}$ )];

$\bar{Y}$  = o valor médio de resultados de ensaio do padrão y [massa específica teórica máxima ( $G_{mm}$ )];

$\sigma_x$  = o desvio-padrão do argumento de precisão do padrão x; e

$\sigma_y$  = o desvio-padrão do argumento de precisão do padrão y.

**Nota 1** – O padrão x (T 166, T 375, T 331) é usado para computar a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ), e o padrão y (T 209) é usado para computar a massa específica teórica máxima ( $G_{mm}$ ).

8.2. O critério para julgamento da aceitabilidade dos resultados da porcentagem de vazios de ar (Pa) que são obtidos pelo uso do padrão x e y para agregados não porosos são:

Padrão x e Padrão y	Ensaio e Tipo de Índice	Desvio padrão (1s), %	Intervalo Aceitável de Dois Resultados (d2s), %
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão de operador único	0,21	0,59
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão Multilaboratório	0,40	1,13
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão de operador único	0,26	0,74
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão Multilaboratório	0,46	1,30
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão de operador único	0,34	0,96
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão Multilaboratório	--	--
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão de operador único	0,37	1,05
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão Multilaboratório	--	--
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão de operador único	0,53	1,50
T 166 e T 209 (Método A)	Precisão Multilaboratório	0,62	1,75
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão de operador único	0,55	1,56
T 166 e T 209 (Método B)	Precisão Multilaboratório	0,66	1,87

---

## 9. PALAVRAS-CHAVE

9.1. Vazios de ar; massa específica aparente; massa específica máxima; mistura asfáltica aberta.

---

## APÊNDICE

(Informação Não Obrigatória)

---

## 10. EXEMPLO DE CÁLCULO DE PRECISÃO

10.1. Assuma os seguintes dados de precisão:

Massa específica aparente (Gmb), x

Quando a média de x = 2,423 e o desvio padrão de x = 0,007.

Massa específica máxima (Gmm), y

Quando a média de y = 2,523 e o desvio padrão de y = 0,004.

Usando a Equação 2:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{(2,523)^2(0,007)^2 + (2,423)^2(0,004)^2}{(2,523)^4}} = 0,00316 \quad (X1.1)$$

Este valor é em termos de vazios de ar ( $P_a$ ); portanto, deve ser multiplicado por 100 para converter em porcentagem:

$$\sigma_{x/y} = 0,0032(100) = 32 \% \quad (X1.2)$$

## **T-275 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS USANDO CORPOS DE PROVA PARAFINADOS**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método de ensaio cobre a determinação da massa específica aparente (Gmb) de amostras de misturas asfálticas compactadas.
- 1.2. Este método deve ser usado com amostras que contém vazios abertos ou interconectados ou absorvem mais de 2,0 por cento de água por volume, como determinado pela T-166.
- 1.3. A massa específica aparente da mistura asfáltica compactada pode ser usada para calcular a massa unitária da mistura.
- 1.4. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.
- 1.5. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

- 2.1. Normas:
  - ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
  - ARTERIS T 166 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca
  - AASHTO R 18 – Standard Specification for Woven Wire Teste Sieve Cloth and Teste Sieves
  - AASHTO R 79 – Vacuum Drying Compacted Asphalt Specimens
  - ASTM E1 – Standard Specification for ASMT Liquid-in-Glass Thermometers

---

### **3. TERMINOLOGIA**

- 3.1. Definições:
  - 3.1.1. Massa específica aparente (de sólidos) (Gmb) – a proporção entre a massa ao ar de um volume unitário de um material permeável (incluindo vazios normais permeáveis ou impermeáveis) em uma dada temperatura para uma massa ao ar de densidade igual de um volume igual de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

## Massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) a $x/y^{\circ}C$

onde:

$x$  = temperatura do material, e

$y$  = temperatura da água.

3.1.2. Constância de Massa – deve ser definida como a massa a qual secagens futuras não alterem a massa por mais de 0,05 por cento quando pesada durante intervalos de 2 h.

---

### 4. AMOSTRAS DE ENSAIO

4.1. Amostras de ensaio devem ser compactadas em laboratório ou extraídas de pavimentos asfálticos.

4.2. Tamanho das Amostras – É recomendado que: (1) o diâmetro de amostras cilíndricas compactadas ou extraídas, ou o comprimento dos lados de amostras cerradas, seja pelo menos igual a quatro vezes o tamanho máximo do agregado; e (2) a espessura das amostras seja pelo menos uma vez e meia o tamanho máximo do agregado.

4.3. Amostras devem ser tomadas de pavimentos com broca de diamante ou serra de carborundo, ou por outros meios adequados.

4.4. Cuidado deve ser tomado para evitar distorção, empenamento da amostra, ou rachaduras durante e depois da remoção do pavimento ou molde. Amostras devem ser armazenadas em local frio e seguro.

4.5. Amostras devem ser livres de materiais estranhos como camada selante, pintura de ligação ou imprimação, material de fundação, solo, papel e alumínio.

4.6. Se desejado, amostras podem ser separadas de outras camadas de pavimento por serragem ou outros meios adequados. Cuidado deve ser exercido para assegurar que a serragem não cause danos às amostras.

---

### MÉTODO A

#### 5. EQUIPAMENTOS

5.1. Dispositivo de pesagem – O dispositivo de pesagem deve ter capacidade o suficiente, ter escala de 0,1 por cento da massa da amostra ou melhor, e conforme os requisitos da ET 231. O

dispositivo de pesagem deve ser equipado com um sistema adequado para suspender e segurar o corpo de prova para permitir que seja mantido suspenso no centro do prato da balança.

5.2. Equipamento de Suspensão – O arame suspendendo o recipiente deve ser do menor tamanho e espessura possível para minimizar quaisquer possíveis efeitos de variação no comprimento de imersão. O equipamento de suspensão deve ser construído para permitir o recipiente a ser imerso em uma profundidade suficiente para cobri-lo e cobrir a amostra de ensaio durante a pesagem. Cuidado deve ser exercido para assegurar que nenhuma bolha de ar presa exista embaixo da amostra.

5.3. Banho-Maria – Para a imersão da amostra em água enquanto suspensa embaixo do dispositivo de pesagem, equipado com uma saída para excesso para manter um constante nível de água, e termicamente controlado para manter o banho a  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 0,9^{\circ}\text{F}$ ).

---

## 6. PROCEDIMENTO

6.1. Massa de Amostras não revestidas - Seque a amostra para a constância de massa a uma temperatura de  $52 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $125 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ). Amostras saturadas com água devem inicialmente ser secas por uma noite toda e então pesada em intervalos de 2 h de secagem. Como uma alternativa para a secagem em estufa até a constância de massa, secar a amostra de acordo com a R 79 é aceito. Amostras recentemente compactadas em laboratório que não foram expostas à umidade não requerem secagem. Esfrie a amostra a temperatura ambiente a  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e registre a massa seca como A.

6.2. Massa de corpos de prova revestidos com parafina – Revista a amostra em toda superfície com parafina derretida suficientemente espessa para selar todos os vazios da superfície. Permita o revestimento resfriar em ar a  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) por pelo menos 30 min, e então pese a amostra. Registre esta massa como D.

**Nota 1** – Se for desejado utilizar a amostra para ensaios futuros que necessitem da remoção do revestimento de parafina, a amostra pode ser borrifada com talco antes do revestimento.

**Nota 2** – A aplicação de parafina pode ser feita com resfriamento do corpo de prova num refrigerador a uma temperatura de  $4,5^{\circ}\text{C}$  ( $40^{\circ}\text{F}$ ) por 30 minutos e então afundando o mesmo em parafina quente ( $5,5^{\circ}\text{C}$  ou  $10^{\circ}\text{F}$  acima do ponto de derretimento). É necessário pincelar a superfície parafinada com parafina quente de maneira a preencher qualquer furo.

6.3. Massa da Amostra Revestida em Água – Mergulhe a amostra revestida em banho-maria a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ) por  $4 \pm 1$  min e registre a massa da amostra imersa como E.

6.4. Massa específica da Parafina – Determine a massa específica da parafina a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ), se desconhecida, e registre este valor como F.

---

## 7. CÁLCULO

7.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra como descrito a seguir. Arredonde com três casas decimais e registre o valor.

$$G_{mb} = \frac{A}{D - E - \left(\frac{D - A}{F}\right)} \quad (1)$$

onde:

A = massa da amostra seca ao ar, g;

D = massa da amostra seca mais o revestimento de parafina ao ar, g;

E = massa da amostra seca mais o revestimento de parafina em água, g;

F = massa específica da parafina a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ).

---

## MÉTODO B

### 8. EQUIPAMENTOS

8.1. Dispositivo de pesagem – O dispositivo de pesagem deve ter capacidade o suficiente, ter escala de 0,1 por cento da massa da amostra ou melhor, e conforme os requisitos da ET 231.

8.2. Banho-Maria – termicamente controlado para manter o banho a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 0,9^\circ\text{F}$ ).

8.3. Termômetro – ASTM 17C (17F) como fornecido na ASTM E1, tendo intervalo de  $19$  a  $27^\circ\text{C}$  ( $66$  a  $80^\circ\text{F}$ ), graduado em subdivisões de  $0,1^\circ\text{C}$  ( $0,2^\circ\text{F}$ ).

8.4. Volúmetro - Calibrado a 1200 ml ou uma capacidade apropriada dependendo do tamanho da amostra de ensaio. O volúmetro deve ter uma tampa cônica e com um furo capilar.

---

### 9. PROCEDIMENTO

9.1. Seque a amostra para a constância de massa a uma temperatura em  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $125 \pm 5^\circ\text{F}$ ). Amostras saturadas com água devem inicialmente ser secas por uma noite toda e então pesada em intervalos de 2 h de secagem. Como uma alternativa para a secagem em estufa até a constância de



massa, secar a amostra de acordo com a R 79 é aceito. Amostras recentemente compactadas em laboratório que não foram expostas à umidade não requerem secagem. Esfrie a amostra a temperatura ambiente a  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ), e registre a massa seca como A.

9.2. Revista a amostra em toda superfície com parafina derretida suficientemente espessa para selar todos os vazios da superfície. Permita o revestimento resfriar ao ar a  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 9^\circ\text{F}$ ) por pelo menos 30 min, e então pese a amostra (Notas 1 e 2). Registre esta massa como C.

9.3. Encha o volúmetro calibrado com água destilada a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ), e pese o volúmetro. Registre a massa como D.

9.4. Coloque a amostra revestida no volúmetro e tampe o volúmetro, assegurando que escape um pouco de água pelo furo capilar em na tampa cônica. Seque o exterior do volúmetro com uma toalha absorvente e pese o volúmetro e seu conteúdo. Registre essa massa como E.

9.5. Determine a massa específica da parafina a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ), se desconhecida, e registre este valor como F.

---

## 10. CÁLCULO

10.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra como descrito a seguinte. Arredonde com três casas decimais e registre o valor.

$$G_{mb} = \frac{A}{D - \left[ E - C + \left( \frac{C - A}{F} \right) \right]} \quad (2)$$

onde:

A = massa da amostra seca ao ar, g;

C = massa da amostra seca mais o revestimento de parafina ao ar, g;

D = massa do volúmetro cheio com água a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ), g;

E = massa do volúmetro cheio com a amostra revestida em parafina e água a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ), g;  
e

F = massa específica da parafina a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ\text{F}$ ).

---

## **11. PRECISÃO**

11.1. Resultados duplicados de massa específica pelo mesmo operador não deve ser considerado suspeito a não ser que tenha 0,02 de diferença no valor.

---

## **12. PALAVRAS-CHAVE**

12.1. Mistura asfáltica; massa específica aparente; parafina; revestimento de parafina.

## **T-283 - RESISTÊNCIA A DANOS POR UMIDADE INDUZIDA DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método cobre a preparação de amostras e a medição da mudança na resistência à tração por compressão diametral (tração indireta), resultantes do efeito de saturação e condicionamento acelerado em água, com um ciclo de congelamento e descongelamento, de misturas asfálticas compactadas. Os resultados podem ser usados para prever a suscetibilidade da mistura asfáltica à problemas de adesividade a longo prazo e a avaliação de aditivos melhoradores de adesividade líquidos que são adicionados ao ligante asfáltico, ou fíler, como cal hidratada ou cimento Portland, que são adicionados ao agregado mineral.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 30 – Condicionamento de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ)
- ARTERIS R 47 – Redução de Amostras de Mistura Asfáltica a Quente para Ensaio de Granulometria
- ARTERIS T 166 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca
- ARTERIS T 209 – Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas para Pavimentação
- ARTERIS T 312 – Preparação e Determinação da Densidade de Amostras de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) Através do Compactador Giratório Superpave
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories

- AASHTO R 67 – Sampling Asphalt Mixtures after Compaction (Obtaining Cores)
  - AASHTO R 68 – Preparation of Asphalt Mixtures by Means of the Marshall Apparatus
  - AASHTO R 97 – Sampling Asphalt Mixtures
  - AASHTO T 167 – Compressive Strength of Hot Mix Asphalt
  - AASHTO T 245 – Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus
  - AASHTO T 247 – Preparation of Test Specimens of Hot Mix Asphalt (HMA) by Means of California Kneading Compactor
  - ASTM D 3387 – Standard Test Method for Compaction and Shear Properties of Bituminous Mixtures by Means of the U.S. Corps of Engineers Gyrotory Testing Machine (GTM)
- 

### **3. SIGNIFICADO E USO**

3.1. Este método tem a intenção de avaliar os efeitos de saturação e condicionamento acelerado em água, com ciclo de congelamento e descongelamento, de misturas asfálticas compactadas. Este método pode ser usado para testar: (a) misturas asfálticas misturadas e compactadas em laboratório para elaboração de projetos de dosagem; (b) misturas asfálticas produzidas em usinas (misturada em usina, compactada em laboratório) e (c) corpos de prova de misturas asfálticas obtidos de pavimentos de qualquer idade (misturada em usina, compactada em pista).

3.2. Os índices numéricos resultantes das propriedades de tração indireta são obtidos com a comparação das propriedades de corpos de prova submetidos à umidade e condições de gelo/degelo, com outros corpos de prova testados a seco.

---

### **4. RESUMO DO MÉTODO**

4.1. São preparados corpos de prova para cada grupo de mistura, como por exemplo misturas produzidas com ligante asfáltico comum, ligante asfáltico com aditivo líquido melhorador de adesividade ou com agregado tratado com cal hidratada. Cada conjunto de corpo de prova é dividido em 2 grupos. Um grupo é testado em condição seca em resistência à tração indireta. O outro grupo, antes de ser testado de maneira similar, é submetido à saturação, com auxílio de uma pressão de vácuo, e submetido à um ciclo de congelamento, seguido por submersão em água morna. Os índices numéricos resultantes das propriedades de resistência à tração indireta são obtidos pela comparação dos dois grupos: seco e condicionado.

---

### **5. EQUIPAMENTOS**

- 5.1. Equipamento para preparação e compactação de amostras de uma das normas seguintes: AASHTO R 68, AASHTO T 167, AASHTO T 247, ARTERIS 312 OU ASTM D 3387.
- 5.2. Equipamento para determinação de massa específica máxima (Gmm) de misturas asfálticas da ARTERIS 209.
- 5.3. Balanças e banho-maria da ARTERIS T 166.
- 5.4. Banho-maria capaz de manter a temperatura a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 2^\circ\text{F}$ ).
- 5.5. Refrigerador com temperatura mantida a  $-18 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $0 \pm 5^\circ\text{F}$ )
- 5.6. Filme plástico para envolver o material; saco plástico para as amostras: de alta resistência, impermeável, capaz de conter as amostras saturadas; e fita adesiva.
- 5.7. Uma proveta graduada de 10 ml.
- 5.8. Bandejas tendo uma área de 48 400 a 129 000 mm<sup>2</sup> e uma profundidade de pelo menos 25 mm (1 pol.).
- 5.9. Paquímetro para medir a espessura do corpo de prova.
- 5.10. Estufa com sistema de ar forçado, termicamente controlada, capaz de manter qualquer temperatura desejada, da temperatura ambiente até  $176^\circ\text{C}$  ( $350^\circ\text{F}$ ) podendo ter variação de  $\pm 3^\circ\text{C}$  ( $5^\circ\text{F}$ )
- 5.11. Prensa para rompimento de amostras com anel dinamométrico da T 245, ou uma máquina de ensaio hidráulica da T 167, capaz de fornecer controle da velocidade de avanço em 50 mm/min (2 pol./min).
- 5.12. Lâminas de aço de superfície côncava e raio de curvatura igual ao raio nominal dos corpos de prova. Para corpos de prova de 100 mm (4") de diâmetro, a largura deverá ser de 12,7 mm e para os corpos de prova de 150 mm (6") em diâmetro deverá ter 19,05 mm (0.75") de largura. O comprimento da base de suporte deve exceder a largura das amostras. Sua extensão deve ser maior que a espessura dos corpos de prova. As pontas das lâminas deverão ser arredondadas, por esmerilhamento, em raio apropriado de curvatura.

---

## **6. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS MISTURADAS E COMPACTADAS EM LABORATÓRIO**

- 6.1. Prepare pelo menos seis amostras para cada ensaio, metade para ser ensaiada a seco e a outra metade para ser ensaiada depois da saturação parcial e condicionamento à umidade com ciclos de congelamento e descongelamento.

**Nota 1** – É recomendado preparar pelo menos duas amostras adicionais para cada série preparada. Estas amostras podem ser usadas para estabelecer procedimentos de compactação, com vistas ao

atingimento do volume de vazios adequado, conforme Seção 6.2, além do procedimento para saturação a vácuo, conforme Seção 10.4

6.1.1. Se a Gmm for desconhecida, prepare uma mistura adicional de acordo com a R 30 Seção 7.1, e determine a Gmm de acordo com a T 209.

6.1.2. Prepare as misturas para compactação dos corpos de prova individualmente.

6.2. Os corpos de prova devem ser compactados com a energia suficiente para obtenção de um volume de vazios de  $7,0 \pm 0,5$  por cento. Este volume de vazios pode ser obtido ajustando a massa da mistura; o número de golpes da R 68; ajustando a pressão do pé, número de apertos, nivelando a carga, ou alguma combinação da T 247; ou ajustando o número de revoluções ou altura da amostra da T 312 ou ASTM D 3387. O ajuste efetivo deve ser determinado experimentalmente para cada mistura antes da compactação das amostras para cada série. (Nota 1).

6.3. Corpos de prova de 100 mm de diâmetro por  $63,5 \pm 2,5$  mm de espessura, ou corpos de prova de 150mm de diâmetro por  $95 \pm 5$  mm de espessura são usadas. Corpos de prova de 250 mm de diâmetro por  $95 \pm 5$  mm de espessura devem ser usadas se a mistura apresentar agregados maiores do que 25 mm em sua composição.

6.4. Coloque a mistura em uma bandeja e deixe a temperatura ambiente por  $2 \text{ h} \pm 0,5 \text{ h}$ .

6.5. Coloque a mistura resfriada em uma estufa a  $60 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 5^\circ\text{F}$ ) por  $16 \pm 1 \text{ h}$  para curar. As bandejas devem ser colocadas em locais que permitam a circulação de ar por baixo da bandeja se as prateleiras não são perfuradas.

6.6. Coloque a mistura em uma estufa por  $2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$  na temperatura de compactação a  $\pm 3^\circ\text{C}$  ( $5^\circ\text{F}$ ). Determine a temperatura de compactação de acordo com a **ET 30**.

6.7. Compacte as amostras de acordo com um dos seguintes métodos: R 68, T 167, T 247, T 312 ou ASTM D 3387 para  $7,0 \pm 0,5$  por cento de vazios de ar.

6.8. Remova a amostra dos moldes (Nota 2).

**Nota 2** – Devido ao elevado volume de vazios e a instabilidade potencial das amostras, assegure que cada amostra seja resfriada adequadamente e estabilizada antes da remoção do molde.

6.9. Determine o volume de vazios de acordo com as Seções 9.3 e 9.4. O volume de vazios deve ser de  $7,0 \pm 0,5$  por cento.

---

## 7. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS MISTURADAS EM USINA E COMPACTADAS EM LABORATÓRIO

7.1. Obtenha amostras de misturas asfálticas misturadas em usinas de acordo com R 97, em quantidade suficiente para determinar a Gmm e para produzir pelo menos 6 corpos de prova.

**Nota 3** – É recomendado preparar pelo menos duas amostras adicionais para cada série preparada. Estas amostras podem ser usadas para estabelecer procedimentos de compactação, com vistas ao atingimento do volume de vazios adequado, conforme Seção 7.3.1, além do procedimento para saturação a vácuo, conforme Seção 10.4

7.2. Determine a Gmm pela T-209.

7.3. Prepare pelo menos seis amostras para cada ensaio, metade para ser ensaiada a seco e a outra metade para ser ensaiada depois da saturação parcial e condicionamento à umidade com ciclos de congelamento e descongelamento.

7.3.1. Os corpos de prova devem ser compactados com a energia suficiente para obtenção de um volume de vazios de  $7,0 \pm 0,5$  por cento. Este volume de vazios pode ser obtido ajustando a massa da mistura; o número de golpes da R 68; ajustando a pressão do pé, número de apertos, nivelando a carga, ou alguma combinação da T 247; ou ajustando o número de revoluções ou altura da amostra da T 312 ou ASTM D 3387. O ajuste efetivo deve ser determinado experimentalmente para cada mistura antes da compactação das amostras para cada série. (Nota 3).

7.4. Corpos de prova de 100 mm de diâmetro por  $63,5 \pm 2,5$  mm de espessura, ou corpos de prova de 150mm de diâmetro por  $95 \pm 5$  mm de espessura são usadas. Corpos de prova de 250 mm de diâmetro por  $95 \pm 5$  mm de espessura devem ser usadas se a mistura apresentar agregados maiores do que 25 mm em sua composição.

7.5. Não cure a mistura solta como descrito na Seção 6.5. Depois da amostragem, divida a amostra para obter o tamanho desejado conforme a R 47. Após isso, coloque a mistura em uma estufa por um tempo suficiente para atingir a temperatura de compactação  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ). Então, compacte as amostras de acordo com um dos seguintes métodos: R 68, T 167, T 247, T 312 ou ASTM D 3387 para obtenção de um volume de vazios de  $7,0 \pm 0,5$  por cento.

7.6. Remova a amostra dos moldes (Nota 2).

7.7. Determine o volume de vazios de acordo com as Seções 9.3 e 9.4. O volume de vazios deve ser de  $7,0 \pm 0,5$  por cento.

---

## 8. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS MISTURADAS EM USINA E COMPACTADAS EM CAMPO

- 8.1. Selecione locais no pavimento para serem amostrados, e obtenha corpos de prova de acordo com a R 67. Quando for ensaiar camadas de mistura asfáltica com espessura menor ou igual a 63,5 mm (2,5 pol.), use 100 mm (4 pol.) de diâmetro do corpo de prova. Em outro caso, use 100mm (4 pol.) ou 150 mm (6 pol.) de diâmetro do corpo de prova.
- 8.2. Obtenha pelo menos 6 corpos de prova de cada série de condicionamento de mistura. Amostras adicionais podem ser necessárias para determinar a Gmm pela T 209.
- 8.3. Separe as camadas do corpo de prova como necessário, serrando-as ou por outro meio adequado, e armazene as camadas a serem ensaiadas a temperatura ambiente até que elas fiquem secas.
- 8.4. Não cure as amostras soltas (Seção 6.5) ou compactadas (6.6).

---

## 9. AVALIAÇÃO E AGRUPAMENTO DE AMOSTRAS

- 9.1. Determine cada espessura de amostra (t) pela medição para 1 mm (1/16 pol.) em quatro locais em volta da amostra e fazendo a média, ou se a amostra é preparada pela T 312, use a altura final do Compactador Giratório Superpave.
- 9.2. Registre cada diâmetro de amostra (D) como definido na Seção 6.3, 7.4, ou 8.1 como apropriado.
- 9.3. Determine cada massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) pelo Método A da T 166. Expresse o volume (E) das amostras, ou a massa saturada com superfície seca menos a massa submersa em água, em centímetros cúbicos.
- 9.4. Calcule a porcentagem de vazios de ar ( $P_a$ ):

$$P_a = 100 \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (1)$$

onde:

$G_{mb}$  = a massa específica aparente, e;

$G_{mm}$  = a massa específica máxima.

- 9.5. Separe as amostras em duas subséries, de pelo menos três amostras cada. Para que a média de vazios de ar das duas subséries seja aproximadamente igual.



9.6. Para as amostras sujeitas a saturação a vácuo, ciclo de congelamento e imersão em água quente, calcule o volume de vazios de ar ( $V_a$ ) em centímetros cúbicos usando a seguinte equação:

$$V_a = \frac{P_a E}{100} \quad (1)$$

onde:

$V_a$  = volume de vazios de ar,  $\text{cm}^3$

$P_a$  = porcentagem de vazios de ar, e

$E$  = volume da amostra,  $\text{cm}^3$ .

