

PROC–IBR–ROD 217/2024

**Determinação da Massa Específica Aparente Seca Máxima,
Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” e da Massa Específica
Aparente Seca Solta para fins de Auditoria de Terraplenagem**

Primeira edição válida a partir de: ___ / ___ / ____

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

Esse documento tem por objetivo apresentar o procedimento para obtenção da Massa Específica Aparente Seca Máxima, da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” e da Massa Específica Aparente Seca Solta para fins de auditoria.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da compactação de aterros, conforme PROC-IBR-ROD 210/20xx – Análise Quantitativa dos Serviços de Compactação de Aterros para fins de Auditoria;
- b) do suporte e expansão de solos, conforme PROC-IBR-ROD 218/2024 – Análise do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão de solos para fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem;
- c) dos fatores de conversão volumétricos, conforme PROC-IBR-ROD 204/2025 – Análise de Fatores de Conversão Volumétricos para fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem;
- d) da confiabilidade do controle tecnológico, conforme PROC-IBR-ROD 202/2025 – Confiabilidade e Adequabilidade do Controle Tecnológico de Serviços de Terraplenagem para Fins de Auditoria; e
- e) das características dos materiais coletados nas origens e destinos, conforme PROC-IBR-ROD 208/20xx – Análise de compatibilidade entre os materiais coletados nas origens e destinos de Camadas de Terraplenagem para Fins de Auditoria.

A importância dessas aferições está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por quantidade e/ou qualidade pela execução de camadas de terraplenagem com massas aparentes diversas daquelas indicada em projeto ou no controle tecnológico da execução do serviço e/ou em medição contratual, assim como na possibilidade de redução do desempenho e da vida útil do corpo estradal, com consequente desperdício de dinheiro público e a necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

2.1. Para determinação da Massa Específica Aparente Seca Máxima e do teor de umidade, os equipamentos/instrumentos necessários são:

- Molde cilíndrico metálico de 15,24 cm \pm 0,05 cm de diâmetro interno e 17,78 cm \pm 0,02 cm de altura, cilindro complementar com 6,08 cm e base metálica com dispositivo de fixação, conforme a Figura 1 do Anexo A da norma DNIT 164/2013 - ME Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio;
- Disco espaçador metálico de 15,00 cm \pm 0,05 cm de diâmetro e de altura igual a 6,35 cm \pm 0,02 cm, conforme Figura 2 do Anexo A da norma DNIT 164/2013 - ME Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio;
- Soquete metálico cilíndrico, de face interior plana de diâmetro igual a 5,08 cm \pm 0,01 cm, massa de 4,536 kg \pm 0,01 kg, e com a altura de queda igual a 45,72 cm \pm 0,15 cm, conforme Figura 3 do Anexo A da norma DNIT 164/2013 - ME Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio;
- Extrator de amostra do molde cilíndrico;
- Balança com capacidade mínima de 20.000g, sensível a 1g, preferencialmente eletrônica;
- Balança com capacidade mínima de 1.000g, sensível a 0,1g, preferencialmente eletrônica;
- Estufa elétrica capaz de manter a temperatura a 110°C \pm 5°C;
- Almofariz e mão de gral recoberta de borracha, com capacidade mínima para 5 kg de solo;
- Régua de aço biselada;
- Repartidor de amostras de 5,0 cm de abertura;
- Cápsulas de alumínio;
- Peneiras de 50 mm, 19 mm e 4,8 mm de abertura em malha quadrada, conforme a NBR NM ISO 3310-1:2010;
- Proveta graduada, com capacidade para 1.000 ml;
- Papel filtro circular com 15 cm de diâmetro;
- Acessórios, tais como bandeja, espátula, colher de pedreiro etc.

Outros equipamentos/instrumentos poderão ser utilizados a depender da norma técnica de ensaio aplicável à contratação.

2.2. Para determinação da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” com emprego do frasco de areia, os equipamentos/instrumentos necessários são:

- Frasco de vidro, metálico ou de plástico, com capacidade mínima de 3,5 litros, dotado de gargalo rosqueado e funil provido de registro e de rosca para se atarraxar ao frasco, de acordo com o anexo da norma DNER - ME 092/94 Solo – determinação da massa específica aparente “*in situ*”, com emprego do frasco de areia;

- Bandeja quadrada com cerca de 30 cm de lado, com bordas de 2,5 cm de altura, com orifício circular no centro, dotado de rebaixo para apoio do funil referido no item anterior, de acordo com o anexo da norma DNER - ME 092/94 Solo – determinação da massa específica aparente “*in situ*”, com emprego do frasco de areia;
- Balança com capacidade mínima de 10.000g, sensível a 1g, preferencialmente eletrônica;
- Balança com capacidade mínima de 1.000g, sensível a 0,1g, preferencialmente eletrônica;
- Estufa elétrica capaz de manter a temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ou instrumental que permita a determinação da umidade, tais como fogareiro e “*Speedy test*”;
- Peneiras de 4,8mm e 19mm de abertura em malha quadrada;
- Areia (fração compreendida entre 0,8 mm e 0,6 mm) lavada, seca de massa específica aparente, determinada conforme o item 4.2 da norma DNER - ME 092/94 Solo – determinação da massa específica aparente “*in situ*”, com emprego do frasco de areia;
- Acessórios, tais como recipiente para armazenar amostra, pá, enxada, talhadeira de aço, marreta etc.