**Nota 4** – Um formulário conveniente para este método é mostrado na Tabela 1.

---

## 10. PRÉ-CONDICIONAMENTO DE AMOSTRAS DE ENSAIO

10.1. Uma subsérie será ensaiada seca, e a outra será parcialmente saturada a vácuo, sujeita a congelamento, e mergulhada em água quente antes de ensaiar.

10.2. Envolve a subsérie seca com um saco plástico reforçado e impermeável.

10.3. Coloque as amostras em um banho-maria com a subsérie condicionada de acordo a Seção

10.4.11.

10.4. A outra subsérie deve ser condicionada com a seguir:

10.4.1. Coloque a amostra em um recipiente de vácuo, sendo elevada no mínimo 25 mm (1 pol.) acima do fundo do recipiente por um espaçador perfurado. Preencha o recipiente com água potável a temperatura ambiente para que as amostras tenham pelo menos 25 mm (1 pol.) de água acima da superfície.

10.4.2. Sature a amostra para 70 a 80 por cento aplicando vácuo (Nota 5).

**Nota 5** – Aplique vácuo por aproximadamente 5 a 10 min a aproximadamente 13 a 67 kPa de pressão absoluta (10 a 26 in.Hg de pressão parcial). O tempo necessário para algumas amostras para alcançar 70 a 80 por cento pode ser menos do que 5 min. Em adição, algumas amostras podem requerer o uso de uma pressão absoluta maior do que 67 kPa (26 in.Hg de pressão parcial) ou menor do que 13 kPa (10 in.Hg de pressão parcial).

10.4.3. Remova o vácuo e deixe a amostra submersa em água por aproximadamente 5 a 10 min.

10.4.4. Seque a amostra com uma toalha úmida, e determine a massa saturada com superfície seca ( $B'$ ) o mais rápido possível (a operação inteira não deve exceder 15 segundos). Qualquer água que vaze da amostra durante a operação de pesagem é considerada parte da amostra saturada. Cada amostra deve ser imersa e pesada individualmente.

**Nota 6** – Toalhas de algodão funcionaram bem como tecido absorvente. É considerada úmida quando nenhuma água sair da toalha quando torcida.

10.4.5. Calcule o volume de absorção de água ( $J'$ ) em centímetros cúbicos pelo uso da seguinte equação:

$$J' = B' - A \quad (2)$$

onde:

$J'$  = volume de água absorvida,  $\text{cm}^3$ ;

$B'$  = massa da amostra saturada com superfície seca depois da saturação a vácuo parcial, g; e

$A$  = massa da amostra seca ao ar, g (Seção 9.3).

10.4.6. Determine o grau de saturação ( $S'$ ) comparando o volume de água absorvida ( $J'$ ) com o volume de vazios de ar ( $V_a$ ) da Seção 9.6 usando a seguinte equação:

$$S' = \frac{100J'}{V_a} \quad (3)$$

onde:

$S'$  = grau de saturação, porcentagem.

10.4.7. Se o grau de saturação estiver entre 70 e 80 por cento, prossiga para a Seção 10.4.9.

10.4.8. Se o grau de saturação for menor do que 70 por cento, repita o procedimento começando com a Seção 10.4.1 usando mais vácuo e/ou tempo. Se o grau de saturação for maior do que 80 por cento, a amostra foi danificada e deve ser descartada. Nesse

caso, repita o procedimento na próxima amostra com a Seção 10.4.1 usando menos vácuo e/ou tempo.

10.4.9. Envolver firmemente cada corpo de prova saturado com um filme plástico. Coloque cada corpo de prova em um saco plástico contendo  $10 \pm 0,5$  ml de água e vedar o saco. Coloque o saco plástico com o CP no freezer, a uma temperatura de  $-18 \pm 3^\circ\text{C}$  por, no mínimo, 16 horas. Remova as amostras do freezer.

10.4.10. Coloque as amostras em um banho-maria contendo água potável a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 2^\circ\text{F}$ ) por  $24 \pm 1$  h. As amostras devem ter no mínimo 25 mm (1 pol.) de água acima da superfície. Logo que possível, depois de colocar os corpos de prova em banho-maria, retire o saco plástico e o filme de cada amostra.

10.4.11. Depois das  $24 \pm 1$  h no banho-maria a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 2^\circ\text{F}$ ), remova as amostras e coloque elas e a subsérie seca em um banho-maria a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1^\circ\text{F}$ ). As amostras devem ter no mínimo 25 mm (1 pol.) de água acima da superfície. Pode ser necessário adicionar gelo ao banho-maria para prevenir a elevação da temperatura da água acima de  $25^\circ\text{C}$  ( $77^\circ\text{F}$ ). Não mais do que 15 min deve ser necessário para a água do banho maria alcançar  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1^\circ\text{F}$ ).

10.4.12. Remova as amostras do banho-maria, e ensaie-as como descrito na Seção 11.

---

## 11. ENSAIANDO

11.1. Determine a resistência à tração indireta das amostras condicionadas e secas a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1^\circ\text{F}$ ).

11.1.1. Remova o corpo de prova do banho-maria a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1^\circ\text{F}$ ), e determine a espessura de acordo com a Seção 9.1. Coloque o corpo de prova entre as lâminas de aço e posicione cuidadosamente entre os 2 pratos da prensa. O posicionamento deverá ser cuidadoso para garantir que a carga aplicada seja igual por todo o diâmetro do corpo de prova. Aplique a carga no corpo de prova através de um movimento constante da prensa, de 50 mm por minuto.

11.1.2. Anote a tensão máxima registrada pela prensa e continue a aplicar a carga até que uma trinca vertical apareça. Remova o corpo de prova da prensa e abra na face trincada. Inspeccione a superfície interior para verificar o descolamento do filme de asfalto; visualmente estime o grau aproximado de dano, provocado pela umidade, em

uma escala de “0” a “5” (sendo “5” o grau de maior desgaste) e registre as observações na Tabela 1.

**Tabela 1** – Formulário para realização do ensaio de Danos por Umidade Induzida em Laboratório (informações não-obrigatórias)

Projeto:							
Aditivo:		Dosagem:					
Método de Compactação:		Energia:					
Data de Ensaio:		Por:					
Identificação de Amostra							
Diâmetro, mm (pol.)	D						
Espessura, mm (pol.)	t						
Massa seca em água, g	A						
Massa SSS, g	B						
Massa em água, g	C						
Volume (B-C), cm <sup>3</sup>	E						
Massa específica aparente	G <sub>mb</sub>						
Massa específica máxima	G <sub>mm</sub>						
% vazios de ar $[100(G_{mm} - G_{mb})/G_{mm}]$	P <sub>a</sub>						
Volume de vazios de ar $(P_a E/100)$ , cm <sup>3</sup>	V <sub>a</sub>						
Carga, N (lbf)	P						
Saturada	min @	kPa(psi) ou		mmHg (pol.Hg)			
Espessura, , mm (pol.)	T'						
Massa SSD, g	B'						
Volume de água absorvida (B' – A), cm <sup>3</sup>	J'						
% saturação $(100J/V_a)$	S'						
Carga, N (lbf)	P'						
Resistência seca $[2000P/\pi tD (2P/\pi tD)]$ , kPa (psi)	S <sub>1</sub>						
Resistência úmida $[2000P'/\pi tD (2P'/\pi tD)]$ , kPa (psi)	S <sub>2</sub>						
Dano por Umidade Visual (0 a 5)							
Agregado trincado ou quebrado?							
TSR (S <sub>2</sub> /S <sub>1</sub> )							

## 12. CÁLCULOS

12.1. Calcule a resistência à tração de cada corpo de prova como indicado abaixo:

Unidades SI:

$$S_t = \frac{2000P}{\pi t D} \quad (4)$$

onde:

$S_t$  = resistência a tração, kPa;

$P$  = carga máxima, N;

$t$  = espessura da amostra, mm; e

$D$  = diâmetro da amostra, mm.

12.2. Expresse o índice numérico de resistência da mistura asfáltica ao efeito danoso da água, como a razão da tensão original do corpo de prova saturado e condicionado ao gelo/degelo. Calcule a razão da tensão, com 2 casas decimais, de acordo com o indicado abaixo:

$$\text{Razão da Resistência à Tração} - RRT = \frac{St_2}{St_1} \quad (6)$$

onde:

$S_1$  = média da resistência a tensão indireta do subgrupo de corpos de prova seco, kPa (psi); e

$S_2$  = média da resistência a tensão indireta do subgrupo de corpos de prova saturados, kPa (psi).

---

## 13. RELATÓRIO

13.1. Registre as seguintes informações:

13.1.1. Número de amostras em cada subsérie;

13.1.2. Média de vazios de ar de cada subsérie;

13.1.3. Resistência a tração de cada amostra em cada subsérie;

13.1.4. Proporção de resistência a tensão;

13.1.5. Resultados do dano por umidade visual observado quando a amostra se fraturou;

13.1.6. Resultados das observações do agregado rachado ou quebrado.

---

#### **14. PALAVRAS-CHAVE**

14.1. Condicionamento acelerado em água; resistência a tração diametral; ciclo de congelamento e descongelamento; aditivo líquido melhorador de adesividade.

## **T-304 - PORCENTAGEM DE VAZIOS DE AGREGADOS FINOS NÃO COMPACTADOS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método descreve a determinação da porcentagem de vazios não compactados de uma amostra de agregados de granulometria fina. Quando se determina a porcentagem de vazios de qualquer agregado de granulometria conhecida temos uma indicação de sua angulosidade, esfericidade e textura da superfície comparada com outro similar já ensaiado. Quando a porcentagem de vazios é medida na amostra virgem de agregado de granulometria fina, pode ser um indicador do seu efeito na trabalhabilidade da mistura em que será usado.

1.2. Três procedimentos foram incluídos para a determinação da porcentagem de vazios. Dois usam agregados de granulometria fina (Granulometria padrão ou amostra virgem), e o outro usa várias frações individuais para determinação da porcentagem de vazios:

1.2.1. Amostras com granulometria padrão (Método A) – Este método usa uma granulometria fina padrão do agregado que é obtida combinando frações individuais separadas por peneiramento para conseguir uma curva típica do agregado de granulometria fina. Veja a seção de preparação de amostras para ensaios granulométricos.

1.2.2. Amostras com frações individuais (Método B) – Este método usa três frações de tamanho para agregados de granulometria fina: (a) 2,36-mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16); (b) 1,18 mm (nº 16) a 600 µm (nº 30); e (c) 600 µm (nº 30) a 300 µm (nº 50). Por este método cada fração é ensaiada separadamente.

1.2.3. Amostras virgens (Método C) – Este método usa a porção de agregado fino que passa na peneira 4,75 mm (nº 4).

1.2.4. Veja a seção 5, SIGNIFICADO E USO, para definição do método a ser usado.

1.3. Os valores em unidades no Sistema Universal devem ser considerados como padrão.

1.4. Este método não cobre todos os problemas de segurança, se existirem, associado com o seu uso. É responsabilidade do usuário do método estabelecer os procedimentos de segurança e saúde e determinar a aplicação das limitações das normas de segurança existentes, antes de usá-lo.

---

## **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

### 2.1. Métodos

- AASHTO T 2 Amostragem de Agregados
- ARTERIS T-11 Análise granulométrica de agregados passante na peneira de 75µm (nº.200), por lavagem.
- AASHTO T 19M/T19 Densidade aparente (“Peso Unitário”) e vazios no agregado.
- ARTERIS T-27 Análise granulométrica de agregados finos e graúdos.
- ARTERIS T-84 Massa específica e absorção de agregados finos.
- ARTERIS T-248 Redução de amostras de agregados ao tamanho apropriado para ensaio de Granulometria.

### 2.2. Métodos da ASTM

- B 88 - Especificação de tubo de cobre sem costura para água
- B 88M - Especificação de tubo de cobre sem costura para água (Métrico)
- C 125 - Terminologia associada com concretos e seus agregados
- C 778 - Especificação para areia padrão

### 2.3. Documentos da ACI

- ACI 116R - Terminologia do cimento e concreto

---

## **3. TERMINOLOGIA**

- ### 3.1. Os termos usados neste método estão definidos na ASTM C 125 ou ACI 116R.

---

## **4. SUMÁRIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

4.1. Um cilindro calibrado de 100 ml nominais é cheio com agregado de granulometria fina conhecida fluindo através de um funil a uma altura pré-fixada. O agregado fino é rasado com uma régua e sua massa determinada por pesagem. A porcentagem de vazios não compactados é calculada como a diferença entre o volume do cilindro e o volume absoluto do agregado de granulometria fina contido no mesmo. A porcentagem de vazios não compactados é calculada usando a massa específica aparente do agregado de granulometria fina. Devem ser feitos dois ensaios de cada amostra e tirada a média.



4.1.1. Para a amostra graduada (Método A ou C) a porcentagem de vazios é determinada diretamente, e o valor da média dos dois ensaios é registrada.

4.1.2. Para as frações individuais (Método B), a média da porcentagem de vazios é calculada usando os resultados dos ensaios de cada das três frações individualmente.

---

## 5. SIGNIFICADO E USO

5.1. Os métodos A e B fornecem a porcentagem de vazios determinada sob condições padrão dependendo da forma e textura do agregado fino. Um aumento na porcentagem de vazios por estes procedimentos indica uma maior angulosidade, menor esfericidade, ou textura da superfície rugosa ou uma combinação destes três fatores. Uma redução no resultado da porcentagem de vazios é associada com agregados mais redondos, esféricos ou com superfície lisa ou a combinação destes fatores.

5.2. O método C mede a porcentagem de vazios solta do material passante na peneira 4,75 mm (nº 4) da amostra virgem. A porcentagem de vazios depende da granulometria bem como da forma da partícula e textura.

5.3. A porcentagem de vazios determinada na granulometria da amostra padrão (Método A) não é diretamente comparável com a da média das 3 frações individuais testadas separadamente (Método B). Uma amostra consistindo de tamanhos uniformes terá uma porcentagem de vazios maior do que a bem graduada. Entretanto, ao usar um método ou outro como uma medida comparativa da forma e textura identifique qual método foi usado para obter o resultado informado. Método C não provê uma indicação de forma e textura diretamente se a granulometria de uma amostra para outra muda.

5.3.1. O Ensaio de uma amostra graduada padrão (Método A) é mais útil porque rapidamente indica as propriedades de forma das partículas do agregado fino. Tipicamente, o material usado para preparar a amostra graduada padrão pode ser obtido das amostras remanescentes após a execução dos ensaios de granulometria.

5.3.2. Obter e testar amostras de frações individuais (Método B) consome mais tempo e requer uma amostra maior que a usada para o ensaio de granulometria padrão. Entretanto, o Método B fornece informações adicionais a respeito da característica de forma e textura das frações individuais.

5.3.3. Testar amostras virgens (Método C) pode ser útil para selecionar as proporções de componentes usados em misturas variadas. Em geral, porcentagem de vazios alta indica

que o material poderá ser melhorado adicionando-se mais finos ao agregado ou mais material de enchimento (filler) para preencher os vazios entre as partículas.

5.3.4. A massa específica aparente do agregado de granulometria fina é usada para calcular a porcentagem de vazios. A efetividade destes métodos de determinação da porcentagem de vazios e sua relação com a forma e textura das partículas dependem que a massa específica aparente do agregado de granulometria fina nas várias frações seja igual ou bem próximas. A porcentagem de

5.3.5. vazios é realmente uma função do volume de cada fração. Se o tipo de rocha ou mineral ou sua porosidade, em qualquer das frações varia marcadamente, é necessário determinar a massa específica aparente de cada fração usada no ensaio.

5.4. A informação da porcentagem de vazios dos Métodos A, B ou C será útil como um indicador de propriedades tais como: Quantidade de água de mistura necessária para o concreto de cimento Portland, fatores de fluência, facilidade de bombeamento, trabalhabilidade quando na preparação de caldas ou argamassas, ou, em concreto asfáltico, o efeito do agregado de granulometria fina na estabilidade e na porcentagem de vazios do agregado mineral (VAM); ou, na estabilidade de parcela de agregado de granulometria fina numa camada de base.

---

## 6. EQUIPAMENTO

6.1. Medidor cilíndrico – Um cilindro liso de aproximadamente 100 ml de capacidade, tendo um diâmetro interno de aproximadamente 39 mm e uma altura interna de aproximadamente 86 mm, feito de tubo de cobre para água de acordo com a especificação ASTM B88 tipo M, ou B88 M tipo C. O fundo do medidor deve ser de metal com no mínimo 6 mm de espessura, deve estar firmemente colado ao tubo e deve ter condições para alinhar o eixo do cilindro com o do funil. (Veja figura 1.).

6.2. Funil – A superfície lateral do cone deve ser lisa com uma inclinação de  $60 \pm 4^\circ$  de um plano horizontal com uma abertura de  $12,7 \pm 0,6$  mm de diâmetro. A seção do funil deve ser uma peça de metal, lisa do lado de dentro e com, no mínimo, 38 mm de altura. Deve ter um volume de, no mínimo, 200 ml ou deve ter um recipiente suplementar de vidro ou metal que contenha o volume requerido. (Veja Figura 2.).

**Nota 1** – Picnômetro top C9455 vendido pela Hogentogler and Co., Inc., 9515 Gerwig, Columbia, MD 21045, 410-381-2390 é satisfatório para a seção do funil, porém o tamanho da abertura tem que ser aumentado e qualquer cavidade ou ressalto existente deve ser removido, por enchimento ou lixamento com jato de areia, antes de ser usado.

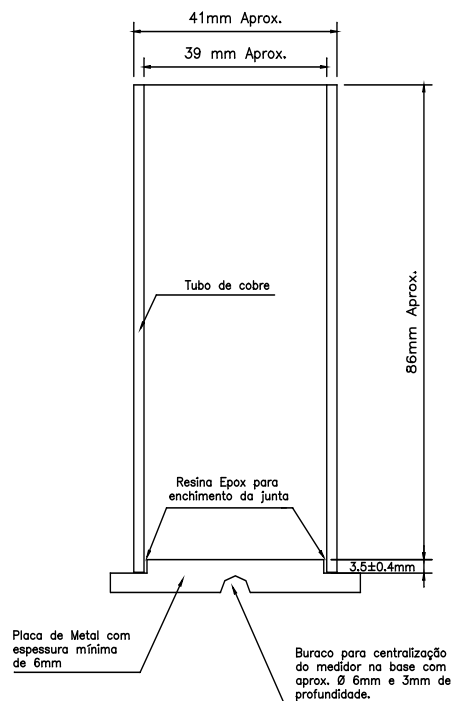


fig. 1 Medidor cilíndrico com 100ml nominal

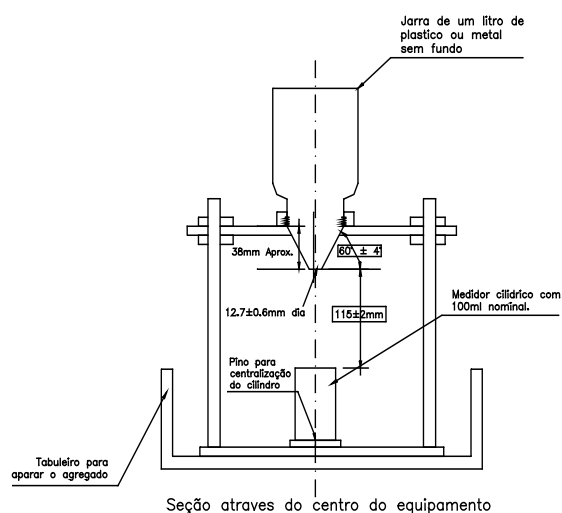


fig.2 base do suporte do funil com o medidor cilíndrico no lugar

6.3. Suporte do funil – Um suporte com três ou quatro pernas capaz de segurar o eixo do funil firmemente numa posição alinhada (dentro de um ângulo de 4° e um deslocamento de 2 mm) com o eixo do medidor cilíndrico. A distância entre o funil e o topo do medidor deve ser de  $115 \pm 2$ mm. Um arranjo adequado é mostrado na Figura 2.

6.4. Placa de vidro – Uma placa de vidro quadrada de aproximadamente 60 mm por 60 mm com uma espessura mínima de 4 mm usada para calibrar o medidor cilíndrico.

6.5. Bandeja – Uma bandeja de metal ou plástico de tamanho suficiente para se colocar o suporte do funil e evitar perda de material. O objetivo desta bandeja é coletar e reter as partículas de agregado fino que transbordem do medidor durante o enchimento do mesmo e se espalhem. A bandeja não pode ter deformações de modo a apresentar balanço no aparelho durante os testes.

6.6. Espátula de metal com uma lâmina de aproximadamente 100 mm de comprimento, e, no mínimo, 20 mm de largura, com laterais retas. A ponta deve ter um corte reto. A ponta reta da espátula é usada para nivelar o agregado fino no medidor.

6.7. Balança com precisão de leitura de 0,1g, dentro do intervalo de utilização, capaz de pesar o medidor cilíndrico e seu conteúdo.

---

## 7. AMOSTRAGEM

7.1. A(s) amostra(s) a ser usada neste ensaio deve ser obtida usando a T-2 e T-248, ou de granulometrias já executadas de acordo com o ARTERIS T-27, ou de um agregado obtido da extração de um corpo de prova de Concreto Asfáltico. Para os métodos A e B, a amostra é lavada na peneira 150 µm (nº 100) ou 75 µm (nº 200) de acordo com ARTERIS T-11 e então secada e peneirada em cada fração, de tamanho de acordo com os procedimentos da ARTERIS T-27. Mantenha o tamanho da fração obtida de um ou mais ensaios de granulometria secas em recipientes separados por tamanho. Para o método C, seque a parte da amostra como recebida de acordo com os procedimentos de secagem da ARTERIS T-27.

---

## 8. CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR CILÍNDRICO

8.1. Aplique uma leve camada de vaselina no topo do medidor cilíndrico vazio e seco. Pese medidor, vaselina e placa de vidro. Encha o medidor com água deionizada, recém fervida, e com temperatura entre 18 e 24°C. Registre a temperatura da água. Coloque a placa de vidro sobre o medidor, assegurando que não haja nenhuma bolha de ar. Seque as superfícies externas e determine a massa combinada do medidor, placa de vidro, vaselina e água por pesagem. Depois de pesado, remova a vaselina e determine a massa do medidor limpo, seco e vazio para os ensaios subsequentes.

8.2. Calcule o volume do medidor como segue:

$$V = 1000 \frac{M}{D} \quad (1)$$

Onde:

V = Volume do cilindro, ml

M = Peso líquido da água, g

D = Densidade da água (Veja tabela da T 19M / T 19 para densidade na temperatura usada), kg/m<sup>3</sup>

Determine o volume com aproximação 0,1 ml.

**Nota 2** – Se o volume é maior que 100 ml, pode ser desejável toronar o topo do medidor até que o volume seja exatamente 100 ml, para simplificar cálculos subsequentes.

---

## 9. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

9.1. Método A – Amostra com granulometria padrão – Separe e combine as seguintes quantidades do agregado fino que foram peneiradas e secadas de acordo com a ARTERIS T-27.

Tamanho das Frações Individuais	Massa, g
2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16)	44
1,18 mm (nº 16) a 600 µm (nº 30)	57
600 µm (nº 30) a 300 µm (nº 50)	72
300 µm (nº 50) a 150 µm (nº 100)	17
	<hr/> 190

A tolerância para cada umas das frações é de  $\pm 0,2$  g

9.2. Método B – Amostra com frações individuais – Prepare uma amostra de 190g separadamente, peneirada e seca de acordo com ARTERIS T-27, para cada uma das frações:

Tamanho das Frações Individuais	Massa, g
2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16)	190
1,18 mm (nº 16) a 600 m (nº 30)	190
600 m (nº 30) a 300 m (nº 50)	190

**Nota 3** - A tolerância para cada uma das frações é de  $\pm 1$  g. Não misture estas amostras. Cada tamanho é ensaiado separadamente.

9.3. Método C – Amostras virgens – Peneire a amostra (Seca de acordo com a ARTERIS T-27) na peneira de 4,75 mm (nº 4). Obtenha  $190 \pm 1$  g da amostra passada na peneira de 4,75 mm (nº 4) para o ensaio.

9.4. Massa Específica do agregado fino – Se a Massa Específica Aparente Seca do agregado fino é desconhecida, determiná-la para a fração passante na peneira 4,75 mm (nº 4) de acordo com a ARTERIS T-84. Use este valor para os cálculos subsequentes a menos que algumas das frações difiram mais que 0,05 da massa específica típica da amostra completa. Neste caso a massa específica da fração (ou frações) ensaiada deve ser determinada. Um indicador de diferenças na massa específica das diferentes frações é a comparação com os ensaios do agregado fino com granulometrias diferentes. A massa específica pode ser realizada em granulometrias diferentes das frações usadas nos ensaios. Se a diferença entre as massas específicas excede a 0,05, determine a mesma para as frações variando de 2,36 mm (nº 8) a 150  $\mu\text{m}$  (nº 100) para o método A ou as frações individuais para o método B seja por medição direta ou através de cálculos usando os dados de massa específica das granulometrias com ou sem a coincidência das frações de interesse. A diferença na massa específica de 0,05 mudará o percentual de vazios calculado em cerca de 1 por cento.

---

## 10. PROCEDIMENTO

10.1. Misture cada amostra a ser ensaiada com uma espátula até que a mesma esteja homogênea. Posicione a jarra e o funil no suporte e centre o medidor cilíndrico como mostrado na figura 2. Use um dedo para bloquear a abertura do funil. Deixe a amostra escorrer para dentro do funil. Nivele o material no funil com a espátula. Remova o dedo e permita que a amostra caia livremente dentro do medidor cilíndrico.

10.2. Após o funil esvaziar, retire o excesso de agregado fino com uma única passada rápida da espátula, mantendo a parte reta dela como uma lâmina, em um leve contacto com a parte superior do medidor cilíndrico. Até que termine a operação, deve ser evitado qualquer vibração ou distúrbio que possa provocar a compactação do agregado fino dentro do medidor cilíndrico. (Nota 3). Escove os grãos aderidos da parte externa do medidor e determine a massa do mesmo e seu conteúdo com aproximação de 0,1 g. Reserve todas as partículas de agregado fino para uma repetição do ensaio.

**Nota 3** – O medidor cilíndrico, após a remoção do excesso de material, deve ser socado levemente de forma a compactar a amostra para facilitar a remoção dela para a balança sem derramar.

10.3. Recombine a amostra do tabuleiro e medidor para repetir o ensaio. Calcule a média dos dois ensaios. Veja a seção 11.

10.4. Registre a massa do medidor vazio. Registre também a massa do medidor e amostra de cada ensaio.

---

## 11. CÁLCULOS

11.1. Calcule os vazios soltos para cada determinação como segue:

$$U = \frac{V - (F/G)}{V} \times 100 \quad (2)$$

V = volume do medidor cilíndrico, ml

F = Massa líquida, g, do agregado fino no medidor (Massa bruta menos a massa do medidor vazio).

G = Massa Específica aparente seca do agregado fino.

U = Porcentagem de vazios solto do material.

11.2. Para a *amostra com granulometria padrão* (Método A) calcule a média do percentual de vazios soltos para 2 determinações e registre o resultado com os Us.

11.3. Para a *amostra com frações individuais* (Método B) calcule:

11.3.1. Primeiro, a média da porcentagem de vazios solta para cada uma das frações individuais:

- U1 = Porcentagem de vazios soltos, 2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16)
- U2 = Porcentagem de vazios soltos, 1,18 mm (nº 16) a 600 µm (nº 30)
- U3 = Porcentagem de vazios soltos, 600 µm (nº 30) a 300 µm (nº 50)

11.3.2. Segundo, a média da porcentagem de vazios solto “Um” incluindo os resultados dos três tamanhos:

$$U_m = (U_1 + U_2 + U_3) / 3 \quad (3)$$

11.4. Para as amostras virgens (Método C) calcule a porcentagem média de vazios solta de duas determinações e relate o resultado com  $U_r$ .

---

## 12. RELATÓRIO

12.1. Para a amostra de granulometria padrão (Método A) relate:

12.1.1. O percentual de vazios soltos ( $U_s$ ) com aproximação de um décimo da porcentagem (0,1%).

12.1.2. O valor da massa específica usada nos cálculos.

12.2. Para a amostra com frações individuais (Método B) relate o percentual de vazios solto com aproximação de um décimo da porcentagem (0,1%) como segue:

12.2.1. Porcentagem de vazios solto para cada fração: (a) 2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16) ( $U_1$ ); (b) 1,18 mm (nº 16) a 600  $\mu\text{m}$  (nº 30) ( $U_2$ ); (c) 600  $\mu\text{m}$  (nº 30) a 300  $\mu\text{m}$  (nº 50) ( $U_3$ ).

12.2.2. Média da porcentagem de vazios solta ( $U_m$ ).

12.2.3. O valor da(s) massa(s) específica(s) usada no cálculo, e se o ensaio foi feito com uma amostra graduada ou das frações individuais.

12.3. Para amostra virgem (Método C) relate:

12.3.1. O percentual de vazios soltos ( $U_r$ ) com aproximação de um décimo da porcentagem (0,1%).

12.3.2. O valor da massa específica usada nos cálculos.

---

## 13. PRECISÃO E DESVIOS

13.1. Precisão

13.1.1. O desvio para um único operador encontrado foi de 0,13 por cento de vazios (1S), usando uma amostra padrão graduada como descrita no método ASTM C 778. Portanto, resultados de dois ensaios conduzidos corretamente pelo mesmo operador em amostras similares não devem diferir mais de 0,37 por cento (D2S).



13.1.2. O Desvio Padrão de ensaios multilaboratórios encontrado foi de 0,33 por cento (1S) usando uma amostra padrão graduada como descrita no método ASTM C 778. Portanto, resultados de dois ensaios conduzidos corretamente pelo mesmo operador em amostras similares não devem diferir mais de 0,93 por cento (d2s).

13.1.3. A definição acima é pertinente ao percentual de vazios determinados em “areia padrão graduada” como definido na ASTM C 778, considerada arredondada, e a granulometria varia de 600  $\mu\text{m}$  (nº30) a 150  $\mu\text{m}$  (nº100), e não é típica de outros agregados finos. Dados adicionais de precisão são necessários para ensaios de agregados finos tendo diferentes níveis de angulosidade e textura ensaiados de acordo com este método de ensaio.

13.2. Desvios – Como não há nenhum material de referência adequado para determinar os desvios para os procedimentos deste método, eles não foram ainda determinados.

---

#### **14. PALAVRAS CHAVE**

14.1. Angularity; fine aggregate; particle shape; sand; surface texture; void content.

## **T-305 - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE GOTEJAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS NÃO COMPACTADAS**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método estabelece a determinação da quantidade de material gotejado de uma amostra de mistura asfáltica não compactadas quando ela é mantida a temperaturas elevadas, comparáveis com aquelas usadas durante a produção, estocagem, transporte e espalhamento. Este ensaio é aplicado particularmente para misturas tais como camadas porosas (camadas de desgaste abertas) e "Stone Matrix Asphalt (SMA)".

1.2. Os valores estabelecidos em unidades métricas são definidos como padrão.

1.3. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Este método não tem o objetivo de analisar nenhum problema de segurança associado à sua utilização. É responsabilidade do usuário deste método estabelecer as práticas de segurança apropriadas e os equipamentos de proteção Individual necessários, antes do início do ensaio.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

#### **2.1. NORMAS**

- AASHTO M 92 - Malhas de peneiras para fins de ensaio.
- ARTERIS R 47 - Redução de amostras de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) para o Tamanho de Ensaio de Granulometria.
- AASHTO T 245 - Método de ensaio padrão para fluência de misturas asfálticas usando equipamento Marshall.

---

### **3. DEFINIÇÕES**

3.1. Material Gotejado – Para o objetivo deste Método, considera-se gotejamento aquela porção de material que se separa da amostra como um todo e é depositada fora da cesta de arame durante o ensaio. O material drenado pode ser Ligante Asfáltico ou uma combinação de Ligante Asfáltico, Aditivos ou Agregado Fino.

---

### **4. SUMARIO DO MÉTODO**

4.1. A amostra de Mistura Asfáltica para ser testada é preparada no laboratório ou obtida da pista. A amostra é colocada numa cesta de arame posicionada sobre um prato ou outro recipiente de massa

conhecida. A amostra, a cesta e o prato ou recipiente são colocados em uma estufa por uma hora numa temperatura previamente selecionada. Ao fim de uma hora, a cesta contendo a amostra e o prato ou recipiente é removida da estufa e a massa do prato ou recipiente é determinada. A quantidade de material gotejado é então calculada.

---

## **5. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

5.1. Este método de ensaio pode ser usado para determinar quando a quantidade de material gotejado para uma dada mistura asfáltica está dentro de limites aceitáveis. O ensaio fornece uma avaliação do potencial de gotejamento de uma mistura asfáltica durante o projeto ou da produção na obra. Este ensaio é geralmente usado para misturas com um alto teor de agregado graúdo tais como camadas porosas e Misturas Descontínuas (SMA).

---

## **6. EQUIPAMENTO**

6.1. Estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de 120-175°C (250-350°F). A estufa deve ter uma tolerância máxima de  $\pm 2^\circ\text{C}$  (3,6°F).

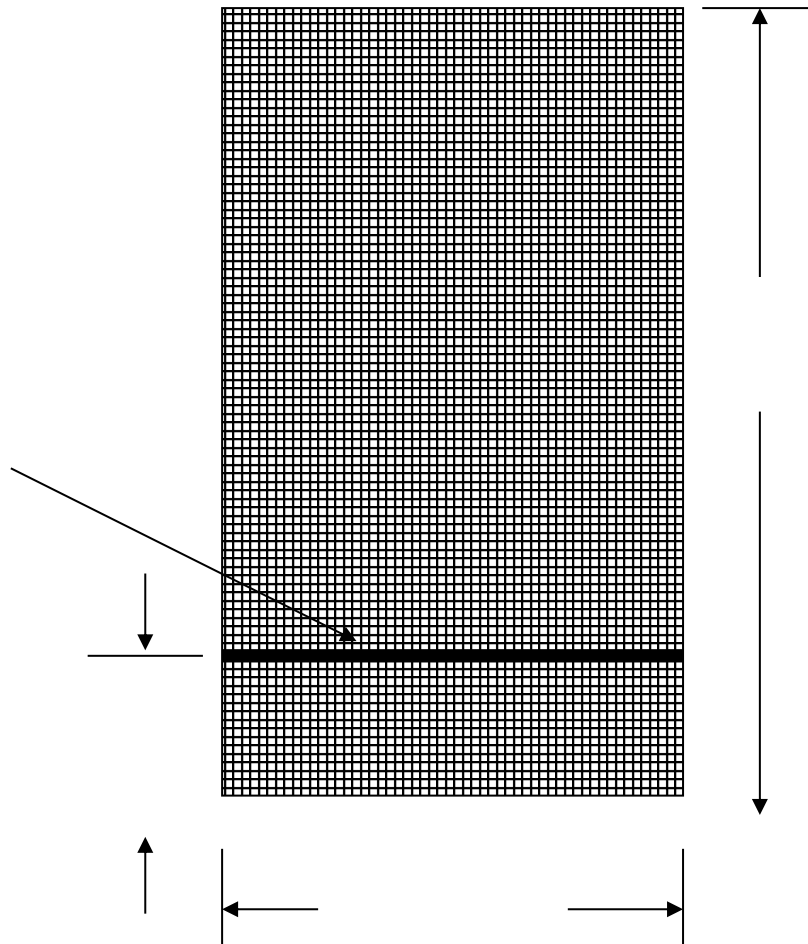
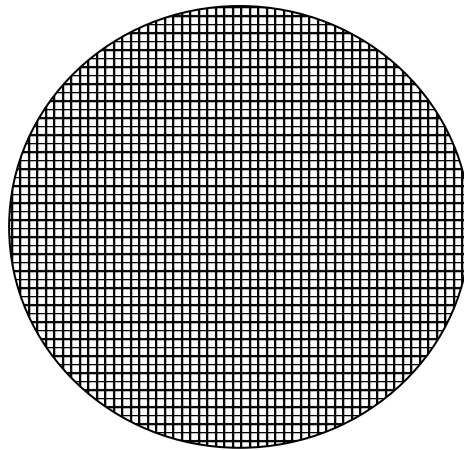
6.2. Pratos ou outros recipientes de tamanho apropriado. Os pratos ou recipientes usados devem ter capacidade de resistir às temperaturas da estufa. Formas para bolos ou tortas são exemplos de recipientes adequados.

6.3. Cesta de arame padrão com as dimensões mostradas na figura 1. A cesta deve ser construída usando uma malha padrão de 6,3 mm (0,25 pol.) como especifica a AASTHO M 92.

6.4. Balança – Com uma precisão de 0,1 g.

6.5. Outros Utensílios - Espátulas, colheres, misturadores, e bacias como necessário.

Vista de Cima



165 ± 16,5 mm

Fundo da cesta

25 ± 2,5 mm

108 □ 10,8 mm

Sem escalas

Vista lateral

**Figura 1** – Cesta de arame padrão (Tela de ¼" 6,35mm)

---

## 7. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

### 7.1. Amostras preparadas no Laboratório

7.1.1. Número de amostras – Para cada mistura testada, as características de gotejamento devem ser determinadas a 2 diferentes temperaturas. Devem ser aquelas previstas na produção da usina e outra 15°C (27°F) acima (Nota 1). Para cada temperatura devem ser ensaiadas 2 amostras. Portanto para uma mistura asfáltica, devem ser ensaiadas um mínimo de 4 amostras.

**Nota 1** – Quando, usando o ensaio como parte de um procedimento de projeto, o ensaio deve ser executado a 2 temperaturas de maneira a determinar o efeito potencial que a variação na temperatura da usina pode provocar na massa durante a produção. Quando o ensaio é usado durante a produção da obra, deve ser necessário executá-lo somente na temperatura da massa na usina.

7.1.2. Seque o agregado até a constância de massa de acordo com T 255 e peneire nas frações adequadas como indicado na T 245.

7.1.3. Determine a temperatura prevista para o trabalho na usina, ou selecione uma temperatura de mistura de acordo com a T 245.

7.1.4. Coloque em pratos separados para cada fração de tamanho de amostra necessária para produzir uma mistura com uma massa de 1200 ± 200 g. As frações de agregado devem ser misturadas de maneira que a mistura obtida tenha a mesma granulometria do traço. Coloque as amostras de agregados em uma estufa e aqueça à uma temperatura que não exceda àquela estabelecida na seção 7.1.3 por mais de aproximadamente 28°C (50 °F).

7.1.5. Aqueça o CAP até à temperatura estabelecida na seção 7.1.3.

7.1.6. Coloque o agregado aquecido na bacia de mistura. Adicione qualquer aditivo estabilizador (Nota 2) e misture bem os componentes secos. Forme uma cratera no meio do agregado misturado e adicione a quantidade determinada de ligante asfáltico. A

quantidade de ligante asfáltico deve ser tal que a amostra final tenha o mesmo teor do traço. Neste momento, a temperatura do agregado e do ligante asfáltico deve ser aquela definida na seção 7.1.3. Usando uma espátula (se a mistura for manual) ou um misturador, misture o agregado (e aditivos se houver) e o ligante asfáltico rapidamente até que o agregado esteja inteiramente recoberto.

**Nota 2** – Alguns tipos de estabilizadores tais como fibras e alguns polímeros devem ser adicionados diretamente ao agregado antes da mistura com o ligante asfáltico. Outros tipos de estabilizadores devem ser adicionados diretamente ao ligante asfáltico antes de misturar com agregado.

7.2. Amostras produzidas na Usina de Asfalto.

7.2.1. Número de amostras – Para coletas na usina, devem ser ensaiadas 2 amostras à temperatura de produção da massa.

7.2.2. Amostras devem ser coletadas durante a produção da usina em locais apropriados tais como caminhões antes de sair do pátio. As amostras coletadas durante a produção real devem ser reduzidas até o tamanho adequado para o ensaio pela R-47.

**Nota 3** – Cuidados devem ser tomados quando as amostras forem coletadas na descarga ou nos silos de estocagem porque o gotejamento já pode ter acontecido.

---

## 8. PROCEDIMENTOS

8.1. Transfira a amostra não compactada quente produzida no laboratório ou na usina para uma cesta de arame previamente tarada, descrita na seção 6.3. Coloque toda a amostra dentro da cesta. Não compacte ou mexa com a amostra após colocada na cesta. Determine a massa da amostra com aproximação de 0,1 g. Cuidados devem ser tomados para assegurar que a amostra não esfrie mais de 25°C abaixo da temperatura de ensaio (veja seção 8.2).

8.2. Determine e registre a massa do prato ou outro recipiente adequado com aproximação de 0,1g. Coloque a cesta no prato ou recipiente e coloque o conjunto todo dentro da estufa na temperatura definida no item 7.1.1 ou item 7.2.1 por  $60 \pm 5$  minutos. Se a amostra esfriou mais de 25°C abaixo da temperatura de ensaio, o tempo deve ser alterado para  $70 \pm 5$  minutos.

8.3. Depois da amostra ficar na estufa pelo tempo estabelecido na seção 8.2, remova a cesta e o prato ou recipiente da estufa. Determine e registre a massa do prato ou recipiente mais o cimento asfáltico drenado com aproximação de 0,1 g.

---

## 9. CALCULOS

9.1. Calcule a percentagem de mistura que foi drenada (%D) pela subtração da massa do prato ou recipiente inicial da massa final e divida este valor pela massa total inicial. Multiplique o resultado por 100 para obter a percentagem.

$$\% D = \frac{Mf - Mi}{Mt} \times 100 = \text{percentagem de mistura que foi drenada ou percentagem de gotejamento.}$$

Onde:

$Mf$  = massa final do prato ou recipiente,

$Mi$  = massa inicial do prato ou recipiente, e

$Mt$  = Massa Total da amostra inicial.

---

## 10. RELATORIO

10.1. Relate a percentagem média do gotejamento (percentagem média de mistura drenada) à cada temperatura do ensaio.

## **T-307 - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS E MISTURAS GRANULARES**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este documento é uma norma técnica que abrange os procedimentos de preparação e teste de amostras de solos e misturas granulares não trabalhadas para a determinação do módulo de resiliência (MR) sob condições que representem as condições físicas do material em campo e as tensões a que ele está submetido devido às cargas de rodas no topo do pavimento flexível.

1.2. Os métodos aqui descritos são aplicáveis a amostras indeformadas de solos de subleito (em seu estado natural de umidade e compactação) e amostras deformadas de solos de subleito e materiais de base e sub-base não trabalhados, preparados para o teste através da compactação em laboratório.

1.3. As tensões utilizadas no ensaio de MR são baseadas na localização do material dentro da estrutura do pavimento, pois materiais que compõe bases e sub-bases estão sujeitos a diferentes tensões dos materiais localizados no subleito. Geralmente, o tamanho do corpo de prova (CP) depende do tipo do material, ou seja, depende de sua granulometria e dos seus índices físicos (LL, LP, IP).

1.4. O valor do MR obtido através deste ensaio é uma medida do modulo de elasticidade dos materiais de base e sub-base não trabalhados e solos de subleito considerando certas características não lineares.

1.5. O valor do MR, pode ser utilizado como parâmetro em projetos estruturais e também como uma ferramenta de análise em estruturas já existentes.

1.6. Esta norma pode envolver materiais operações e equipamentos perigosos, e não trata das precauções de segurança associadas a seu uso. É de responsabilidade do usuário desta norma consultar e estabelecer práticas de segurança e de saúde adequadas.

---

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIAS**

2.1. Para elaboração desta norma foram consultados os seguintes documentos:

- ARTERIS – ET-006 – Classificação dos solos finos
- ARTERIS – ET-145 – Classificação dos solos granulares



---

### 3. TERMINOLOGIA

- 3.1. Material granular de base e sub-base não trabalhado - inclui misturas solo-agregado e materiais não trabalhados. Nenhum agente de ligação e/ou estabilização é utilizado para o preparo de amostras das camadas de base e sub-base. Estes materiais podem ser classificados como Tipo I ou Tipo II, conforme definido nas seções 3.3 e 3.4 a seguir.
- 3.2. Subleito – Solos de subleito são preparados e compactados antes da aplicação das camadas de base e/ou sub-base, ou seja, constituem a camada inicial do pavimento. Estes materiais podem ser classificados como TIPO 1 ou TIPO 2, conforme definido nas seções 3.3 e 3.4 a seguir.
- 3.3. MATERIAL TIPO I – São classificados como solo de tipo I, os que possuem uma granulometria < 70% passante na peneira # 2,0 mm e < 20% passante na peneira # 0,075 mm. Devem possuir também um índice de plasticidade  $\leq 10\%$ . Para este tipo de classificação, os CP's devem ser moldados com diâmetro de 150mm e altura de 300mm.
- 3.4. MATERIAL TIPO II – São classificados como tipo II, os solos que não atendam as especificações do tipo I.
- 3.5. MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE MATERIAIS NÃO TRABALHADOS – O MR de um material é determinado através do ensaio de compressão triaxial, que consiste na aplicação de uma carga de compressão sobre um material confinado por uma pressão denominada tensão de confinamento. O módulo de resiliência é a relação entre a amplitude da tensão aplicada com a amplitude da deformação resultante recuperável.
- 3.6. CARGA MÁXIMA APLICADA – Carga máxima total aplicada sobre o corpo de prova, em kgf, em cada ciclo.
- 3.7. TENSÃO MÁXIMA APLICADA – É a relação entre a carga máxima aplicada, em Newton, sobre a área de contato (área do topo do CP).
- 3.8.  $\sigma_3$  – É a tensão radial total, ou seja, a pressão confinante no interior da câmara triaxial (tensão principal menor).
- 3.9. DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA – É a relação entre a deformação sofrida pelo CP devido a aplicação de carga em sua extremidade com sua altura inicial.

$$\epsilon = \epsilon/L$$

onde:

$\epsilon$  = deformação específica do material

$\epsilon$  = deformação sofrida pelo CP devido a aplicação da carga

L = altura inicial do corpo de prova.

3.10. DURAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CARGA – É o intervalo de tempo em que a carga é aplicada sobre o CP (geralmente 0,1s).

3.11. DURAÇÃO DO CICLO – É o intervalo de tempo entre as sucessivas aplicações de carga (geralmente entre 0,9s e 3,1s, dependendo do dispositivo de aplicação de carga).

---

#### **4. RESUMO DO MÉTODO**

4.1. Uma tensão axial cíclica de grandeza fixa é aplicada a um CP cilíndrico (aplicação da carga 0,1s e duração do ciclo entre 1,0s e 3,1s). Durante o ensaio, o CP é submetido a uma tensão confinante fornecida por meio de uma câmara de pressão triaxial. A deformação sofrida pelo CP é medida e usada para calcular o MR da amostra de ensaio.

---

#### **5. SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO**

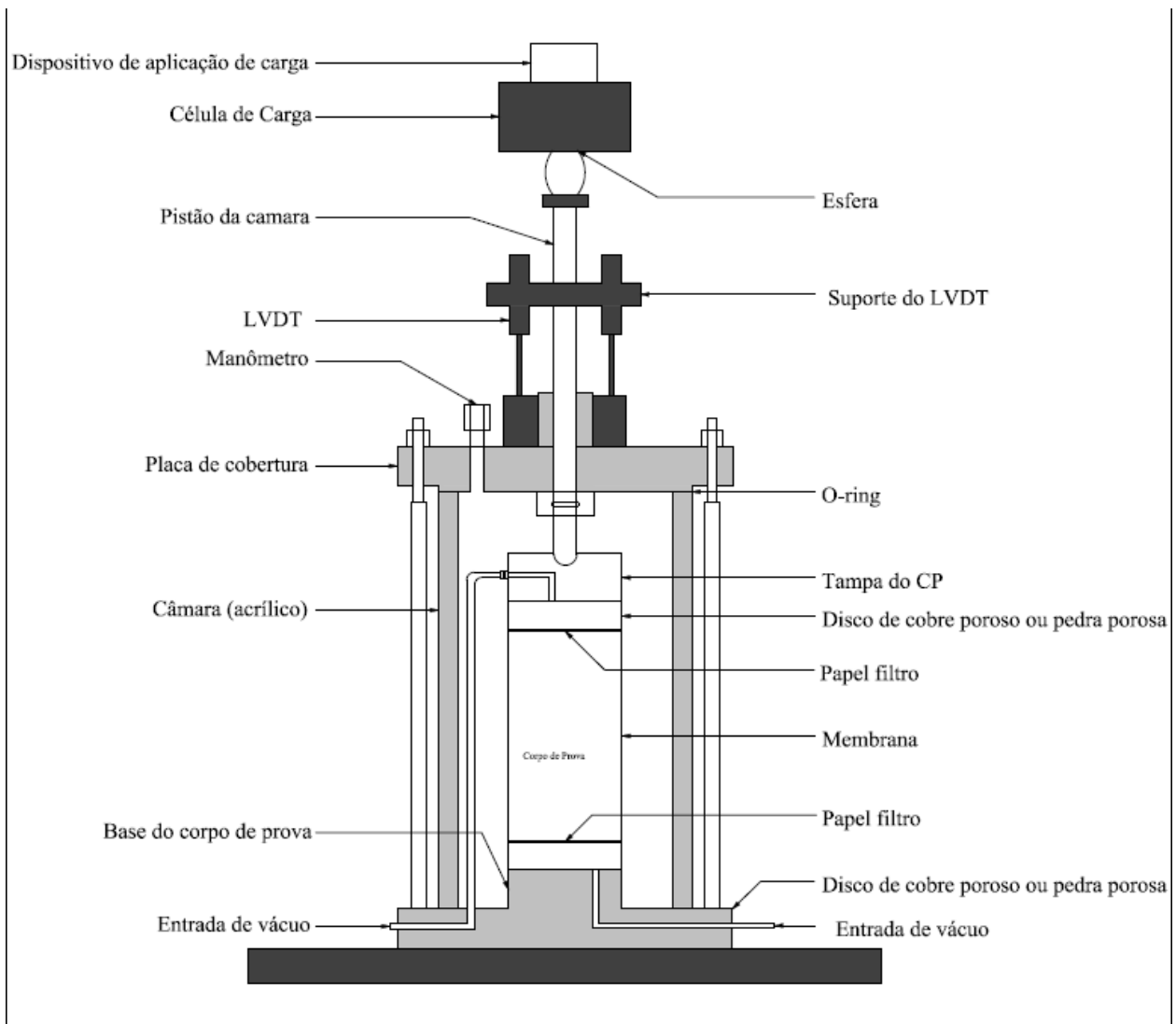
5.1. O ensaio do módulo de resiliência fornece uma relação básica entre a tensão e a deformação dos materiais utilizados em pavimentação para a análise estrutural de pavimentos em camadas.

5.2. O ensaio do módulo de resiliência fornece um valor que é utilizado para caracterizar os materiais de construção do pavimento, incluindo solos do subleito e materiais de base e sub-base, sob uma variedade de condições (umidade, densidade, etc.) e estados de tensões que simulam as movimentações de carga de roda de acordo com a camada do pavimento que está sendo analisada.

---

#### **6. APARELHAGEM**

6.1. CAMARA DE PRESSÃO TRIAXIAL – A câmara de pressão triaxial serve para manter a amostra confinada por uma pressão constante de ar, que é injetada em seu interior. A câmara deve ser feita de policarbonato, acrílico ou outro material transparente, que possibilite a visualização do CP durante o ensaio.



6.2. DISPOSITIVO DE CARREGAMENTO – O dispositivo de carregamento utilizado para aplicação de carga no topo do CP deve ser de circuito fechado, hidráulico ou pneumático, que permita gerar uma função de repetição de ciclos para aplicação da carga. Os dispositivos pneumáticos devem possuir um tempo de aplicação de carga de 0,1s e tempo de alívio entre 0,9s e 3,0s. Os dispositivos hidráulicos devem possuir um tempo de aplicação de carga de 0,1s e tempo de alívio de 0,9s.

### 6.3. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE APLICAÇÃO DE CARGA E DEFORMAÇÃO:

6.3.1. O equipamento utilizado para a medição da carga atuante no topo do CP deve ser uma célula de carga eletrônica localizada entre o atuador e o pistão da câmara. A especificação da célula de carga deve variar de acordo com o diâmetro do CP a ser ensaiado, como descrito na tabela abaixo:

Diâmetro (mm)	Capacidade máxima (kN)	Precisão (N)
71	2,2	± 4,5
100	8	± 10,0
152	22,24	± 22,24

6.4. Os requerimentos acima descritos para capacidade de carga e precisão são aproximadamente linearmente dependentes da área da seção do CP, portanto, CPs que possuam um diâmetro diferente dos especificados tem suas especificações de célula de carga dependentes da mesma relação linear, podendo então as especificações serem calculadas e aproximadas.

**Nota 1** - A célula de carga deve ser inspecionada a cada duas semanas ou após 50 ensaios de MR, para garantir que as cargas aplicadas nos ensaios atendam as especificações do ensaio. Uma alternativa é o acoplamento de outra célula de carga, ou seja, a utilização de duas células de carga entre o atuador e o pistão da câmara, para a checagem dos valores de carga obtidos.

6.4.1. A pressão confinante deve ser monitorada por medidores de pressão, manômetros ou transdutor de pressão com precisão de 0,7 KPa.

6.4.2. DEFORMAÇÃO AXIAL – O sistema de medição para os CP's de qualquer um dos materiais utilizados no ensaio é composto por 2 LVDTs de molas fixados em lados opostos, ao lado do pistão de aplicação de carga e do lado de fora da câmara de pressão triaxial. Esses dois LVDTs devem ser equidistantes ao eixo do pistão, e devem estar bem fixados ao topo da câmara, de modo que não permita o vazamento da pressão de confinamento. A extensão necessária dos LVDTs varia de acordo com o diâmetro do CP ensaiado, conforme descrito na tabela a seguir:

Diâmetro (mm)	Extensão (mm)
71	± 1
100	± 2,5
152	± 6

6.5. Os LVDTs também devem seguir as seguintes especificações mínimas:

- – Linearidade, ±0,25% da escala total;
- – Repetibilidade, ±1% da escala total;
- – Sensitividade mínima, 2mv/V (AC) ou 5mv/v (DC)

6.6. Os requerimentos acima descritos para extensão são aproximadamente linearmente dependentes da área da seção do CP, portanto, CPs que possuam um diâmetro diferente dos especificados tem suas especificações de extensão de LVDT dependentes da mesma relação linear, podendo então as especificações serem calculadas e aproximadas.

6.6.1.1. Os LVDTs devem estar sempre em contato com a superfície do CP para garantir que a deformação seja lida em sua totalidade. Os sinais de cada LVDT devem ser medidos e gravados de forma independente, para que se possa tirar uma média dos resultados para cálculos.

**Nota 2** - Desalinhamento ou sujeira no eixo do transdutor pode causar erros de leitura (ruídos, imprecisão, etc.). O técnico de laboratório deve limpar e analisar cada LVDT antes do ensaio, para garantir que não há nenhuma cola ou poeira que possa vir a causar interferência nos sinais.

6.6.1.2. Os LVDTs devem ser calibrados a cada duas semanas ou a cada 50 ensaios de MR, utilizando um micrometro. O ensaio de MR não deve ser realizado se os LVDTs não atenderem as especificações de tolerância de erro do fabricante.

6.6.2. É necessário um sinal de excitação adequado para os sensores de deslocamento e carga. O sinal deve estar livre de ruídos. Se algum filtro for utilizado, ele precisa ter uma frequência que não interfira o sinal. Um mínimo de 200 dados por LVDT deve ser registrado por ciclo de carga.

6.7. EQUIPAMENTOS DIVERSOS – Inclui paquímetros, micrômetros, membranas de borracha com espessura entre 0,25 e 0,79 mm e O-rings.

---

## 7. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA SOLOS DE SUBLEITO

7.1. O procedimento descrito nesta seção é utilizado para amostras compactadas em laboratório de solos de subleito. Inclui CPs com diâmetro de 150mm e CPs com diâmetro de 70mm para materiais do tipo 2

7.2. MONTAGEM DA CÂMARA TRIAXIAL – Os CPs de amostras de solo de subleito são colocados na câmara de compressão triaxial nas seguintes etapas:

7.2.1. Colocar uma pedra porosa úmida junto a um papel filtro úmido no topo da base da câmara triaxial;

7.2.2. Com cuidado, colocar o CP sobre a pedra porosa. Inserir a membrana em um instrumento de vácuo que expanda a mesma e cuidadosamente introduzir o CP em seu

interior. Remover então o vácuo, para que a membrana abrace o CP e selar na base da câmara triaxial.

7.2.3. Colocar um papel filtro úmido na parte superior do CP contendo uma pedra porosa também úmida, dobrar a membrana e selar no topo.

7.2.4. Se a amostra foi compactada dentro de uma membrana de borracha junto as pedras porosas e papéis filtro, as seções 7.2.2 e 7.2.3 se fazem desnecessárias. O conjunto da amostra pode ser então colocado sobre a base da câmara triaxial.

7.2.5. Conectar a linha de aplicação de vácuo na parte inferior da câmara por meio de uma câmara de bolhas. Aplicar um vácuo de 7 KPa. Se as bolhas estiverem presentes, verificar se existem vazamentos causados por más ligações, buracos na membrana ou selagem mal-feita do CP. A existência de uma boa vedação assegura que a membrana permaneça em contato firme com o CP. Furos encontrados na membrana podem ser eliminados através do revestimento da superfície da membrana com látex de borracha líquido ou através de uma segunda membrana.

7.2.6. Quando o vazamento for eliminado, desligar o fornecimento de vácuo e posicionar a câmara no prato base e fechar a câmara com seu prato superior. Inserir o pistão de aplicação de carga mantendo um contato firme com a célula de carga. Apertar os parafusos da câmara firmemente.

7.2.7. Deslizar a câmara para baixo do dispositivo de carregamento. O perfeito posicionamento da câmara é extremamente importante para eliminar todas as forças laterais no pistão de carga. Acoplar o dispositivo de carregamento ao pistão da câmara triaxial.

7.3. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE MR – As etapas a seguir são necessárias para a realização do ensaio de MR em amostras de solos de subleito que estejam instaladas na câmara triaxial e posicionada sob o dispositivo de aplicação de carga.

7.3.1. Abra todas as válvulas de drenagem para que a amostra fique sob a pressão atmosférica. Isto irá simular uma condição de drenagem. Simulação de condições não drenadas exigem a saturação do CP. Tal procedimento não consta neste método.

7.3.2. Conectar a linha de alimentação de pressão de ar na câmara triaxial e aplicar a pressão de confinamento especificada ( $0,42 \text{ Kgf/cm}^2$ ) para o pré-condicionamento do CP. Uma tensão de  $10\% \pm 0,7 \text{ KPa}$  da máxima tensão axial aplicada em cada sequência deve ser mantida.

Sequência Nº	Pressão de confinamento $\sigma_3$		Tensão desviadora (kfg)	Nº de ciclos
	(lbf/pol <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )		
0	6	0,42	49,7	500 - 1000
1	6	0,42	24,9	100
2	6	0,42	49,7	100
3	6	0,42	74,6	100
4	6	0,42	99,5	100
5	6	0,42	124,2	100
6	4	0,28	24,9	100
7	4	0,28	49,7	100
8	4	0,28	74,6	100
9	4	0,28	99,5	100
10	4	0,28	124,2	100
11	2	0,14	24,9	100
12	2	0,14	49,7	100
13	2	0,14	74,6	100
14	2	0,14	99,5	100
15	2	0,14	124,2	100

**Tabela 1** – Sequência de teste para solos de subleito.

**Nota 3** - As sequencias 14 e 15 não são utilizadas para materiais do tipo 1.

7.3.3. CONDICIONAMENTO – Inicie o ensaio aplicando um mínimo de 500 repetições de carga equivalente a uma tensão máxima de 49,7 kgf/cm<sup>2</sup> com duração como descrito na seção 6.2. Se a altura do CP estiver diminuindo ao final dos 500 ciclos, deve-se aplicar mais 500 repetições de aplicação de carga antes de iniciar o ensaio.

**Nota 4** - Durante o período de condicionamento o técnico de laboratório deve checar as medições feitas pelos dois LVDTs individualmente, com a finalidade de checar se existe algum desalinhamento nos LVDTs ou deformação indevida no CP. As curvas de deformação devem ser analisadas para assegurar que a razão entre as duas deformações se encontra dentro do limite aceitável. A razão entre as deformações verticais  $R_v$  é definida como  $R_v = Y_{máx}/Y_{mín}$ , onde  $Y_{máx}$  é igual a maior deformação dos dois LVDTs e  $Y_{mín}$  é igual a menor deformação dos dois LVDTs. Devem ser feitos todos os esforços para se alcançar um valor de  $R_v$  menor ou igual a 1,10. Valores de  $R_v$  aceitáveis são menores ou iguais a 1,30. Se uma razão inaceitável entre as deformações verticais for obtida, o ensaio deve ser interrompido para uma análise das possíveis causas dessa variação entre as deformações,

como desalinhamento ou mal posicionamento do CP. Se o valor de  $R_v$  encontrado for aceitável, deve-se dar continuidade ao ensaio.

7.3.3.1. A sequência de condicionamento serve para minimizar os efeitos de um contato inicial imperfeito entre o CP e a tampa superior.

7.3.3.2. Se a deformação permanente acumulada atingir 5% da altura do CP durante os ciclos do condicionamento, o processo de condicionamento deve ser interrompido. Para amostras recompactadas, deve ser feita uma revisão no processo de compactação com a finalidade de identificar o motivo do CP não ter alcançado o correto grau de compactação. Se a revisão no processo não gerar nenhuma explicação, a mistura do material deve ser refeita e testada novamente. Se a deformação permanente acumulada atingir 5% da altura do CP novamente, o ensaio deve ser terminado e uma anotação deve ser inserida no relatório.

7.3.4. ENSAIO DO CORPO DE PROVA – O ensaio deve ser executado de acordo com a sequência de carregamentos da tabela 1. Começar diminuindo a tensão desviadora para 24,9 kgf e manter a tensão de confinamento a 0,42 kgf/cm<sup>2</sup> ou 6,0 lbf/pol<sup>2</sup>, como se apresenta na sequência 1 da tabela 1.

7.3.5. Aplicar 100 repetições da correspondente tensão axial com durações como descrito na seção 6.2. Gravar as deformações resilientes (recuperáveis) para cada LVDT separadamente nos últimos 5 ciclos de cada sequência.

7.3.6. Aumentar a tensão desviadora para 49,7 kgf (sequência nº 2) e repetir a seção 7.3.5 com esse novo nível de tensão.

7.3.7. Continuar o ensaio para todas as sequências de combinações de tensões descritas na tabela 1 (Seq. 3 a Seq. 15), gravando sempre as deformações verticais obtidas. Se em algum momento a deformação permanente acumulada do CP exceder 5%, parar o ensaio e repostar o resultado em uma planilha.

7.3.8. Após a conclusão do ensaio de MR, reduzir a pressão de confinamento para 0 e remover a amostra da câmara triaxial.

7.3.9. Remover a membrana do CP e utilizar a amostra inteira para a determinação da umidade.

7.3.10. Desenhar uma curva tensão-deformação em um gráfico

---

## 8. PROCEDIMENTO DE ENSAIO PARA MATERIAIS DE BASE E SUB-BASE



8.1. O procedimento descrito nesta seção é utilizado para todos os materiais granulares de base e sub-base sem nenhum tipo de ligante. Inclui materiais Tipo 1 e Tipo 2.

8.2. MONTAGEM DA CÂMARA TRIAXIAL – Quando a compactação estiver completa, colocar um disco poroso de bronze e o tampão sobre o CP. Enrolar a membrana de borracha no aro do molde e sobre o tampão do CP. Se o tampão da amostra for projetado em cima do aro do molde, a membrana deve ser vedada hermeticamente contra a tampa com um O-Ring. Se esse não for o caso, a vedação pode ser feita posteriormente. Instale o CP na câmara triaxial como descrito nas seções 7.2.1 a 7.2.7.

8.2.1. Conectar a linha de alimentação de pressão da câmara e aplicar uma pressão de confinamento de 1,06 kgf/cm<sup>2</sup>.

8.2.2. Remover o fornecimento de vácuo e abrir as válvulas de drenagem superior e inferior para a pressão atmosférica.

8.3. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE MR – Após o CP ser preparado e colocado sob a dispositivo de aplicação de carga como descrito na seção 7.2.1, os seguintes passos são necessários para a realização do ensaio de MR:

8.3.1. Uma tensão de 10% ± 0,7 KPa da máxima tensão axial aplicada em cada sequência deve ser mantida.

Sequência Nº	Pressão de confinamento $\sigma_3$		Tensão desviadora (kfg)	Nº de ciclos
	(lbf/pol <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )		
0	15	1,03	183	500 - 1000
1	3	0,21	37	100
2	3	0,21	73	100
3	3	0,21	110	100
4	5	0,35	61	100
5	5	0,35	122	100
6	5	0,35	183	100
7	10	0,69	122	100
8	10	0,69	244	100
9	10	0,69	365	100
10	15	1,03	122	100
11	15	1,03	183	100
12	15	1,03	365	100
13	20	1,38	183	100
14	20	1,38	244	100

Sequência Nº	Pressão de confinamento $\sigma_3$		Tensão desviadora (kfg)	Nº de ciclos
	(lbf/pol <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )		
15	20	1,38	487	100

**Tabela 2** – Sequência de teste para materiais granulares de base e sub-base.

8.3.2. **CONDICIONAMENTO** – Inicie o ensaio aplicando um mínimo de 500 repetições de carga equivalente a uma tensão máxima de 183 kgf com duração como descrito na seção 6.2. Se a altura do CP estiver diminuindo ao final dos 500 ciclos, deve-se aplicar mais 500 repetições de aplicação de carga antes de iniciar o ensaio.

**Nota 5** - Durante o período de condicionamento o técnico de laboratório deve checar as medições feitas pelos dois LVDTs individualmente, com a finalidade de checar se existe algum desalinhamento nos LVDTs ou deformação indevida no CP. As curvas de deformação devem ser analisadas para assegurar que a razão entre as duas deformações se encontra dentro do limite aceitável. A razão entre as deformações verticais  $R_v$  é definida como  $R_v = Y_{máx}/Y_{mín}$ , onde  $Y_{máx}$  é igual a maior deformação dos dois LVDTs e  $Y_{mín}$  é igual a menor deformação dos dois LVDTs. Devem ser feitos todos os esforços para se alcançar um valor de  $R_v$  menor ou igual a 1,10. Valores de  $R_v$  aceitáveis são menores ou iguais a 1,30. Se uma razão inaceitável entre as deformações verticais for obtida, o ensaio deve ser interrompido para uma análise das possíveis causas dessa variação entre as deformações, como desalinhamento ou mal posicionamento do CP. Se o valor de  $R_v$  encontrado for aceitável, deve-se dar continuidade ao ensaio.

8.3.2.1. Se a deformação permanente acumulada atingir 5% da altura do CP durante os ciclos do condicionamento, o processo de condicionamento deve ser interrompido. Deverá ser feita uma revisão no processo de compactação com a finalidade de identificar o motivo do CP não ter alcançado o correto grau de compactação. Se a revisão no processo não gerar nenhuma explicação, a mistura do material deve ser refeita e testada novamente. Se a deformação permanente acumulada atingir 5% da altura do CP novamente, o ensaio deve ser terminado e uma anotação deve ser inserida no relatório.

- 8.3.3. ENSAIO DO CORPO DE PROVA – O ensaio deve ser executado de acordo com a sequência de carregamentos da tabela 2. Começar diminuindo a tensão desviadora para 37 kgf e manter a tensão de confinamento a 0,21 kgf/cm<sup>2</sup> ou 3,0 lbf/pol<sup>2</sup>, como se apresenta na sequência 1 da tabela 2.
- 8.3.4. Aplicar 100 repetições da correspondente tensão axial com durações como descrito na seção 6.2. Gravar as deformações resilientes (recuperáveis) para cada LVDT separadamente nos últimos 5 ciclos de cada sequência.
- 8.3.5. Aumentar a tensão desviadora para 73 kgf (sequência nº 2) e repetir a seção 8.3.5 com esse novo nível de tensão.
- 8.3.6. Continuar o ensaio para todas as sequências de combinações de tensões descritas na tabela 2 (Seq. 3 a Seq. 15), gravando sempre as deformações verticais obtidas. Se em algum momento a deformação permanente acumulada do CP exceder 5%, parar o ensaio e repostar o resultado em uma planilha.
- 8.3.7. Após a conclusão do ensaio de MR, reduzir a pressão de confinamento para 0 e remover a amostra da câmara triaxial.
- 8.3.8. Remover a membrana do CP e utilizar a amostra inteira para a determinação da umidade.
- 8.3.9. Desenhar uma curva tensão-deformação em um gráfico

---

## 9. CÁLCULOS

9.1. Para se obter o MR dos solos de subleito e materiais que compõe base e sub-base, utiliza-se as seguintes equações:

$$\epsilon = \frac{\epsilon}{L}$$

Onde:

$\epsilon$  = deformação específica do material

$\epsilon$  = deformação sofrida pelo CP devido a aplicação da carga

L = altura inicial do corpo de prova.

$$T = \frac{\sigma d \times g}{A}$$

Onde:

$\sigma d$  = carga aplicada no topo do CP (kgf)

$g$  = aceleração da gravidade

$A$  = área de aplicação da carga (mm<sup>2</sup>)

$T$  = tensão (MPa)

$$MR = \frac{T}{\varepsilon}$$

Onde:

$MR$  = módulo de resiliência (MPa).

## **T-308 - DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE LIGANTE ASFÁLTICO EM MISTURAS ASFÁLTICAS PELO MÉTODO DA COMBUSTÃO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método de ensaio cobre a determinação da quantidade de ligante asfáltico de misturas asfálticas pelo método da combustão a temperaturas que alcançam o ponto de inflamação do ligante no forno. Os meios do aquecimento do ligante pode ser pelo método de convecção ou pelo método de irradiação infravermelha (IV) direta. O agregado remanescente da combustão pode ser usado para análise em peneiras usando a T 30.

1.2. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.

1.3. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 – Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
- ARTERIS R 47 – Redução de Amostras de Mistura Asfáltica a Quente para Ensaio de Granulometria
- ARTERIS T 2 – Amostragem de Agregados
- ARTERIS T 30 – Análise granulométrica de agregados extraídos
- AASHTO T 248 – Reduzindo Amostras de Agregado para Ensaios
- ARTERIS T 329 – Recuperação Elástica por Torção de Cimentos Asfálticos Modificados (Método Espanhol)
- AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
- AASHTO R 66 – Sampling Asphalt Materials
- AASHTO R 97 – Sampling Asphalt Mixtures

- ASTM C 670 – Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

## 2.2. Outros Documentos:

- Manual de Instruções do Fabricante
- NCHRP Final Report, NCHRP Project No. 9-26, Phase 3

---

## 3. RESUMO DO MÉTODO

3.1. O ligante asfáltico na mistura asfáltica é inflamado usando um forno aplicável ao método em particular. O procedimento cobre dois métodos. O Método A necessita de um forno de combustão com uma balança interna. O Método B necessita de um forno de combustão com uma balança externa.

3.2. A quantidade de ligante asfáltico é calculada como a diferença entre a massa inicial da mistura asfáltica e a massa do agregado residual, com ajustes para um fator de correção do ligante asfáltico e o teor de umidade (quando aplicável). A quantidade de ligante asfáltico é expressa como a porcentagem de massa da mistura livre de umidade. Este método pode ser afetado pelo tipo de agregado na mistura. Adequadamente, para otimizar a precisão, fatores de correção para o ligante asfáltico e o agregado na mistura serão estabelecidos testando uma série de amostras de fatores de correção para cada tipo de mistura asfáltica. Fatores de correção devem ser determinados antes de qualquer teste para aceitação de serviços.

---

## 4. SIGNIFICADO E USO

4.1. Este método pode ser usado para determinações quantitativas de ligante asfáltico e granulometria de misturas asfálticas para fins de controle de qualidade, aprovação de serviços, e estudos de avaliação de misturas. Este método não requer o uso de solventes. Os agregados obtidos por este método podem ser usados para análise granulométrica de acordo com a T 30.

---

## 5. EQUIPAMENTOS

5.1. Forno – Um forno com circulação forçada de ar que aquece as amostras pelo método de convecção ou pela irradiação IV direta. O forno de convecção deve ser capaz de manter a temperatura a  $538 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $1000 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). As dimensões da câmara do forno devem ser adequadas para acomodar uma amostra de até 3500 g. A porta do forno deve ser equipada com algum dispositivo que garanta que a porta não seja aberta durante o ensaio de combustão. O forno deve ser ventilado

por um telhado ou para o lado de fora e, quando instalado adequadamente, não deve deixar escapar odores notáveis dentro do laboratório. O forno deve ter uma ventoinha capaz de empurrar o ar pelo forno para acelerar o ensaio e reduzir o escape de fumaça para o laboratório.

5.1.1. Para o método A, o forno também deve ter uma balança interna isolada termicamente da câmara do forno e com precisão de 0,1 g. A balança deve ser capaz de pesar uma amostra de 3500 g em adição ao cesto da amostra. O sistema de aquisição de dados deve ser incluído para que a massa possa ser determinada e exibida automaticamente durante o ensaio. O forno deve ter um programa de computador embutido para calcular a mudança de massa do cesto e amostra e permitir a inclusão de um fator de correção para a perda de agregado. O forno deve fornecer um bilhete impresso com a massa inicial da amostra, a perda de massa, o fator de compensação pela temperatura, o fator de correção, a quantidade de ligante asfáltico corrigida (em porcentagem), o tempo do ensaio, e a temperatura do ensaio. O forno deve ter um alarme sonoro e indicador de luz quando a perda de massa da amostra não exceder 0,01 por cento da massa total da amostra por 3 min consecutivos. O forno também deve permitir o operador mudar a porcentagem de perda de massa final para 0,02 por cento.

5.2. Conjunto de Cesto de Amostra – Composto pelo cesto de amostra(s), base com dispositivo para pinça pegadora e uma tampa protetora do cesto de amostra.

5.2.1. Cesto de Amostra – De tamanho apropriado para permitir que as amostras sejam espalhadas levemente, e que possibilite o fluxo de ar através das partículas da amostra. Configuradas com dois ou mais cestos para ser acoplados. A amostra deve ser completamente coberta com uma malha de tela, placa de aço inox perfurado ou outro material adequado

**Nota 1** – Malhas de tela ou outro material aceitável com aberturas máximas e mínimas de 2.36 mm (Nº. 8) e 0,600 mm (Nº. 30), respectivamente, performam adequadamente.

5.2.2. Base com dispositivo para pinça pegadora – De tamanho suficiente para segurar o(s) cesto(s) da amostra e para reter as partículas de agregado e ligante asfáltico derretido que podem cair pela tela.

5.3. Estufa - Capaz de manter a temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

5.4. Balança – De capacidade suficiente e conforme os requisitos da ET 231, Classe G 2 (Legibilidade e Sensibilidade – 0,1 g; Precisão – 0,2g ou 0,1 por cento).

5.5. Equipamento de Segurança – Óculos de segurança ou escudo de face, máscara para poeira, luvas para altas temperaturas, jaqueta de manga comprida, uma superfície resistente ao calor capaz de resistir a 650°C (1202°F), e uma caixa protetora capaz de isolar o cesto da amostra durante o período de resfriamento.

5.6. Equipamentos Diversos – Uma bandeja maior do que o cesto da amostra para transferência da amostra depois da combustão, espátulas, bandejas e escovas de aço.

---

## 6. AMOSTRAGEM

6.1. Obter amostras de misturas asfálticas frescas de acordo com a R 97.

6.2. A amostra deve ser o resultado final da redução de uma amostra maior de acordo com a R 97.

6.3. Se a mistura não estiver suficientemente maleável para ser separada com uma espátula, coloque-a em uma bandeja grande, de fundo plano, e na estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) até que fique trabalhável. Não deixe a amostra na estufa por um período extenso. Aquecimento excessivo pode causar efeitos prejudiciais como escoamento do ligante asfáltico ou oxidação.

6.4. O tamanho da amostra de ensaio deve ser determinado pelo tamanho máximo nominal do agregado da mistura asfáltica e conforme os requisitos de massa exibidos na Tabela 1. Quando a massa da amostra exceder a capacidade do equipamento usado, a amostra pode ser dividida em incrementos adequados, ensaiada, e os resultados apropriadamente combinados para o cálculo da quantidade de ligante asfáltico (usando média ponderada). Tamanhos de amostra não devem ser 500 g mais pesadas do que a massa mínima recomendada de amostras.

**Nota 2** – Amostras grandes de misturas de agregado fino tendem a resultar em combustão incompleta do ligante asfáltico.

**Tabela 1** – Requisitos de massa

Tamanho Máximo Nominal do Agregado * (mm)	Peneira	Peso Mínimo da amostra (g)
4,8	Nº4	1200
9,5	3/8"	1200
12,5	1/2"	1500
16,0	5/8"	1800
19,0	3/4"	2000
25,0	1"	3000
37,5	1 1/2"	4000



\* O tamanho máximo nominal dos agregados é definido como a peneira imediatamente superior à primeira peneira que retém mais de 10% de massa do material

---

## **MÉTODO DE ENSAIO A – BALANÇA INTERNA**

### **7. PROCEDIMENTO DE ENSAIO**

#### 7.1. Início do Ensaio:

7.1.1. Para o forno de convecção, pré-aqueça o forno a  $538 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $1000 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) ou para a temperatura determinada pelo processo de correção de fator no Anexo. Manualmente registre a temperatura do forno (ponto configurado) antes de iniciar o ensaio se o forno não registrar automaticamente.

7.1.2. Para o forno de irradiação IV direta, use o mesmo perfil de combustão usado durante a determinação do fator de correção.

7.2. Use a T 329 para secagem da amostra em estufa até a constância de massa ou determine o teor de umidade de uma parcela da amostra que seria descartada após o procedimento de redução.

7.3. Coloque no forno, ou registre automaticamente, o fator de correção da mistura asfáltica para a mistura específica a ser ensaiada, como determinada no Anexo.

7.4. Determine e registre a massa do conjunto do cesto da amostra com aproximação de 0,1 g.

7.5. Prepare a amostra com descrito na Seção 6. Coloque o cesto(s) da amostra na base com dispositivo de pinça. Uniformemente distribua a amostra no(s) cesto(s), tomando cuidado para manter o material longe das bordas do cesto. Use a espátula para nivelar a amostra.

7.6. Determine e registre a massa total da amostra e do conjunto do cesto da amostra a temperatura ambiente com aproximação de 0,1 g. Calcule e registre a massa inicial da amostra,  $M_i$  (massa total menos a massa do conjunto de cesto da amostra).

7.7. Insira o valor da massa inicial da amostra,  $M_i$ , em gramas inteiras, no sistema de controle do forno. Verifique se a massa correta foi inserida.

7.8. Resete a balança interna para zero.

7.9. Abra a porta da câmara e coloque o conjunto de cesto da amostra no forno, cuidadosamente posicionando o conjunto para que não entre em contato com as paredes do forno. Feche a porta da câmara e verifique se a massa da amostra (incluindo o conjunto) mostrado na escala do forno é igual à massa total registrada na Seção 7.6 com variação de até  $\pm 5$  g. Diferenças maiores do que 5 g ou

falha na escala do forno para estabilizar pode indicar que o conjunto de cesto da amostra está em contato com a parede do forno.

**Nota 3** – Durante o calor extremo do forno, o operador deve usar equipamento de segurança – luvas de altas temperaturas, escudo de face, casaco retardante de fogo de oficina – quando for abrir a porta do forno para colocar ou tirar a amostra.

7.10. Inicie o ensaio pressionando o botão start/stop. Essa operação irá trancar a câmara e começar a combustão.

**Nota 4** – A temperatura do forno irá cair abaixo do ponto configurado quando a porta for aberta, mas irá recuperar quando a porta for fechada e a combustão ocorrer. A combustão da amostra geralmente aumenta a temperatura acima do ponto configurado, dependendo do tamanho da amostra e da quantidade de ligante asfáltico.

7.11. Permita o ensaio continuar até que a luz indicadora e alarme sonoro indiquem que o ensaio está completo. Pressione o botão star/stop. Essa operação irá destrancar a câmara da amostra e imprimirá os resultados da amostra.

**Nota 5** – Quando o agregado exibir uma quantidade excessiva de perda durante o ensaio de combustão, o critério de parada pode ser alterado para uma variação de 0,02 por cento na massa por 3 minutos. Os tópicos de precisão e a tendência foram estabelecidos usando 0,01 por cento. A precisão e a exatidão podem ser afetadas usando 0,02 por cento.

7.12. Abra a porta da câmara, e remova o conjunto de cesto da amostra, e coloque em uma placa ou bloco esfriante. Coloque a caixa protetora sobre o conjunto de cesto da amostra, e permita-o resfriar a temperatura ambiente (aprox. 30 min).

7.13. Determine e registre a massa total da amostra e do conjunto depois da combustão com aproximação de 0,1 g. Calcule e registre a massa final da amostra,  $M_f$  (massa total menos a massa do conjunto de cesto da amostra).

7.14. Use a quantidade corrigida de ligante asfáltico (em porcentagem) do bilhete impresso. Se este valor não for correto, subtraia o fator de correção do ligante asfáltico. Se o teor de umidade foi determinado usando a T 329, subtraia a porcentagem de umidade da quantidade de ligante asfáltico do bilhete impresso, e registre o valor resultante como a quantidade de ligante asfáltico corrigida ( $P_b$ ).

**Nota 6** – A quantidade de ligante asfáltico (em porcentagem) também pode ser calculada usando a Equação 1 do Método B (Seção 8.16).

---

## **MÉTODO DE ENSAIO B – BALANÇA EXTERNA**

### **8. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO**

- 8.1. Pré-aqueça o forno a  $538 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $1000 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) ou para a temperatura determinada pelo processo de correção de fator no Anexo.
- 8.2. Use a T 329 para secagem da amostra em estufa até a constância de massa ou determine o teor de umidade de uma parcela da amostra que seria descartada após o procedimento de redução.
- 8.3. Registre o fator de correção da mistura asfáltica para a mistura específica a ser ensaiada, como determinada no Anexo.
- 8.4. Determine e registre a massa do conjunto do cesto da amostra com aproximação de 0,1 g.
- 8.5. Prepare a amostra com descrito na Seção 6. Coloque o cesto(s) da amostra na base com dispositivo de pinça. Uniformemente distribua a amostra no(s) cesto(s), tomando cuidado para manter o material longe das bordas do cesto. Use a espátula para nivelar a amostra.
- 8.6. Determine e registre a massa total da amostra e do conjunto do cesto da amostra a temperatura ambiente com aproximação de 0,1 g. Calcule e registre a massa inicial da amostra,  $M_i$  (massa total menos a massa do conjunto de cesto da amostra).
- 8.7. Abra a porta da câmara e coloque o conjunto de cesto da amostra no forno. Queime a amostra de mistura asfáltica no forno por pelo menos 45 min.

**Nota 7** – O tempo apropriado para a queima inicial de uma amostra de mistura asfáltica depende do tamanho da amostra. Para amostras grandes, o tempo pode ser significativamente mais logo do que 45 min. Veja o Manual de Instruções do Fabricante para guias.

- 8.8. Abra a porta da câmara, e remova o conjunto de cesto da amostra, e coloque em uma placa ou bloco esfriante. Coloque a caixa protetora sobre o conjunto de cesto da amostra, e permita-o resfriar a temperatura ambiente (aprox. 30 min).
- 8.9. Determine e registre a massa total da amostra e do conjunto do cesto da amostra depois de esfriar com aproximação de 0,1 g.
- 8.10. Coloque a amostra e conjunto de cesto da amostra de volta no forno.

8.11. Queime a amostra por no mínimo 15 min depois do forno atingir a temperatura do ponto configurado.

8.12. Abra a porta da câmara, e remova o conjunto de cesto da amostra, e coloque em uma placa ou bloco esfriante. Coloque a caixa protetora sobre o conjunto de cesto da amostra, e permita-o resfriar a temperatura ambiente (aprox. 30 min).

8.13. Pese e registre a massa total da amostra e do conjunto de cesto da amostra depois de esfriar com aproximação de 0,1 g.

8.14. Repita as Seções 8.10 até 8.13 até que a mudança da massa da amostra após a combustão não exceda 0,01 por cento da massa inicial da amostra,  $M_i$ .

**Nota 8** - Quando o agregado exibir uma quantidade excessiva de perda durante o ensaio de combustão, o critério de parada pode ser alterado para uma variação de 0,02 por cento na massa por 3 minutos. Os tópicos de precisão e a tendência foram estabelecidos usando 0,01 por cento. A precisão e a exatidão podem ser afetadas usando 0,02 por cento.

8.15. Calcule e registre a massa final da amostra,  $M$  (massa total menos a massa do conjunto de cesto da amostra).

8.16. Calcule a quantidade de ligante asfáltico da amostra como descrito abaixo:

$$P_b, \% = \left[ \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \right] - C_f - MC \quad (1)$$

onde:

$P_b$  = A quantidade (corrigida) de ligante asfáltico, porcentagem;

$M_i$  = A massa total da amostra da mistura asfáltica antes da combustão, g;

$M_f$  = A massa total do agregado remanescente depois da combustão, g;

$C_f$  = O fator de correção, porcentagem pela massa da amostra de mistura asfáltica; e

$MC$  = O teor de umidade da amostra de mistura asfáltica associada, porcentagem, como determinada na T 329. (Se a amostra foi seca na estufa antes de iniciar o procedimento,  $MC = 0$ .)

---

## 9. GRANULOMETRIA

9.1. Permita os conteúdos dos cestos de amostra a esfriar a temperatura ambiente antes de fazer a análise granulométrica. Esvazie os conteúdos dos cestos em um recipiente, sendo cuidadoso para captura todo o material. Use um pincel de arame pequeno para assegurar que todos os resíduos finos foram removidos dos cestos e da base com dispositivo para pinça.

9.2. Faça a análise granulométrica de acordo com a T-30.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. O relatório deve incluir o seguinte:

10.1.1. Método de ensaio (A ou B);

10.1.2. A quantidade de ligante asfáltico corrigida;

10.1.3. Fator de correção;

10.1.4. Fator de compensação de temperatura (se aplicável);

10.1.5. Massa da amostra;

10.1.6. Teor de umidade (se determinado, pela T 329); e

10.1.7. Temperatura do ensaio.

**Nota 9** – Se o método A for usado, grampeie o bilhete impresso original ao relatório.

---

## 11. PRECISÃO E TENDÊNCIA

11.1. Precisão – Critério para julgamento para aprovação de resultados da combustão de ligante asfáltico obtidos pelos Métodos A ou Método B são dados na Tabela 2.

11.1.1. Precisão para Operador Único – As figuras na Coluna 2 da Tabela 2 são os desvios-padrão para que foram vistos apropriados para as condições de ensaio descritas na Coluna 1. Dois resultados obtidos no mesmo laboratório, pelo mesmo operador usando o mesmo equipamento, no menor período de tempo prático, não deve ser considerado suspeito a não ser que a diferença em dois resultados dados na Tabela 2, Coluna 3.

11.1.2. Precisão para Múltiplos Laboratórios – As figuras na Coluna 2 da Tabela 2 são os desvios padrão que foram vistos apropriados para as condições de ensaio descritas na Coluna 1. Dois resultados obtidos no mesmo laboratório, pelo mesmo operador usando o mesmo equipamento, no menor período de tempo prático, não deve ser considerado suspeito a não ser que a diferença em dois resultados dados na Tabela 2, Coluna 3.

**Tabela 2 – Estimativas de Precisão**

Condição	Desvio Padrão (1s) <sup>a</sup>	Intervalo Aceitável de Dois Resultados de Ensaio (d2s) <sup>a</sup>
	Precisão de operador único	
Porcentagem de Ligante Asfáltico (%)	0,069	0,196
	Precisão Multilaboratório	
Porcentagem de Ligante Asfáltico (%)	0,117	0,330

<sup>a</sup> Tamanho Máximo Nominal do Agregado – um tamanho maior do que a primeira peneira para reter mais do que 10 por cento.

**Nota 10** – As estimativas de precisão dadas na Tabela 2 são baseadas na análise de resultados de ensaio de três pares de AMRL amostras de proficiência. Os dados analisados consistem em resultados de 353 a 461 laboratórios para cada um dos três pares de amostras. A análise incluiu dois tipos de ligante: PG 53-34 e PG 64-22. A média dos resultados da quantidade de ligante asfáltico foram entre 4,049 e 5,098 por cento. Os detalhes destas análises estão em NCHRP Final Report, NCHRP Projeto No. 9-26, Fase 3.

**Nota 11** – As estimativas de precisão são baseadas em quatro tipos de agregado, quatro replicados, e doze laboratório participando com nenhum resultado de laboratório deletado como observações fora dos limites. Todos os quatro agregados foram testados em misturas de superfície e tiveram valores de absorção relativamente baixos.

11.2. Tendência – Qualquer tendência relacionada ao processo de combustão para o Método A e Método B, quando ensaiando para quantidade de ligante asfáltico e granulometria de agregados, são contabilizados para determinação e aplicação dos fatores de correção apropriados.

---

## **12. PALAVRAS-CHAVE**

12.1. Agregado; ligante asfáltico; quantidade de ligante asfáltico; mistura asfáltica; convecção; fator de correção; irradiação direta de infravermelho; balança externa; granulometria; combustão; forno de combustão; balança interna.

---

## **ANEXO A – FATORES DE CORREÇÃO**

(Informação Obrigatória)

---

## **13. LIGANTE ASFÁLTICO E AGREGADO**

13.1. O resultado da quantidade de ligante asfáltico pode ser afetado pelo tipo de agregado na mistura e pelo forno de combustão. Portanto, fatores de correção devem ser estabelecidos através da realização de testes em uma série de amostras para cada projeto de dosagem. Fatores de correção devem ser determinados antes de qualquer ensaio para fins de aceitação de serviços, e devem ser repetidos toda vez que ocorra uma mudança de ingredientes na mistura. Qualquer mudança superior à 7,5 por cento nas proporções individuais de agregado inseridas na usina em relação ao estabelecido em projeto de dosagem devem ter um novo fator de correção (considerar porcentagem individual, e não acumulada). Dados históricos ou estudos científicos podem ser usados para determinar o(s) fator(es) de correção em vez de usar esse procedimento de ensaio se a contratante prover os estudos/dados.

13.2. Fator de Correção para Ligante Asfáltico – Certos tipos de agregado podem resultar em fatores de correção altos (maiores que 1,0 por cento). Essas misturas devem ser corrigidas e ensaiadas em temperatura menor, como descrito abaixo. Cada forno de combustão deve ter seu próprio fator de correção de ligante asfáltico no local onde o ensaio será realizado.

13.3. Fator de Correção para Agregado – Devido à potencial quebra do agregado durante o processo de combustão, um fator de correção para o agregado será determinado para cada forno de combustão no local onde o ensaio será realizado quando as seguintes condições ocorrerem: agregados que tem um histórico de quebra excessiva ou agregados de fontes desconhecidas.

---

#### **14. PROCEDIMENTO DO FATOR DE CORREÇÃO**

14.1. Obter amostras de agregado de acordo com a R-90. Reduzir as amostras para ensaio granulométrico como necessário de acordo com a R-76.

14.2. Obter amostra de ligante asfáltico de acordo com a R-66.

**Nota A1** – Incluir outros aditivos pode ser necessário pelo projeto de mistura.

14.3. Prepare uma mistura inicial, ou “mistura suja tacho” de acordo com o teor de ligante asfáltico definido em projeto. Misture e descarte a mistura suja tacho antes de preparar quaisquer amostras para correção para assegurar uma precisão da quantidade de ligante asfáltico.

14.4. Prepare duas amostras para fator de correção para quantidade de ligante asfáltico e granulometria de acordo com os dados do projeto de mistura. Os agregados usados para montagem das amostras para fator de correção devem ser o mesmo material designado para uso em produção.

Uma amostra adicional “seca” (somente agregado) deve ser preparada de acordo com dados do projeto de mistura. Determine a granulometria da amostra seca de acordo com a T-30.

14.5. Coloque as amostras misturadas frescas diretamente no conjunto de cesto da amostra. Não pré-aqueça o conjunto de cesto da amostra.

14.6. Ensaie as amostras de acordo com o procedimento do Método A ou Método B.

14.7. Uma vez que as duas amostras para correção passaram pela combustão, determine a quantidade do ligante asfáltico para cada amostra por cálculo ou pelos bilhetes impressos pelo forno, se disponíveis.

14.8. Se a diferença entre as quantidades de ligante asfáltico das duas amostras exceder 0,15 por cento, repita a Seção A2.3 até a A2.7 com mais duas amostras e dos quatro resultados, descarte o resultado mais alto e o mais baixo. Determine o fator de correção dos dois originais ou dois resultados que sobraram adequadamente. Calcule a diferença entre a porcentagem de ligante asfáltico adicionado na amostra e a quantidade de ligante asfáltico obtido após combustão. O fator de correção do ligante asfáltico, FC, é a média das diferenças expressas como a porcentagem da massa da mistura asfáltica.

14.8.1. Se o fator de correção do ligante asfáltico exceder 1,0 por cento, a temperatura de ensaio deve ser reduzida para  $482 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $900 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) para o forno de convecção. Se não for obtida melhora no fator de correção, é permitido usar a temperatura mais alta.

**Nota A2** – A temperatura para determinar a quantidade ligante asfáltico das amostras de misturas asfálticas por este procedimento deve ser a mesma temperatura determinada para a amostras para correção.

14.8.2. Para fornos de irradiação IV direta, o perfil de combustão Padrão deve ser usado para a maioria dos materiais. O operador pode selecionar o perfil de combustão Opção 1 ou Opção 2 para otimizar o ciclo de combustão. A Opção 1 é designada para agregado que necessita de um fator de correção de ligante asfáltico maior (maior do que 1 por cento) – geralmente agregado bem suave/macio (como dolomitas). A opção 2 é designada para amostras que não foram completamente queimadas usando o perfil de combustão Padrão. O perfil de combustão para ensaio de amostras de misturas asfálticas deve ser o mesmo perfil de combustão selecionado para amostras de correção.



14.9. Faça a análise granulométrico do agregado residual de acordo com a T-30. Os resultados serão utilizados para desenvolvimento de fator de correção de agregado e deve ser calculado e registrado com aproximação de 0,1 por cento.

14.9.1. Do resultado da análise granulométrica, subtraia a porcentagem passante por cada peneira (para cada amostra) da porcentagem passante em cada peneira considerando o resultado da análise granulométrica da amostra “seca” da Seção A2.4.

14.9.2. Determine a diferença média para os dois valores. Se a diferença para qualquer peneira sozinha exceder a diferença permitida para aquela peneira como listado na Tabela A2.1, então o fator de correção da análise granulométrica do agregado (igual ao resultante das diferenças médias) para todas as peneiras deve ser aplicada para todo resultado de ensaio granulométrico determinado pela T-30, antes do arredondamento final e relatório. Se a peneira de 0,075mm (N°. 200) é a única peneira fora dos limites da Tabela A2.1, aplique o fator de correção de agregado para esta peneira somente.

**Tabela A2.1 – Diferença de Peneiração Permitida**

Peneira	Diferença Aceitável
Tamanhos maiores ou iguais a 2,36 mm (N° 8) Peneiras maiores	± 5,0 por cento
Tamanhos maiores do que 0,075 mm (N° 200) e menores do que 2,36 mm (N° 8)	± 3,0 por cento
Tamanhos 0,075 mm (N° 200) e menores	± 0,5 por cento

## **T-312 - PREPARAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE AMOSTRAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE PELO COMPACTADOR GIRATÓRIO SUPERPAVE**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. Este método abrange a compactação de corpos de prova cilíndricos de misturas asfálticas a quente (MAQ) usando o compactador giratório Superpave.

1.2. Esta norma pode envolver materiais, operações e equipamentos prejudiciais à saúde. Esta norma não tem o propósito de resolver todos os problemas de segurança associados à sua utilização. É responsabilidade do usuário do método estabelecer práticas adequadas de segurança e saúde e determinar a aplicabilidade das limitações regulamentares antes do uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

#### 2.1. Normas

- ARTERIS M-231, Balanças usadas em Ensaios de Materiais
- ARTERIS R-30, Condicionamento de concreto asfáltico usinado a quente (MAQ)
- ARTERIS R-35, Projeto volumétrico Superpave para concreto asfáltico usinado a quente (MAQ)
- ARTERIS T-166, Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas usando amostras saturadas – superfície seca
- AASHTO T-168, Coleta de amostras de Misturas betuminosas para pavimentação
- ARTERIS T-209, Massa específica teórica máxima e densidade de misturas asfálticas para pavimentação
- ARTERIS T-275, Massa específica aparente de misturas asfálticas compactadas usando corpos de prova parafinados
- AASHTO T-316, Determinação da viscosidade do ligante usando Viscosímetro Rotacional.
- AASHTO TP-71, Avaliação do Angulo Interno de Giro do Compactador Giratório do Superpave (SGC) usando a carga simulada.

#### 2.2. Outra norma

- ASME B46.1, Surface Texture, Surface Roughness, Waviness and Lay

---

### 3. 3. SIGNIFICADO E USO

3.1. Este método é usado para preparar amostras para determinar as propriedades mecânicas e volumétricas do MAQ. Os corpos de prova obtidos simulam a densidade, a orientação dos agregados e características estruturais obtidas efetivamente na pista, quando um processo adequado de construção é utilizado para o espalhamento da massa.

3.2. Este método pode ser usado para monitorar a densidade dos corpos de prova durante a sua preparação. Ele também pode ser usado para controle de um processo de produção do MAQ.

---

### 4. EQUIPAMENTOS

4.1. Compactador Giratório Superpave – um compactador eletro hidráulico ou eletromecânico com um cabeçote no fundo e topo conforme descrito na seção 4. 3. O eixo do cabeçote deve ser perpendicular à placa do compactador. O cabeçote deve aplicar e manter uma pressão de  $600 \pm 18$  kPa perpendicular ao eixo cilíndrico da amostra durante a compactação (Nota 1). O compactador deve inclinar os moldes com os corpos de prova em um ângulo  $20,2 \pm 0,35$  mrad ( $1.16 \pm 0,02^\circ$ ), determinado de acordo com TP 71. O compactador deve girar os moldes com corpo de prova a uma taxa de  $30,0 \pm 0,5$  giros por minuto durante todo o processo de compactação.

**Nota 1** – Esta tensão é calculada em  $10,600 \pm 310$  N de carga total para amostras de 150 mm.

4.1.1. Medição da altura das amostras e dispositivo de gravação – quando a densidade da amostra vai ser monitorada durante a compactação, um meio é assegurado para medir e registrar a altura da amostra com precisão de 0,1 mm a cada giro durante a compactação.

4.1.2. O sistema pode incluir uma impressora conectada capaz de imprimir informações do ensaio, tais como altura da amostra por giro. Em adição a uma impressora, o sistema pode incluir um computador e um software adequado para a aquisição de dados e relatórios.

4.2. Moldes dos corpos de prova – os moldes devem ter paredes de aço com, no mínimo, 7,5 mm de espessura e dureza Rockwell, no mínimo, C48. O acabamento do interior dos moldes deve ter raiz quadrada média (rms) de  $1,60 \mu\text{m}$  ou melhor quando medido de acordo com a ASME B 46.1 (Nota 2). Os moldes devem ter diâmetro interno de 149,90 a 150,00 mm e, no mínimo, altura de 250 mm à temperatura ambiente.

**Nota 2** –Um dos fornecedores do comparador de superfície, que é usado para verificar o valor rms de 1,60  $\mu\text{m}$ , é a GAR Electroforming, Danbury, Connecticut.

4.3. Cabeçotes do topo e molde de fundo – Os cabeçotes de topo e o molde de fundo devem ser fabricados em aço com dureza Rockwell mínima C48. O cabeçote deve ficar perpendicular ao seu eixo. A lateral do molde de fundo deve ser plana e paralela à sua face. Todos os cabeçotes e placa da base (os lados virados para o corpo de prova) devem ser planos para atender ao desempenho exigido na secção 4.2 e devem ter um diâmetro de 149.50 a 149.75 mm.

4.4. Termômetros – Os termômetros devem ser blindados, de vidro ou digital com haste de metal para determinar a temperatura de agregados, ligante e MAQ entre 10 e 232°C.

4.5. Balança - Uma balança que satisfaça os requisitos da M 231, classe G5, para determinar a massa de agregados, ligante e MAQ.

4.6. Estufa – Uma estufa com temperatura, regulável de  $\pm 3^\circ\text{C}$  para aquecimento de agregados, ligante, MAQ e equipamentos necessários. O forno deve ser capaz de manter a temperatura necessária para o condicionamento da mistura de acordo com R-30.

4.7. Diversos - Painéis de metal de fundo plano para aquecimento de agregados, colher para mistura de agregados, recipientes (grelha–tipo de latas, copos, recipientes para aquecimento de asfalto) espátula pequena, espátula grande, par de luvas para manuseio de utensílios quentes, discos de papel, misturador mecânico (opcional), lubrificantes recomendados pelo fabricante compactador.

4.8. Manutenção - Além da manutenção de rotina recomendada pelo fabricante, verifique o desgaste dos componentes mecânicos do compactador Superpave, e realize o reparo, tal como recomendado pelo fabricante.

---

## 5. RISCOS

5.1. Utilize precaução de segurança padronizada e vestuário de proteção no manuseio de materiais quentes e na preparação dos corpos de prova.

---

## 6. PADRONIZAÇÃO

6.1. Itens que requerem verificação periódica da calibração incluem o cabeçote de pressão, o ângulo de giro, frequência de giro, LVDT (ou qualquer outro meio utilizado para registrar continuamente a altura do corpo de prova), e temperatura da estufa. São necessárias a verificação das dimensões do molde e rolo e desempenho do interior. Quando o computador e as opções de software são utilizados, verifique periodicamente o sistema de processamento de dados usando um

procedimento projetado para esta finalidade. A verificação da calibração, a padronização do sistema e controle de qualidade podem ser realizados pelo fabricante, outras agências que prestam esses serviços, ou internamente. A frequência de verificação deve seguir as recomendações do fabricante.

6.2. O ângulo de giro refere-se ao ângulo interno (inclinação do molde em relação à superfície da placa giratória dentro do molde). A calibração do ângulo de giro interno deve ser verificada de acordo com a TP 71.

---

## **7. PREPARAÇÃO DOS APARELHOS**

7.1. Imediatamente antes do momento da colocação da Massa de MAQ no molde, ligue o sistema de aquecimento do compactador conforme o tempo especificado pelo fabricante.

7.2. Verifique se as configurações da máquina para o ângulo, pressão e número de giros estão corretas.

7.3. Lubrifique qualquer superfície de rolamento conforme necessário pelas instruções do fabricante.

7.4. Quando a altura do corpo de prova vai ser monitorada, um item adicional de preparação é necessário. Imediatamente antes da colocação da massa de MAQ no molde, ligue o aparelho para medir e registrar a altura da amostra, e verificar se as unidades de leituras são apropriadas, mm, e se o dispositivo de gravação está ligado. Prepare o computador, se utilizado, para registrar os dados de altura, e digite as informações de identificação da amostra.

---

## **8. PREPARAÇÃO DA MISTURA DE MAQ**

8.1. Pesar as frações de cada agregado usado na mistura em recipientes separados, e os misture de acordo com o projeto desejado. O peso da amostra varia de acordo com a finalidade dos corpos de prova. Se a finalidade é obter teor de vazios, para análise do desempenho de Misturas Superpave, o peso será ajustado para obter uma determinada densidade num volume conhecido. Se as amostras devem ser utilizadas para determinação de propriedades volumétricas, o peso do lote será ajustado para obter um corpo de prova de dimensões de 150 mm de diâmetro e  $115 \pm 5$  milímetros de altura para o número de giros desejado.

**Nota 3** - Pode ser necessário produzir um corpo de prova experimental para ajustar a altura. Em geral, 4500 a 4700g de material são necessários para atingir essa altura com a mistura seca de agregados que possuem massa específica aparente (SSS) entre 2,55 e 2,70.

8.2. Coloque um recipiente com a mistura de agregados e ligante na estufa, e aqueça-os à temperatura desejada.

8.2.1. A faixa de temperatura de mistura é definida como o intervalo de temperaturas onde o ligante, não envelhecido, apresenta viscosidade de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s, quando medida de acordo com T-316.

**Nota 4** - Asfaltos modificados podem não se enquadrar nas faixas de viscosidades descritas, e as recomendações do fabricante devem ser usadas para determinar as temperaturas de mistura e compactação.

8.3. Carregue a unidade de mistura com o agregado aquecido e o misture completamente a seco. Abra uma cratera no meio da mistura a seco, e coloque a quantidade necessária de ligante. Iniciar imediatamente a mistura.

8.4. Misture os agregados e ligante rápida e completamente até obter uma massa de MAQ uniforme. Como opção, um misturador mecânico pode ser usado.

8.5. Após finalizar a mistura, fazer o condicionamento da massa conforme R30.

8.6. Coloque o molde de compactação e placa da base na estufa, à temperatura especificada para compactação por, no mínimo, 30 minutos antes do início estimado do processo (durante este tempo, a mistura está sendo condicionada, em conformidade com o R 30).

8.7. Após o período de condicionamento da mistura, especificado no R30, se a mistura está na temperatura de compactação, iniciar o processo imediatamente, conforme descrito na secção 9. Se a temperatura de compactação for diferente da temperatura de condicionamento adotada em conformidade com o R30, coloque a mistura em outra estufa à temperatura de compactação por um breve período (máximo de 30 minutos) para atingir a temperatura desejada.

8.7.1. A temperatura de compactação é a média do intervalo, onde o ligante, não envelhecido, tem viscosidade de  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s quando medida de acordo com a T 316 (Nota 4).

8.8. Se a massa de MAQ usada for produzida em uma usina, a amostra deve ser obtida de acordo com T-168. A mistura será aquecida em uma estufa, cuidadosamente, até atingir temperatura de compactação, imediatamente antes da moldagem. A temperatura da massa deve apresentar uma temperatura uniforme em toda a amostra.

---

## 9. PROCEDIMENTO DE COMPACTAÇÃO

- 9.1. Quando a temperatura de compactação da massa for alcançada, remover o molde, a placa base, e a placa superior (se necessária) da estufa. Coloque a base e um disco de papel na parte inferior do molde.
- 9.2. Coloque a mistura dentro do molde de uma só vez. Devem ser tomados cuidados para evitar a segregação da massa dentro do molde. Após a colocação da mistura no molde, nivele e coloque outro disco de papel (se necessário) sobre o material nivelado.
- 9.3. Coloque o molde dentro do compactador e centralize o cabeçote de carga.
- 9.4. Aplicar a pressão de  $600 \pm 18\text{kPa}$  no corpo de prova.
- 9.5. Aplique um ângulo interno médio de  $20,2 \pm 0,35\text{mrad}$  ( $1,16 \pm 0,02^\circ$ ), ao dispositivo do molde, e comece a compactação giratória.
- 9.6. Prosseguir a compactação até que o número desejado de giros especificado no R 35 seja atingido e o mecanismo giratório pare.
- 9.7. Remover o ângulo do conjunto do molde, remova a pressão do cabeçote e recolha o cabeçote de carga na ordem especificada pelo fabricante (as etapas anteriores podem ser feitas automaticamente pelo compactador em alguns modelos). Retirar o molde do compactador (se necessário), e extrair o corpo de prova do molde.

**Nota 5** – Nenhum giro adicional com o ângulo removido é necessário, a menos que expressamente solicitado em algum outro método, com referência ao T 312. A amostra extraída pode não ser um cilindro com ângulo reto. Corpos de prova para serem considerados finalizados podem precisar ser serrados para satisfazer aos requisitos de ensaios de desempenho específicos.

**Nota 6** - Os corpos de prova podem ser extraídos do molde imediatamente após a compactação para a maioria das MAQ. No entanto, um período de resfriamento, de 5 a 10 minutos em frente a um ventilador pode ser necessário antes de extrair alguns exemplares, para garantir que não sejam danificados.

- 9.8. Remova os discos de papel da parte superior e inferior dos corpos de prova.

**Nota 7** - Antes de utilizar novamente o molde, coloque-o na estufa por, pelo menos, cinco minutos. O uso de moldes múltiplos irá acelerar o processo de compactação.

---

## 10. PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR A DENSIDADE

10.1. Determinar a massa específica máxima ( $G_{mm}$ ) da mistura solta em conformidade com a T 209 utilizando uma amostra similar. A amostra similar deve ser condicionada da mesma forma que a amostra de compactação.

10.2. Determinar a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) do corpo de prova em conformidade com o T-166 e T-275, conforme apropriado.

10.3. Quando a altura da amostra for monitorada, registre a altura, com aproximação de 0,1 milímetros, após cada giro.

---

## 11. CÁLCULOS DA DENSIDADE

11.1. Calcule a densidade relativa, não corrigida ( $\%G_{mmux}$ ), em qualquer ponto no processo de compactação utilizando a seguinte equação:

$$\%G_{mmux} = \frac{W_m}{V_{mx}G_{mm}G_m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$\%G_{mmux}$  = densidade relativa, não corrigida, em qualquer ponto durante a compactação expressa como uma porcentagem da massa específica teórica máxima;

$W_m$  = massa da amostra em g;

$G_{mm}$  = massa específica teórica máxima da mistura;

$G_m$  = peso unitário da água, 1g/cm<sup>3</sup>;

$x$  = número de giros, e

$V_{mx}$  = volume da amostra, em cm<sup>3</sup>, em qualquer ponto, é baseado no diâmetro ( $d$ ) e altura ( $h_x$ ) do corpo de prova, neste ponto, (use "mm" para medidas da altura e diâmetro).

Ele pode ser expressa como:

$$V_{mx} = \frac{\pi d^2 h_x}{4000} \quad (2)$$

**Nota 8** - Esta fórmula fornece o volume em cm<sup>3</sup> para permitir uma comparação direta com a massa específica.



11.2. Após a conclusão da massa específica aparente ( $G_{mb}$ ), determinar a densidade relativa ( $\%G_{mmx}$ ), em qualquer ponto do processo de compactação, do seguinte modo:

$$\%G_{mmx} = \frac{G_{mb} h_m}{G_{mm} h_x} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$\%G_{mmx}$  = densidade relativa corrigida, expressa como uma porcentagem da massa específica máxima teórica;

$G_{mb}$  = Massa específica aparente da amostra extraída;

$h_m$  = altura da amostra extraída em milímetros; e

$h_x$  = altura do corpo de prova em milímetros após  $x$  giros.

---

## 12. RELATÓRIO

12.1. Coloque as seguintes informações, no relatório de compactação, se aplicável:

12.1.1. Nome do projeto

12.1.2. Data do ensaio;

12.1.3. Hora de início do ensaio;

12.1.4. Identificação de amostras;

12.1.5. Porcentagem de ligante na amostra, com aproximação de 0,1 por cento;

12.1.6. Diâmetro médio do molde utilizado ( $d$ ), com aproximação de 1,0 milímetro;

12.1.7. Massa da amostra ( $W_m$ ), com aproximação de 0,1 g;

12.1.8. Massa específica máxima ( $G_{mm}$ ) da amostra pela T 209, com aproximação de 0.001;

12.1.9. Massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra pela T 166 e T 275, com aproximação de 0,001;

12.1.10. Altura da amostra após cada giro ( $h_x$ ), com aproximação de 0,1 mm;

12.1.11. Densidade Relativa ( $\%G_{mm}$ ) expressa como uma porcentagem da massa específica máxima teórica ( $G_{mm}$ ) com aproximação de 0,1 por cento, e

12.1.12. Ângulo de giro, com aproximação de 0,2mrad (0,01°), e o método utilizado para determinar ou verificar o ângulo de giro.

---

### 13. PRECISÃO E VARIÁVEIS

13.1. Precisão:

13.2. Precisão para um único operador - O desvio padrão (limites 1s) para um único operador para a densidade relativa de  $N_{ini}$  e  $N_{proj}$  para misturas contendo agregados com taxa de absorção inferior a 1,5 por cento são apresentados na Tabela 1. Os resultados de dois testes realizados corretamente sobre a mesma amostra pelo mesmo operador, utilizando o mesmo equipamento, devem ser considerados suspeitos se diferirem por mais do que os limites d2S indicados na Tabela 1.

13.3. Precisão Multilaboratórios - O desvio padrão (limites 1s) para multilaboratórios para densidade relativa de  $N_{ini}$  e  $N_{proj}$  para as misturas contendo agregados com taxa de absorção inferior a 1,5 por cento estão apresentados na Tabela 1. Os resultados de dois testes realizados corretamente sobre o mesmo material por diferentes operadores, utilizando equipamentos diferentes, devem ser considerados suspeitos se diferirem por mais do que os limites d2S apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Estimativas de Precisão<sup>a</sup>

---

	Densidade Relativa (%) limite 1s	Densidade Relativa (%) limite d2s
Precisão para um único operador		
agreg. diam. Nominal max. 12,5mm	0,3	0,9
agreg. diam. Nominal max. 19,0mm	0,5	1,4
Precisão para múltiplos laboratórios		
agreg. diam. Nominal max. 12,5mm	0,6	1,7
agreg. diam. Nominal max. 19,0mm	0,6	1,7

---

<sup>a</sup>Baseado em um estudo descrito na itelaboratary NCHRP Research Report 9 -26 envolvendo corpos de prova de 150 - mm de diâmetro com 4 a 5 por cento de vazios de ar, 26 laboratórios, dois materiais (uma mistura de 12,5 - mm e uma mistura de 19,0 - mm), e três amostras replicadas, as amostras foram preparadas de acordo com T 312-04. O ângulo de rotação foi verificada através do método A, ângulo externo.

13.4. Variáveis - Nenhuma informação pode ser apresentada no procedimento de variáveis, porque nenhum material com um valor de referência aceitável está disponível.

---

### 14. PALAVRAS CHAVES

14.1. Compactação, densidade, giratório.

## **T-329 - RECUPERAÇÃO ELÁSTICA POR TORÇÃO DE CIMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS**

---

### **1. OBJETO E CAMPO DE APLICAÇÃO**

1.1. Este método descreve o procedimento que se deve seguir para determinar o grau de elasticidade que apresentam os cimentos asfálticos modificados, em particular, com polímeros, para aplicação na construção de rodovias.

1.2. Em circunstâncias climáticas especiais, topográficas ou de tráfego, se podem utilizar produtos, geralmente polímeros, que adicionados ao cimento asfáltico modificam alguma ou várias de suas características, com o objetivo de melhorá-lo funcionalmente.

1.3. A incorporação ao ligante de alguns tipos de polímeros proporciona ao mesmo uma elasticidade maior que tem normalmente.

1.4. No procedimento a seguir, um cilindro de dimensões especificadas é imerso numa amostra do cimento asfáltico modificado. Mediante um dispositivo de torção, o cilindro é girado a 180° e se determina, depois de 30 minutos, o ângulo recuperado pelo cilindro.

---

### **2. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS NECESSÁRIOS**

2.1. Equipamento de torção – Para colocar um esforço de torção à amostra, com as dimensões e forma da figura, constituído de um cilindro metálico, um semicírculo com escala graduada de 0 a 180°, banho de água e recipiente para a amostra (Figura 1).

2.2. Termômetro – Para controlar a temperatura do banho, escala em 0,1°C e escala de 19 a 27°C (por exemplo, o termômetro ASTM 17C, utilizado na norma NLT-124).

2.3. Cronômetro – Para medir os tempos de 30 minutos  $\pm$  1 segundo.

2.4. Material de uso geral no laboratório – Estufas, cápsulas, varetas de vidro, espátulas, dissolventes, etc.

---

### **3. PROCEDIMENTOS**

3.1. Devem ser adotadas medidas e precauções para que a porção a ser ensaiada seja representativa da amostra total, a qual deverá apresentar um aspecto homogêneo e não deverá estar contaminada.

3.2. Uma quantidade suficiente da amostra total deverá ser aquecida com cuidado e com agitação contínua até conseguir uma consistência que permita o seu escoamento.

3.3. O cilindro do equipamento de torção deve ser ajustado de forma que sua base inferior fique a uma distância de 20 mm do fundo do recipiente para o ensaio, numa posição central, ajustado no ressalto que existe no recipiente do fundo do banho.

3.4. Transfere-se, por escoamento, a amostra para o recipiente de ensaio numa quantidade que o encha até a marca gravada no cilindro de torção, a 10 mm de sua base inferior.

3.5. Deixa-se esfriar o conjunto recipiente-amostra à temperatura ambiente, durante uma hora, no mínimo. A seguir se circula água pelo banho termostático a uma temperatura de  $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , durante, no mínimo, 90 minutos, para equilibrar a temperatura do banho e a da amostra. O nível de água do banho deverá estar sempre acima do recipiente de ensaio com a amostra.

3.6. Transcorridos os 90 minutos antes referidos, se introduz o passador no furo existente no cilindro de torção e se gira o mesmo a  $180^{\circ}$ , no sentido dos ponteiros do relógio, num tempo entre 3 e 5 segundos. Imediatamente retira-se o passador e depois de  $30 \text{ min} \pm 15\text{s}$ , se procede a leitura indicada pela vareta sobre o semicírculo graduado. A leitura no final do ensaio é o valor do ângulo recuperado.

---

#### **4. RESULTADOS**

4.1. O resultado de ensaio é expresso com recuperação elástica por torção, na porcentagem do ângulo recuperado em relação ao inicial, de  $180^{\circ}$ .

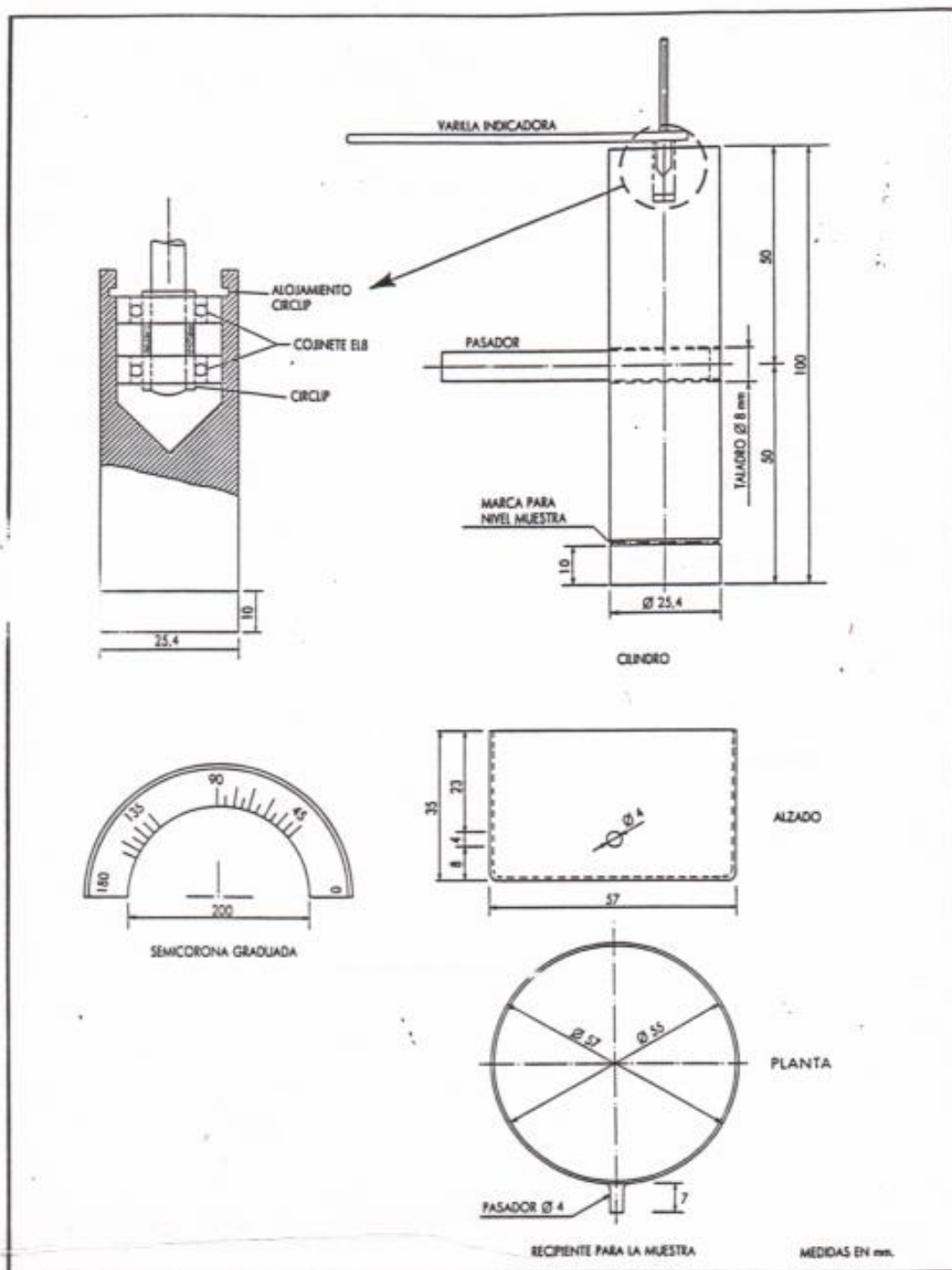


FIGURA 1. Cilindro, semicorona graduada y recipiente para la muestra.

## **T-330 - DETECÇÃO QUALITATIVA DE ARGILAS PREJUDICIAIS DO GRUPO ESMECTITA EM AGREGADOS UTILIZANDO AZUL DE METILENO**

---

### **1. ESCOPO**

1.1. O propósito desta especificação é identificar a presença de argilas prejudiciais do grupo esmectita (material de baixa qualidade menor do que 75  $\mu\text{m}$ ) e fornecer uma indicação da atividade superficial do agregado.

1.2. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

2.1. Normas:

- ARTERIS ET 231 - Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais

---

### **3. SUMÁRIO DO MÉTODO DE ENSAIO**

3.1. A Solução de Azul de Metileno é titulada em água destilada contendo amostra de material passante da peneira 75 $\mu\text{m}$  (Nº 200), em incrementos. Uma pequena quantidade de água contendo a amostra do material e Azul de Metileno Titulado é removida através de uma pipeta de vidro e depositada em um papel filtro. Quando o agregado não pode mais absorver Azul de Metileno, um anel azul se forma no papel filtro.

---

### **4. SIGNIFICADO E USO**

4.1. O valor de Azul de Metileno determinado por esta norma pode ser usado para estimar a quantidade de argilas prejudiciais e matéria orgânica em um agregado. Um valor alto de Azul de Metileno indica uma quantidade grande de argila ou material orgânico presente na amostra.

---

### **5. EQUIPAMENTOS**

- 5.1. Bureta de cor âmbar de pelo menos 50 ml de capacidade com escala de 0,1 ml.
- 5.2. Misturador magnético com barra de agitação.
- 5.3. Balança de acordo com a M 231, Classe G1 (Legibilidade e Sensibilidade – 0,01 g; Precisão – 0,02 g ou 0,1 por cento).

- 5.4. Pipeta de vidro de aproximadamente 250 mm (10 pol.) de comprimento e aproximadamente 8 mm (0,3 pol.) de diâmetro.
- 5.5. Timer ou cronômetro.
- 5.6. Bandeja e peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200).
- 5.7. Frasco volumétrico de 1000 ml de capacidade.
- 5.8. Filtro de papel Whatman Nº 2.
- 5.9. Três beakers de 500 ml.
- 5.10. Azul de Metileno, com o teor de reagente datado e armazenado para não mais do que quatro meses em uma garrafa marrom envolta em papel alumínio, dentro de um armário escuro na temperatura de laboratório.

**Nota 1** – Uma grama de Azul de metileno é dissolvido em água destilada o suficiente para produzir uma solução de 200 ml, com cada 1 ml da solução contendo 5 mg de Azul de Metileno.

- 5.11. Água destilada a temperatura de laboratório.
- 5.12. Estufa capaz de manter a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

**Nota 2** – Para o propósito deste procedimento, a temperatura de laboratório é definida como 15 a  $25^\circ\text{C}$  (60 a  $77^\circ\text{F}$ ).

---

## 6. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

6.1. Este ensaio deve ser realizado em uma amostra de material passante pela peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200), tomado da porção lavada de uma amostra representativa de um material individual ou combinado (como necessário). O material deve ser lavado pela peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200) e coletado em um recipiente limpo. Este recipiente deve ser grande o suficiente para receber vários litros de água e material passante pela peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200). Permita o material a assentar e remova o excesso de água. A porção passante pela peneira de 75  $\mu\text{m}$  (Nº 200) é coletada, transferida para um recipiente menor, e seca para ensaio. O material coletado é misturado completamente antes de ser ensaiado. A massa mínima seca em estufa de material coletado deve ser no mínimo 30 g para assegurar material suficiente para um possível reensaio.

**Nota 3** – A lavagem do material pode ser dispensada caso o laboratório de controle possua dados históricos satisfatórios para o material em análise. De qualquer forma, a realização da lavagem é

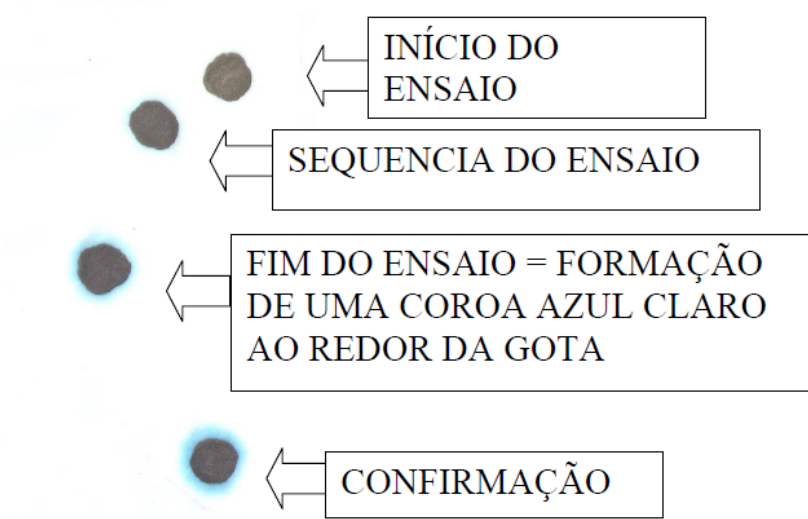
indispensável no caso de homologação de materiais, bem como se o material que será avaliado já apresentou histórico anterior de reprovação.

---

## 7. PROCEDIMENTO

- 7.1. Coloque 10,0 g ( $\pm$  0,05 g) de material passante na peneira de 75  $\mu$ m (N<sup>o</sup> 200), que foi secado até a constância de massa, em um Becker de 500 ml.
- 7.2. Adicione 30 ml de água destilada e mexa com o misturador para fazer uma pasta.
- 7.3. Com a pasta ainda em agitação, encha a bureta com a solução de Azul de Metileno, adicione 0,5 ml da solução à pasta, e misture por 1 min.
- 7.4. Remova uma gota da pasta, usando a pipeta de vidro, e coloque no filtro de papel.
- 7.5. Observe a aparência da gota no filtro de papel. O ponto final é indicado pela formação de uma aréola azul clara ao redor da gota. Continue adicionando a solução de Azul de Metileno à pasta em incrementos de 0,5 ml misturando por 1 min depois de cada, então ensaiando, até que o ponto final seja alcançado.
- 7.6. Depois que o ponto final for alcançado, continue misturando por 5 min e reensaie.

**Nota 4** – Com experiência, a pessoa realizando este ensaio pode chegar ao ponto final mais rapidamente pulando os incrementos iniciais. De qualquer forma, se faz necessário agitar a amostra por 1 minuto para cada 0,5 ml de solução adicionada à pasta.



---

## 8. CÁLCULO

- 8.1. Exemplo:



$$M = CV/W \quad (1)$$

onde:

M = Valor de Azul de Metileno em *mg* da solução por *g* do material menor do que 75 µm (Nº 200);

C = mg de Azul de Metileno/ml de solução;

V = ml da solução de Azul de Metileno necessária para titulação; e

W = gramas de material seco.

8.2. O cálculo pode ser simplificado pela inserção de mg de Azul de metileno pelos ml de solução e os gramas de material seco.

$$M = (5 \times V)/10 \quad (2)$$

$$M = 0,5V \quad (3)$$

---

## 9. RELATÓRIO

9.1. O relatório deve incluir o seguinte:

9.1.1. Tipo e fonte do material ensaiado, e

9.1.2. Valor de Azul de Metileno com arredondamento para 0,1 mg/g.

---

## 10. PRECISÃO E TENDÊNCIA

10.1. Precisão – Nenhuma precisão foi estabelecida para este ensaio.

10.2. Tendência – Nenhuma tendência pode ser estabelecida porque nenhum material de referência está disponível para este ensaio.

---

## 11. PALAVRAS-CHAVE

11.1. Argila e material orgânico; agregado fino; Azul de Metileno; sensibilidade à umidade.

---

## 12. REFERÊNCIAS

- 12.1. Aschenbrener, T. "Comparison of Colorado Component Hot Mix Asphalt Materials with Some Europeans Specifications." In Research Report CDOT-DTD-R-92-14. Colorado Department of Transportation, Denver, CO, December 1992, p. 65.
- 12.2. Aschenbrener, T. and R. Zamora. "Evaluation of Specialized Tests for Aggregates Used in Hot Mix Asphalt Pavements in Colorado." In Transportation Research Record 1486. Transportation Research Board Business Office, Washington, DC, January 1995, pp. 130-136.
- 12.3. Aschenbrener, T., R. Terrel, and R. Zamora. "Comparison of the Hamburg Wheel Tracking Device and the Environmental Conditioning System to Pavements of Known Stripping Performance." In Research Report CDOT-DTD-R-94-1. Colorado Department of Transportation, Denver, CO, January 1994, p. 110.

## **T-331 - Massa Específica Aparente e Densidade de Misturas Asfálticas Compactadas, usando Selagem Automática a Vácuo**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método cobre a determinação da massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) de amostras de misturas asfálticas compactadas.
- 1.2. Este método deve ser usado com amostras que contenham vazios abertos ou interconectados e/ou absorvam mais do que 2,0 por cento de água por volume, como determinado pela T-166. A contratante pode especificar este método como uma alternativa para o T-275.
- 1.3. A massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) de misturas asfálticas compactadas pode ser usada no cálculo de massa unitária da mistura.
- 1.4. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.
- 1.5. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

- 2.1. Normas:
  - ARTERIS ET 231 - Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
  - ARTERIS T 166 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca
  - ARTERIS T 275 - Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Compactadas Usando Corpos de Prova Parafinados
  - ARTERIS T 312 – Preparação e Determinação Da Densidade De Amostras de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Através do Compactador Giratório Superpave
  - AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
  - AASHTO R 79 – Vacuum Drying Compacted Asphalt Specimens
  - AASHTO T 245 – Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus

- ASTM E1 – Standard Specification for ASMT Liquid-in-Glass Thermometers

## 2.2. Outros documentos:

- FHWA-IF-02-044, NCAT Report No. 02-11, Bulk Specific Gravity Round Robin Using the CoreLok™ Vacuum Sealing Device

---

## 3. TERMINOLOGIA

### 3.1. Definições:

3.1.1. Massa específica aparente (de sólidos) ( $G_{mb}$ ) – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de um material permeável (incluindo vazios normais permeáveis ou impermeáveis) em uma dada temperatura para uma massa ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

Massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) a  $x/y^{\circ}C$

onde:

$x$  = temperatura do material, e

$y$  = temperatura da água.

3.1.2. Constância de Massa – deve ser definida como a massa a qual secagens futuras não alterem a massa por mais de 0,05 por cento quando pesada durante intervalos de 2 h.

---

## 4. AMOSTRAS DE ENSAIO

- 4.1. As amostras devem ser compactadas em laboratório ou extraídas de pavimentos asfálticos.
- 4.2. Tamanho das Amostras – As amostras devem estar de acordo com a T 166.
- 4.3. Cuidado deve ser tomado para evitar distorção, empenamento da amostra, ou rachaduras durante e depois da remoção do pavimento ou molde. Amostras devem ser armazenadas em local frio e seguro.
- 4.4. Amostras devem ser livres de materiais estranhos como camada selante, pintura de ligação ou imprimação, material de fundação, solo, papel e alumínio.

4.5. Se desejado, amostras podem ser separadas de outras camadas de pavimento por serragem ou outros meios adequados. Cuidado deve ser exercido para assegurar que a serragem não cause danos às amostras.

---

## 5. EQUIPAMENTOS

5.1. Cortador de saco plástico – Uma faca, tesoura ou outros tipos de dispositivos cortantes podem ser usados para abrir rapidamente os sacos plásticos.

5.2. Estufa – A estufa deve ser capaz de manter a temperatura apropriada para secagem de amostras até a constância de massa.

5.3. Dispositivo de pesagem – O dispositivo de pesagem deve ter capacidade o suficiente, ter escala de 0,1 por cento da massa da amostra ou melhor, e conforme os requisitos da ET 231. O dispositivo de pesagem deve ser equipado com um sistema adequado para suspender e segurar o corpo de prova para permitir que seja mantido suspenso no centro do prato da balança.

5.4. Sacos de Plástico – Os dois tamanhos de sacos mais usados são designados como tamanho grande e pequeno. Os sacos pequenos devem ter uma abertura mínima de 235 mm (9,25 pol.) e uma abertura máxima de 260 mm (10,25 pol.) com a massa menor do que 35 g. Os sacos grandes devem ter uma abertura mínima de 375 mm (14,75 pol.) e uma abertura máxima de 394 mm (15,5 pol.) com a massa de 35g ou mais. Os sacos pequenos devem ser feitos de um material plástico que não irá aderir ao filme asfáltico e deve ser resistente a furos, capaz de suportar temperaturas na amostra de mais de 70°C (158°F), impermeável a água, e ser estanque para que o ar não escape do saco. Os sacos plásticos devem ter uma espessura mínima de 0,100 mm (0,004 pol.) e uma espessura máxima 0,152 mm (0,006 pol.). O fabricante deve fornecer a massa específica aparente dos sacos.

5.5. Equipamento de Suspensão – O arame suspendendo o recipiente deve ser do menor tamanho e espessura possível para minimizar quaisquer possíveis efeitos de variação no comprimento de imersão. O equipamento de suspensão deve ser construído para permitir o recipiente a ser imerso em uma profundidade suficiente para cobri-lo e cobrir a amostra de ensaio durante a pesagem. Cuidado deve ser exercido para assegurar que nenhuma bolha de ar presa exista embaixo da amostra.

5.6. Termômetro – ASTM 17C (17F) como fornecido na ASTM E1, tendo intervalo de 19 a 27°C (66 a 80°F), graduado e conforme a ASTM E1. Um dispositivo de medição de temperatura eletrônico, como um termômetro de resistência ou termopar, pode ser usado.

5.7. Câmara de Vácuo – A bomba deve ser capaz de gerar vácuo na câmara fechada e selada a 5 mmHg em 60 s ao nível do mar. A câmara deve ser grande o suficiente para selar as amostras de 150 x 350 x 150 mm (6 x 14 x 6 pol.). Uma barra de selagem de comprimento suficiente para selar completamente sacos pequenos e grandes deve ser localizada dentro da câmara. O calor deve ser configurado de acordo com as recomendações do fabricante. O dispositivo deve automaticamente selar os sacos plásticos e remover o ar para dentro da câmara de maneira controlada para assegurar a conformidade dos sacos plásticos à amostra. O escape de ar e tempo da operação de vácuo devem ser calibrados para trazer a câmara a pressão atmosférica em 80 a 210 s depois da finalização da operação de vácuo. O sistema de vácuo deve ter uma tranca para controlar a abertura da porta da câmara.

5.8. Medidor de Vácuo (padronizado) – O medidor de vácuo padronizado deve ser capaz de ser colocado dentro do dispositivo automático de selagem para verificar a performance do vácuo e integridade da selagem. O medidor de vácuo deve ter um intervalo mínimo de 10 a 0 mmHg (10 a 0 torr) e deve ter escala em incrementos de 1 mmHg (1 torr), no mínimo.

5.9. Banho-Maria – Para a imersão da amostra em água enquanto suspensa embaixo do dispositivo de pesagem, equipado com uma saída para excesso para manter um constante nível de água, e termicamente controlado para manter o banho a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^\circ\text{F}$ ). Pode ser equipado com um aquecedor e circulador. O circulador não deve estar em uso enquanto registrando as massas das amostras. É importante que o banho-maria seja de tamanho suficiente para assegurar espaço suficiente para a suspensão da amostra e saco plásticos. Um banho-maria com dimensões sugeridas mínimas (comprimento por largura por profundidade) de 610 x 460 x 460 (24 x 18 x 18 pol.) ou um recipiente cilíndrico grande foi observado com bom funcionamento para este método (Veja a Nota 1).

**Nota 1** – Se um suporte amortecedor é usado dentro do banho maria, este não deve ter bordas afiadas. Suportes amortecedores com bordas afiadas foram vistos furando os sacos plásticos. Um pregador pode ser adicionado para manter o saco submerso e afastado das bordas do recipiente. Um recipiente ao nível dos olhos pode ajudar a prevenir rasgos nos sacos e facilitar o seu uso.

---

## 6. PROCEDIMENTO

6.1. Massa Inicial da Amostra ao ar - Seque a amostra para a constância de massa a uma temperatura de  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $125 \pm 5^\circ\text{F}$ ), ou seque a vácuo a amostra de acordo com a R 79. Amostras saturadas com água devem inicialmente ser secas por uma noite toda e então pesadas em intervalos

de 2 h de secagem. Amostras recentemente compactadas em laboratório que não foram expostas à umidade não requerem secagem. Esfrie a amostra a temperatura ambiente a  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e registre a massa inicial seca como A.

**Nota 2** – massa específica aparente determinada por este método pode ser inferior e os vazios de ar superiores aos resultados obtidos pelo T-166. As diferenças podem ser mais pronunciadas em misturas grossas e absorventes. Os usuários deste método devem ser advertidos ao avaliar qualquer alteração no teor ótimo de asfalto ou na graduação dos agregados em projetos de misturas com um histórico de desempenho positivo. Se este procedimento for usado para controle ou garantia da qualidade, os usuários devem ser alertados para seguir este procedimento durante o projeto de mistura de laboratório.

**Nota 3** – Amostras moldadas em laboratório, de 3000 a 6000g, podem ser consideradas em equilíbrio com a temperatura ambiente depois de 2 h de resfriamento debaixo de um ventilador. O tempo de resfriamento pode ser reduzido para amostras menores, ou se for verificado que não há diferença significativa de propriedades em relação às amostras com temperatura ambiente e em equilíbrio.

**Nota 4** – Algumas etapas podem ser realizadas em conjunto com a T-166.

6.2. Selando a Amostra – Selecione um saco de tamanho apropriado para a amostra. Amostras de 100 mm (4 pol.) e 150 mm (6 pol.) em diâmetro e com mais de 50 mm (2 pol.) de espessura são geralmente ensaiadas com um saco pequeno. Amostras de 150 mm (6 pol.) em diâmetro por 50 mm (2 pol.) ou mais de espessura são geralmente ensaiadas com um saco grande.

6.2.1. Configure a temperatura da barra de selagem a quente de acordo com as recomendações do fabricante.

6.2.2. Inspeccione o saco para furos ou irregularidades então registre a massa do saco. Registre esta massa com B. Coloque o saco dentro da câmara de vácuo em cima da placa deslizante.

6.2.3. Insira a amostra no saco com o lado plano mais liso da amostra por baixo. Esta operação pode ser feita dentro da câmara enquanto segurando o saco aberta com uma mão sobre a placa deslizante e gentilmente inserindo a amostra com a outra mão. Deve-se ter próximo de 25 mm (1 pol.) de folga entre a borda do saco pré-selada e a amostra.

6.2.4. Se necessário, as placas de preenchimento devem ser adicionadas ou removidas antes da inserção da amostra. Pegue de cada lado a borda não selada do saco, e gentilmente

puxe e centralize-a sobre a barra de selagem, sobrepondo o saco pelo menos em 25 mm (1 pol.).

6.2.5. Assegure que não haja rugas no saco ao redor da barra de selagem antes de fechar a porta.

6.2.6. Feche a porta e engate a tranca na porta. A bomba de vácuo irá acender uma luz “vermelha”, o medidor de vácuo no exterior da câmara irá ativar ou uma leitura digital irá exibir o estado de vácuo. É normal que o saco expanda durante este processo.

6.2.7. Uma vez selada, a válvula “de-vac” irá abrir, e ar irá entrar na câmara, fazendo a pressão atmosférica murchar o saco em volta da amostra.

6.2.8. Desengate a tranca e cuidadosamente remova a amostra selada da câmara. Gentilmente puxe o saco das áreas que aparentemente estão soltas. Áreas soltas indicam um selamento ruim e o processo deve ser reiniciado na Seção 6.1 com um novo saco e uma nova massa inicial.

6.3. Massa da Amostra Selada em Água – Pese rapidamente a amostra selada em um banho-maria a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^\circ\text{F}$ ). Mergulhe completamente a amostra para assegurar que não haja bolhas de ar presas embaixo da amostra. Assegure que o saco esteja completamente embaixo d’água e que não esteja tocando as bordas do banho-maria. Registre esta massa como E

**Nota 5** – O tempo entre a abertura da porta depois da selagem e a inserção da amostra no banho-maria não deve exceder 1 min para reduzir potenciais vazamentos no saco.

6.4. Verificação – Para assegurar uma selagem firme no saco, remova a amostra da água, e corte o saco. Remova a amostra, e determine a massa. Registre a massa como C. Compare esta massa com a massa inicial seca determinada na Seção 6.1 como A. Se mais de 0,08 por cento for perdido ou houver ganho de mais de 0,04 por cento, reinicie o processo na Seção 6.1.

---

## 7. CÁLCULO

7.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra como descrito a seguir. Arredonde com três casas decimais e registre o valor.

$$G_{mb} = \frac{A}{\left[ C + B - E - \left( \frac{B}{F} \right) \right]} \quad (1)$$



onde:

$A$  = massa da amostra seca ao ar, g;

$B$  = massa do saco, g;

$C$  = massa final da amostra depois da remoção do saco selado, g;

$E$  = massa da amostra selada embaixo d'água, g; e

$F$  = massa específica aparente do material plástico de selagem a 25°C (77°F), fornecido pelo fabricante.

7.2. Calcule a densidade da amostra como a seguir. Arredonde e reporte o valor com arredondamento para 1 kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>).

$$\tilde{n} = G_{mb} (\tilde{a}) \quad (2)$$

onde:

$G_{mb}$  = massa específica aparente da amostra;

$\tilde{n}$  = densidade da amostra, kg/m<sup>3</sup> ou lb/ft<sup>3</sup> (pcf); e

$\tilde{a}$  = densidade da água a 25°C (77°F), (997,1 kg/m<sup>3</sup>, 0,9971 g/cm<sup>3</sup>, ou 62,245 lb/ft<sup>3</sup>, pcf).

---

## 8. VERIFICAÇÃO

8.1. Verificação do Sistema de Vácuo:

8.1.1. As configurações de vácuo do dispositivo devem ser verificadas uma vez a cada três meses, depois de reparos e depois de transporte ou realocação, no mínimo.

8.1.2. A verificação deve ser realizada com um medidor de vácuo absoluto capaz de se colocado dentro da câmara e lendo o a configuração de vácuo do dispositivo de selagem.

8.1.3. Coloque o medidor dentro da câmara e registre a configuração. O medidor deve indicar a leitura de 10 mmHg (10 torr) ou menos. A unidade não deve ser usada se o medidor estiver lendo acima de 10 mmHg (10 torr).

8.2. Verificação do saco plástico:

8.2.1. A massa específica aparente do saco plástico fornecido pelo fabricante deve ser verificado periodicamente.

- 8.2.2. Compacte uma amostra de mistura asfáltica de 4,75 mm (N° 4) de tamanho máximo nominal de agregado com um compactador Marshall ou compactador giratório (de acordo com a T 245 ou T 312, respectivamente) para medidas mínimas de 100 mm (4 pol.) em diâmetro por 60 mm (2,4 pol.) de espessura. A amostra deve ser compactada para produzir  $4,0 \pm 1,0$  por cento de vazios de ar. Alternativamente, compacte uma amostra de mistura asfáltica de granulometria fina de tamanho nominal máximo de agregado de 9,5 mm com um compactador Marshall ou compactador giratório (de acordo com a T 245 ou T 312, respectivamente) para as medidas mínimas de 150 mm (6 pol.) em diâmetro por 100 mm (4 pol.) de espessura. A amostra deve ser compactada para produzir  $4,0 \pm 1,0$  por cento de vazios de ar.
- 8.2.3. Usando três sacos plásticos do mesmo tamanho e a amostra compactada da Seção 8.2.2, siga a Seção 6 como apropriado; determine a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra compactada para cada saco individual.
- 8.2.4. Faça a média das três massas específicas aparentes (ou densidades) obtidas com cada saco.
- 8.2.5. Determine a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da mesma amostra compactada, pela T 166.
- 8.2.6. A média das massas específicas aparentes (ou densidades) calculada para a amostra de mistura asfáltica usando os sacos plásticos deve estar dentro de  $\pm 0,020 \text{ g/cm}^3$  ( $20 \text{ kg/m}^3$ ) da massa específica aparente (ou densidade) como determinado pra T 166 para a mesma amostra de mistura asfáltica. Se a diferença das massas específicas aparentes entre a T 166 e T 331 estiver fora da tolerância necessária, seque a amostra pelos procedimentos da Seção 6.1, e repita o ensaio de verificação acima. Faça a média dos valores para o primeiro e segundo ensaios de verificação, e assegure que a diferença seja menor ou igual a  $0,020 \text{ g/cm}^3$ . Contate o fabricante se esta verificação falhar.
- 8.2.7. Esta Seção deve ser repetida para cada tamanho de saco.

---

## 9. PRECISÃO

- 9.1. Os critérios para julgamento de aceitabilidade dos resultados da massa específica aparente obtidos através deste método de ensaio são dados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Aceitabilidade da Massa Específica Aparente ( $G_{mb}$ )**

Ensaio e Tipo de Índice	Desvio padrão	Intervalo Aceitável de Dois Resultados
Precisão de Operador Único	0,0124	0,035
Precisão multilaboratório	0,0135	0,038

<sup>a</sup> As estimativas de precisão foram obtidas do relatório Bulk Specific Gravity Round Robin Using the CoreLok™ Vacuum Sealing Device. O número do relatório da FHWA do estudo foi FHWA-IF-02-044, NCAT Report No. 02-11

9.2. Os valores dados na Coluna 2 são os desvios-padrão que foram observados apropriados para as condições de ensaio descritas na Coluna 1. Os valores dados na Coluna 3 são os limites que não devem ser excedidos pela diferença entre os resultados de dois ensaios conduzidos apropriadamente.

<sup>1</sup> Similar, mas não idêntico ao ASTM D6752/D6752M-11.

## **T-331 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DENSIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS, USANDO SELAGEM AUTOMÁTICA A VÁCUO**

---

### **1. ESCOPO**

- 1.1. Este método cobre a determinação da massa específica aparente (Gmb) de amostras de misturas asfálticas compactadas.
- 1.2. Este método deve ser usado com amostras que contenham vazios abertos ou interconectados e/ou absorvam mais do que 2,0 por cento de água por volume, como determinado pela T-166. A contratante pode especificar este método como uma alternativa para o T-275.
- 1.3. A massa específica aparente (Gmb) de misturas asfálticas compactadas pode ser usada no cálculo de massa unitária da mistura.
- 1.4. Os valores dados em unidades do Sistema Internacional são tratados como padrão.
- 1.5. Esta especificação pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos. Esta especificação não tem o objetivo de abordar todos os riscos associados ao seu uso. É da responsabilidade do usuário desta especificação estabelecer práticas seguras e saudáveis, e determinar a aplicabilidade de limitações regulatórias antes do seu uso.

---

### **2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS**

- 2.1. Normas:
  - ARTERIS ET 231 - Instrumentos de pesagem usados nos ensaios de materiais
  - ARTERIS T 166 – Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca
  - ARTERIS T 275 - Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Compactadas Usando Corpos de Prova Parafinados
  - ARTERIS T 312 – Preparação e Determinação Da Densidade De Amostras de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ) Através do Compactador Giratório Superpave
  - AASHTO R 18 – Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories
  - AASHTO R 79 – Vacuum Drying Compacted Asphalt Specimens
  - AASHTO T 245 – Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus

- ASTM E1 – Standard Specification for ASMT Liquid-in-Glass Thermometers

## 2.2. Outros documentos:

- FHWA-IF-02-044, NCAT Report No. 02-11, Bulk Specific Gravity Round Robin Using the CoreLok™ Vacuum Sealing Device

---

## 3. TERMINOLOGIA

### 3.1. Definições:

3.1.1. Massa específica aparente (de sólidos) ( $G_{mb}$ ) – a proporção da massa ao ar de um volume unitário de um material permeável (incluindo vazios normais permeáveis ou impermeáveis) em uma dada temperatura para uma massa ao ar de densidade equivalente de um volume equivalente de água destilada sem gás a uma dada temperatura.

Massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) a  $x/y^{\circ}C$

onde:

$x$  = temperatura do material, e

$y$  = temperatura da água.

3.1.2. Constância de Massa – deve ser definida como a massa a qual secagens futuras não alterem a massa por mais de 0,05 por cento quando pesada durante intervalos de 2 h.

---

## 4. AMOSTRAS DE ENSAIO

- 4.1. As amostras devem ser compactadas em laboratório ou extraídas de pavimentos asfálticos.
- 4.2. Tamanho das Amostras – As amostras devem estar de acordo com a T 166.
- 4.3. Cuidado deve ser tomado para evitar distorção, empenamento da amostra, ou rachaduras durante e depois da remoção do pavimento ou molde. Amostras devem ser armazenadas em local frio e seguro.
- 4.4. Amostras devem ser livres de materiais estranhos como camada selante, pintura de ligação ou imprimação, material de fundação, solo, papel e alumínio.

4.5. Se desejado, amostras podem ser separadas de outras camadas de pavimento por serragem ou outros meios adequados. Cuidado deve ser exercido para assegurar que a serragem não cause danos às amostras.

---

## 5. EQUIPAMENTOS

5.1. Cortador de saco plástico – Uma faca, tesoura ou outros tipos de dispositivos cortantes podem ser usados para abrir rapidamente os sacos plásticos.

5.2. Estufa – A estufa deve ser capaz de manter a temperatura apropriada para secagem de amostras até a constância de massa.

5.3. Dispositivo de pesagem – O dispositivo de pesagem deve ter capacidade o suficiente, ter escala de 0,1 por cento da massa da amostra ou melhor, e conforme os requisitos da ET 231. O dispositivo de pesagem deve ser equipado com um sistema adequado para suspender e segurar o corpo de prova para permitir que seja mantido suspenso no centro do prato da balança.

5.4. Sacos de Plástico – Os dois tamanhos de sacos mais usados são designados como tamanho grande e pequeno. Os sacos pequenos devem ter uma abertura mínima de 235 mm (9,25 pol.) e uma abertura máxima de 260 mm (10,25 pol.) com a massa menor do que 35 g. Os sacos grandes devem ter uma abertura mínima de 375 mm (14,75 pol.) e uma abertura máxima de 394 mm (15,5 pol.) com a massa de 35g ou mais. Os sacos pequenos devem ser feitos de um material plástico que não irá aderir ao filme asfáltico e deve ser resistente a furos, capaz de suportar temperaturas na amostra de mais de 70°C (158°F), impermeável a água, e ser estanque para que o ar não escape do saco. Os sacos plásticos devem ter uma espessura mínima de 0,100 mm (0,004 pol.) e uma espessura máxima 0,152 mm (0,006 pol.). O fabricante deve fornecer a massa específica aparente dos sacos.

5.5. Equipamento de Suspensão – O arame suspendendo o recipiente deve ser do menor tamanho e espessura possível para minimizar quaisquer possíveis efeitos de variação no comprimento de imersão. O equipamento de suspensão deve ser construído para permitir o recipiente a ser imerso em uma profundidade suficiente para cobri-lo e cobrir a amostra de ensaio durante a pesagem. Cuidado deve ser exercido para assegurar que nenhuma bolha de ar presa exista embaixo da amostra.

5.6. Termômetro – ASTM 17C (17F) como fornecido na ASTM E1, tendo intervalo de 19 a 27°C (66 a 80°F), graduado e conforme a ASTM E1. Um dispositivo de medição de temperatura eletrônico, como um termômetro de resistência ou termopar, pode ser usado.

5.7. Câmara de Vácuo – A bomba deve ser capaz de gerar vácuo na câmara fechada e selada a 5 mmHg em 60 s ao nível do mar. A câmara deve ser grande o suficiente para selar as amostras de 150 x 350 x 150 mm (6 x 14 x 6 pol.). Uma barra de selagem de comprimento suficiente para selar completamente sacos pequenos e grandes deve ser localizada dentro da câmara. O calor deve ser configurado de acordo com as recomendações do fabricante. O dispositivo deve automaticamente selar os sacos plásticos e remover o ar para dentro da câmara de maneira controlada para assegurar a conformidade dos sacos plásticos à amostra. O escape de ar e tempo da operação de vácuo devem ser calibrados para trazer a câmara a pressão atmosférica em 80 a 210 s depois da finalização da operação de vácuo. O sistema de vácuo deve ter uma tranca para controlar a abertura da porta da câmara.

5.8. Medidor de Vácuo (padronizado) – O medidor de vácuo padronizado deve ser capaz de ser colocado dentro do dispositivo automático de selagem para verificar a performance do vácuo e integridade da selagem. O medidor de vácuo deve ter um intervalo mínimo de 10 a 0 mmHg (10 a 0 torr) e deve ter escala em incrementos de 1 mmHg (1 torr), no mínimo.

5.9. Banho-Maria – Para a imersão da amostra em água enquanto suspensa embaixo do dispositivo de pesagem, equipado com uma saída para excesso para manter um constante nível de água, e termicamente controlado para manter o banho a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^\circ\text{F}$ ). Pode ser equipado com um aquecedor e circulador. O circulador não deve estar em uso enquanto registrando as massas das amostras. É importante que o banho-maria seja de tamanho suficiente para assegurar espaço suficiente para a suspensão da amostra e saco plásticos. Um banho-maria com dimensões sugeridas mínimas (comprimento por largura por profundidade) de 610 x 460 x 460 (24 x 18 x 18 pol.) ou um recipiente cilíndrico grande foi observado com bom funcionamento para este método (Veja a Nota 1).

**Nota 1** – Se um suporte amortecedor é usado dentro do banho maria, este não deve ter bordas afiadas. Suportes amortecedores com bordas afiadas foram vistos furando os sacos plásticos. Um pregador pode ser adicionado para manter o saco submerso e afastado das bordas do recipiente. Um recipiente ao nível dos olhos pode ajudar a prevenir rasgos nos sacos e facilitar o seu uso.

---

## 6. PROCEDIMENTO

6.1. Massa Inicial da Amostra ao ar - Seque a amostra para a constância de massa a uma temperatura de  $52 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $125 \pm 5^\circ\text{F}$ ), ou seque a vácuo a amostra de acordo com a R 79. Amostras saturadas com água devem inicialmente ser secas por uma noite toda e então pesadas em intervalos

de 2 h de secagem. Amostras recentemente compactadas em laboratório que não foram expostas à umidade não requerem secagem. Esfrie a amostra a temperatura ambiente a  $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), e registre a massa inicial seca como A.

**Nota 2** – massa específica aparente determinada por este método pode ser inferior e os vazios de ar superiores aos resultados obtidos pelo T-166. As diferenças podem ser mais pronunciadas em misturas grossas e absorventes. Os usuários deste método devem ser advertidos ao avaliar qualquer alteração no teor ótimo de asfalto ou na graduação dos agregados em projetos de misturas com um histórico de desempenho positivo. Se este procedimento for usado para controle ou garantia da qualidade, os usuários devem ser alertados para seguir este procedimento durante o projeto de mistura de laboratório.

**Nota 3** – Amostras moldadas em laboratório, de 3000 a 6000g, podem ser consideradas em equilíbrio com a temperatura ambiente depois de 2 h de resfriamento debaixo de um ventilador. O tempo de resfriamento pode ser reduzido para amostras menores, ou se for verificado que não há diferença significativa de propriedades em relação às amostras com temperatura ambiente e em equilíbrio.

**Nota 4** – Algumas etapas podem ser realizadas em conjunto com a T-166.

6.2. Selando a Amostra – Selecione um saco de tamanho apropriado para a amostra. Amostras de 100 mm (4 pol.) e 150 mm (6 pol.) em diâmetro e com mais de 50 mm (2 pol.) de espessura são geralmente ensaiadas com um saco pequeno. Amostras de 150 mm (6 pol.) em diâmetro por 50 mm (2 pol.) ou mais de espessura são geralmente ensaiadas com um saco grande.

6.2.1. Configure a temperatura da barra de selagem a quente de acordo com as recomendações do fabricante.

6.2.2. Inspeccione o saco para furos ou irregularidades então registre a massa do saco. Registre esta massa com B. Coloque o saco dentro da câmara de vácuo em cima da placa deslizante.

6.2.3. Insira a amostra no saco com o lado plano mais liso da amostra por baixo. Esta operação pode ser feita dentro da câmara enquanto segurando o saco aberta com uma mão sobre a placa deslizante e gentilmente inserindo a amostra com a outra mão. Deve-se ter próximo de 25 mm (1 pol.) de folga entre a borda do saco pré-selada e a amostra.

6.2.4. Se necessário, as placas de preenchimento devem ser adicionadas ou removidas antes da inserção da amostra. Pegue de cada lado a borda não selada do saco, e gentilmente



puxe e centralize-a sobre a barra de selagem, sobrepondo o saco pelo menos em 25 mm (1 pol.).

6.2.5. Assegure que não haja rugas no saco ao redor da barra de selagem antes de fechar a porta.

6.2.6. Feche a porta e engate a tranca na porta. A bomba de vácuo irá acender uma luz “vermelha”, o medidor de vácuo no exterior da câmara irá ativar ou uma leitura digital irá exibir o estado de vácuo. É normal que o saco expanda durante este processo.

6.2.7. Uma vez selada, a válvula “de-vac” irá abrir, e ar irá entrar na câmara, fazendo a pressão atmosférica murchar o saco em volta da amostra.

6.2.8. Desengate a tranca e cuidadosamente remova a amostra selada da câmara. Gentilmente puxe o saco das áreas que aparentemente estão soltas. Áreas soltas indicam um selamento ruim e o processo deve ser reiniciado na Seção 6.1 com um novo saco e uma nova massa inicial.

6.3. Massa da Amostra Selada em Água – Pese rapidamente a amostra selada em um banho-maria a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 1,8^\circ\text{F}$ ). Mergulhe completamente a amostra para assegurar que não haja bolhas de ar presas embaixo da amostra. Assegure que o saco esteja completamente embaixo d’água e que não esteja tocando as bordas do banho-maria. Registre esta massa como E

**Nota 5** – O tempo entre a abertura da porta depois da selagem e a inserção da amostra no banho-maria não deve exceder 1 min para reduzir potenciais vazamentos no saco.

6.4. Verificação – Para assegurar uma selagem firme no saco, remova a amostra da água, e corte o saco. Remova a amostra, e determine a massa. Registre a massa como C. Compare esta massa com a massa inicial seca determinada na Seção 6.1 como A. Se mais de 0,08 por cento for perdido ou houver ganho de mais de 0,04 por cento, reinicie o processo na Seção 6.1.

---

## 7. CÁLCULO

7.1. Calcule a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra como descrito a seguir. Arredonde com três casas decimais e registre o valor.

$$G_{mb} = \frac{A}{\left[ C + B - E - \left( \frac{B}{F} \right) \right]} \quad (1)$$

onde:

$A$  = massa da amostra seca ao ar, g;

$B$  = massa do saco, g;

$C$  = massa final da amostra depois da remoção do saco selado, g;

$E$  = massa da amostra selada embaixo d'água, g; e

$F$  = massa específica aparente do material plástico de selagem a 25°C (77°F), fornecido pelo fabricante.

7.2. Calcule a densidade da amostra como a seguir. Arredonde e reporte o valor com arredondamento para 1 kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>).

$$\tilde{n} = G_{mb} (\tilde{a}) \quad (2)$$

onde:

$G_{mb}$  = massa específica aparente da amostra;

$\tilde{n}$  = densidade da amostra, kg/m<sup>3</sup> ou lb/ft<sup>3</sup> (pcf); e

$\tilde{a}$  = densidade da água a 25°C (77°F), (997,1 kg/m<sup>3</sup>, 0,9971 g/cm<sup>3</sup>, ou 62,245 lb/ft<sup>3</sup>, pcf).

---

## 8. VERIFICAÇÃO

### 8.1. Verificação do Sistema de Vácuo:

8.1.1. As configurações de vácuo do dispositivo devem ser verificadas uma vez a cada três meses, depois de reparos e depois de transporte ou realocação, no mínimo.

8.1.2. A verificação deve ser realizada com um medidor de vácuo absoluto capaz de se colocado dentro da câmara e lendo o a configuração de vácuo do dispositivo de selagem.

8.1.3. Coloque o medidor dentro da câmara e registre a configuração. O medidor deve indicar a leitura de 10 mmHg (10 torr) ou menos. A unidade não deve ser usada se o medidor estiver lendo acima de 10 mmHg (10 torr).

### 8.2. Verificação do saco plástico:

- 8.2.1. A massa específica aparente do saco plástico fornecido pelo fabricante deve ser verificado periodicamente.
- 8.2.2. Compacte uma amostra de mistura asfáltica de 4,75 mm (N° 4) de tamanho máximo nominal de agregado com um compactador Marshall ou compactador giratório (de acordo com a T 245 ou T 312, respectivamente) para medidas mínimas de 100 mm (4 pol.) em diâmetro por 60 mm (2,4 pol.) de espessura. A amostra deve ser compactada para produzir  $4,0 \pm 1,0$  por cento de vazios de ar. Alternativamente, compacte uma amostra de mistura asfáltica de granulometria fina de tamanho nominal máximo de agregado de 9,5 mm com um compactador Marshall ou compactador giratório (de acordo com a T 245 ou T 312, respectivamente) para as medidas mínimas de 150 mm (6 pol.) em diâmetro por 100 mm (4 pol.) de espessura. A amostra deve ser compactada para produzir  $4,0 \pm 1,0$  por cento de vazios de ar.
- 8.2.3. Usando três sacos plásticos do mesmo tamanho e a amostra compactada da Seção 8.2.2, siga a Seção 6 como apropriado; determine a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da amostra compactada para cada saco individual.
- 8.2.4. Faça a média das três massas específicas aparentes (ou densidades) obtidas com cada saco.
- 8.2.5. Determine a massa específica aparente ( $G_{mb}$ ) da mesma amostra compactada, pela T 166.
- 8.2.6. A média das massas específicas aparentes (ou densidades) calculada para a amostra de mistura asfáltica usando os sacos plásticos deve estar dentro de  $\pm 0,020 \text{ g/cm}^3$  ( $20 \text{ kg/m}^3$ ) da massa específica aparente (ou densidade) como determinado pra T 166 para a mesma amostra de mistura asfáltica. Se a diferença das massas específicas aparentes entre a T 166 e T 331 estiver fora da tolerância necessária, seque a amostra pelos procedimentos da Seção 6.1, e repita o ensaio de verificação acima. Faça a média dos valores para o primeiro e segundo ensaios de verificação, e assegure que a diferença seja menor ou igual a  $0,020 \text{ g/cm}^3$ . Contate o fabricante se esta verificação falhar.
- 8.2.7. Esta Seção deve ser repetida para cada tamanho de saco.

---

## 9. PRECISÃO

- 9.1. Os critérios para julgamento de aceitabilidade dos resultados da massa específica aparente obtidos através deste método de ensaio são dados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Aceitabilidade da Massa Específica Aparente ( $G_{mb}$ )**

Ensaio e Tipo de Índice	Desvio padrão	Intervalo Aceitável de Dois Resultados
Precisão de Operador Único	0,0124	0,035
Precisão multilaboratório	0,0135	0,038

<sup>a</sup> As estimativas de precisão foram obtidas do relatório Bulk Specific Gravity Round Robin Using the CoreLok™ Vacuum Sealing Device. O número do relatório da FHWA do estudo foi FHWA-IF-02-044, NCAT Report No. 02-11

9.2. Os valores dados na Coluna 2 são os desvios-padrão que foram observados apropriados para as condições de ensaio descritas na Coluna 1. Os valores dados na Coluna 3 são os limites que não devem ser excedidos pela diferença entre os resultados de dois ensaios conduzidos apropriadamente.

<sup>1</sup> Similar, mas não idêntico ao ASTM D6752/D6752M-11.

## **T-335 - DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE FRATURA EM AGREGADO GRAÚDO**

---

### **1. RESUMO**

1.1. Este método de ensaio estabelece a determinação da porcentagem, em massa, de uma amostra de agregado graúdo que consiste em partículas fraturadas de acordo com certos requisitos específicos.

1.2. Esta Norma pode envolver materiais, operações ou equipamentos prejudiciais à saúde. Esta Norma não se propõe a atender a todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É da responsabilidade de seus usuários estabelecer os padrões de segurança e de prevenção de acidentes necessários, assim como, determinar antecipadamente a necessidade de regulamentos específicos ao seu uso.

1.3. O texto das notas de referência desta Norma fornece material explicativo. Estas notas (exceto as das tabelas e figuras) não deverão ser consideradas requisitos desta Norma.

---

### **2. DOCUMENTOS CONSULTADOS**

2.1. Normas:

- AASHTO M 92, Malhas das Peneiras para Ensaios.
- ARTERIS ET-231, Instrumentos de Pesagem Utilizados nos Ensaios de Materiais - M 231.
- ARTERIS T 2, Amostragem de Agregado.
- ARTERIS T 11, Análise Granulométrica de Agregados com Materiais Passando na Peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº. 200) por Lavagem - T 11.
- ARTERIS T 27, Análise Granulométrica de Agregados Finos e Graúdos - T 27.
- T 248, Redução de Amostras de Agregado para Ensaios.
- AASHTO T 255, Conteúdo Total de Umidade Evaporável de Agregado Através da Secagem.

---

### **3. SUMÁRIO DO MÉTODO**

3.1. Uma amostra de agregado é separada utilizando o tamanho definido de malha de acordo com a especificação de controle na determinação de agregado fino e graúdo. As partículas de agregado graúdo são visualmente avaliadas para determinar a sua conformidade à fratura definida. A porcentagem de partículas conformes, em massa, é determinada para comparação com as especificações.

---

#### 4. EQUIPAMENTO

- 4.1. Balança – conforme as especificações gerais de balanças da M-231, necessária para a massa de amostra que será testada.
- 4.2. Peneira – conforme os requisitos da M-92.
- 4.3. Repartidor de amostras – conforme os requisitos da T-248.

---

#### 5. TERMINOLOGIA

- 5.1. Face Fraturada – uma superfície angular, quebrada ou áspera de uma partícula de agregado produzida por britagem, ou outros métodos. É considerada uma “face fraturada” quando metade ou mais da área exposta, quando observada de forma frontal, está fraturada, com bordas afiadas e bem definidas (isto exclui pequenas trincas).
- 5.2. Partícula Fraturada – uma partícula de agregado, com pelo menos um número mínimo de faces fraturadas (usualmente um ou duas).

---

#### 6. AMOSTRAGEM

- 6.1. Amostre o agregado de acordo com a T-2 e reduza a amostra de acordo com a T-248.

---

#### 7. PREPARO DA AMOSTRA

- 7.1. Quando as especificações definem somente uma porcentagem de fratura, a amostra deverá ser preparada de acordo com o Método 1. Quando as especificações exigem que a fratura seja quantificada e declarada em cada peneira, a amostra deverá ser preparada de acordo com o Método 2.
- 7.2. Método 1 - Determinação de Fratura Combinada
  - 7.2.1. Seque a amostra o suficiente para obter uma perfeita separação do material fino do gráudo na operação de peneirar. Peneire a amostra de acordo com a T-27, com a peneira 4,75mm (Nº 4), ou a com peneira apropriada definida nas especificações da agência para este material.

**Nota 1** – Quando necessário, lave a amostra com a peneira ou as peneiras designadas, para a determinação de partículas fraturadas removendo qualquer material fino restante, e seque a uma massa constante de acordo com a T-255.

- 7.2.2. Reduza a amostra utilizando o repartidor de amostras de acordo com a T-248, até o tamanho apropriado para o ensaio. Este tamanho de amostra deve ser ligeiramente

maior em massa do que o mostrado na Tabela 1, para levar em consideração a perda adicional de finos depois da lavagem.

**Tabela 1 – Tamanho da amostra (Método 1, Fratura de Combinação de Peneira)**

Tamanho Nominal Máximo da Partícula	Massa Mínima de Amostra Retido na Peneira 4,75mm (Nº 4)
37,5 mm (1½ in)	2500 g (6 lb)
25,0 mm (1 in)	1500 g (3.5 lb)
19,0 mm (¾ in)	1000 g (2.5 lb)
12,5 mm (½ in)	700 g (1.5 lb)
9,5 mm (3/8 in)	400 g (0.9 lb)
4,75 mm (Nº 4)	200 g (0.4 lb)

### 7.3. Método 2 - Determinação Individual de Fratura por Peneira

7.3.1. Seque a amostra o suficiente para obter uma perfeita separação do material fino do gráudo na operação de peneirar. Uma amostra lavada da determinação de granulometria (T-11 e T-27) pode ser utilizada. Se não, peneire a amostra de acordo com a T-27, com as peneiras apropriadas definidas para este tipo de material. Selecione uma porção representativa de cada peneira, dividindo ou separando, de acordo com a T-248, no tamanho apropriado para o ensaio. Este tamanho de amostra para cada peneira deve ser pelo menos tão grande como o mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Tamanho da amostra (Método 2, Fratura de Peneira Individual)**

Tamanho Nominal Máximo da Partícula	Massa Mínima de Amostra Retido na Peneira 4,75mm (Nº 4)
31,5 mm (11/4 in)	1500 g (3.5 lb)
25,0 mm (1 in)	1000 g (2.2 lb)
19,0 mm (¾ in)	700 g (1.5 lb)
16,0 mm (5/8 in)	500 g (1.0 lb)
12,5 mm (½ in)	300 g (0.7 lb)
9,5 mm (3/8 in)	200 g (0.5 lb)
6,3 mm (1/4)	100 g (0.2 lb)
4,75 mm (Nº 4)	100 g (0.2 lb)

Tamanho Nominal Máximo da Partícula	Massa Mínima de Amostra Retido na Peneira 4,75mm (Nº 4)
2,36 mm (Nº 8)	25 g (0.1 lb)
2,00 mm (Nº 10)	25 g (0.1 lb)

**Nota 2** – Quando necessário, lave a amostra com peneira ou peneiras designadas, para a determinação de partículas fraturadas removendo qualquer material fino restante, e seque à uma massa constante de acordo com a T 255.

**Nota 3** – Se a fratura é determinada em uma amostra obtida por granulometria utilize a massa retida nas peneiras individuais a menos que menos de 5 (cinco) por cento da massa total é retida nesta peneira. Neste caso, coloque o material com o retido na peneira de menor tamanho seguinte.

---

## 8. PROCEDIMENTOS

8.1. Espalhe as amostras secas e frias sobre uma superfície plana, grande o suficiente para permitir uma cuidadosa inspeção de cada partícula. Para verificar se uma partícula está conforme ao critério de fratura, segure a partícula de agregado de forma a olhar diretamente a face observada (Ver Item 5.1).

8.2. Para ajudar na determinação da fratura, separe a amostra em 3 (três) categorias: (1) partículas fraturadas conforme os critérios acima, (2) partículas em desacordo com o critério das especificações, e (3) partículas duvidosas ou próximas das especificações.

8.3. Determine a massa das partículas na categoria de fraturadas, a massa das partículas duvidosas, e a massa das partículas não fraturadas.

8.4. Se em qualquer uma das determinações, mais do que 15 (quinze) por cento da massa total da amostra é classificada como duvidosa, repita a determinação até que menos que 15 (quinze) por cento esteja nesta categoria.

---

## 9. RELATÓRIO

9.1. O Relatório deve incluir o seguinte:

9.1.1. Calcule a porcentagem de massa de faces fraturadas, com uma aproximação de 1 (um) por cento, como a seguir:

$$P = 100 \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N}$$



onde:

*P = porcentagem de fratura,*

*F = massa de partículas fraturadas,*

*Q = massa de partículas duvidosas e no limite, e*

*N = massa de partículas não fraturadas.*

---

## **10. PRECISÃO E VARIÁVEIS**

10.1. Nenhuma informação de precisão está disponível na utilização deste ensaio

---