Outros equipamentos/instrumentos poderão ser utilizados a depender da norma técnica de ensaio aplicável à contratação.

2.3. Para determinação da Massa Específica Aparente Seca Solta, os equipamentos/instrumentos necessários são:

a) no caso de cubação da caçamba do caminhão basculante:

- Haste metálica;
- Trena metálica; e
- Balança rodoviária fixa ou portátil.

Ou

b) no caso da utilização dos procedimentos previstos na Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio:

- Balança;
- Estufa;
- Recipientes cilíndricos metálicos padronizados;
- Pá ou concha metálica;
- Placa de vidro;
- Termômetro;

Outros equipamentos/instrumentos poderão ser utilizados a depender do procedimento aplicável à contratação.

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria, primeiramente, pode tomar nota:

- a) dos resultados dos ensaios de obtenção da Massa Específica Aparente Seca Máxima, da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*”, da Massa Específica Aparente Seca Solta e dos teores de umidade indicados nos ensaios laboratoriais que embasaram o Projeto Básico e/ou Executivo de Terraplenagem; e/ou
- b) do controle tecnológico, obtendo-se os valores dessas propriedades físicas dos aterros, caixas de empréstimos, cortes ou extrações comerciais indicadas para obra.

Além das normas indicadas neste procedimento, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática. A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

3.1. Determinação da Massa Específica Aparente Seca Máxima

3.1.1 Amostras não trabalhadas – Norma DNIT 164/2013 - ME

Preparação da amostra:

Da amostra coletada, conforme PROC–IBR–ROD 203/2025 – Plano de Amostragem e Coleta de Amostras de solos para Fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem, a Equipe de Auditoria deve reservar, ao menos, 50 kg de material ou quantidade suficiente de amostra preparada para se garantir a execução de no mínimo 5 pontos da curva de compactação, conforme item 4 da norma supracitada.

Execução do ensaio:

Observa-se que a Massa Específica Aparente Seca Máxima a ser obtida pela Equipe de Auditoria dependerá da camada de aterro sob análise, uma vez que a energia de compactação do corpo do aterro pode diferir da energia de compactação da camada final do aterro.

A energia de compactação utilizada no ensaio poderá ser aquela indicada em projeto ou a executada no serviço de compactação, conforme o caso concreto de auditoria.

Os corpos de prova moldados (molde cilíndrico + solo úmido compactado) podem ser utilizados nos ensaios de suporte e expansão do solo, conforme o PROC-IBR-ROD 218/2024 – Análise do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão de solos para fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem.

Cálculos:

Os cálculos para obtenção do teor de umidade e Massa Específica Aparente Seca devem ser obtidos em consonância com o item 7 da norma DNIT 164/2013 – ME.

Resultados:

Para cada ponto de coleta de amostras, deve ser traçada a correspondente curva de compactação, marcando-se, em ordenadas, as massas específicas aparentes secas (y_s) e, em abscissas, os teores de umidade correspondentes (h). A Massa Específica Aparente Seca Máxima ($y_{s_Máx}$) é obtida pela ordenada máxima da curva de compactação. A Umidade Ótima ($h_{ótima}$) corresponde ao valor da abscissa do ponto da Massa Específica Aparente Seca Máxima na curva de compactação.

A Massa Específica Aparente Seca Máxima Auditada em Campo ($y_{s_Máx_C}$) será a média aritmética das massas específicas aparentes secas máximas obtidas para cada ponto de coleta de amostra, e a Umidade Ótima Auditada em Campo ($h_{ótima_C}$) também corresponderá à média das umidades ótimas de cada ponto de coleta de amostra.

Caso se verifiquem distorções relevantes entre os valores das massas específicas aparentes secas máximas ou dos teores de umidade, a Equipe de Auditoria poderá avaliar a possibilidade de ocorrência de material heterogêneo entre as amostras coletadas, o que pode indicar a necessidade de realizar ensaios complementares ou redefinição da abrangência do local ou segmento homogêneo.

3.1.2 Amostras trabalhadas – Norma DNER-ME 162/94

Nos casos em que o controle tecnológico indique que os ensaios foram realizados com amostras trabalhadas, a Equipe de Auditoria pode avaliar a pertinência da realização dos ensaios seguindo a mesma metodologia.

Preparação da amostra:

Da amostra coletada, conforme PROC–IBR–ROD 203/2025 – Plano de Amostragem e Coleta de Amostras de solos para Fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem, a Equipe de Auditoria deve reservar cerca de 15 kg de material ou quantidade suficiente para a realização do ensaio com reutilização.

Execução do ensaio:

Os procedimentos relacionados à execução do ensaio e dos cálculos observarão o disposto nos itens 5 a 8 da norma supracitada.

Resultados:

A Massa Específica Aparente Seca Máxima Auditada em Campo ($y_{s_Máx_C}$) será a média aritmética das massas específicas aparentes secas máximas obtidas para cada ponto de coleta de amostra, e a Umidade Ótima Auditada em Campo ($h_{ótima_C}$) também corresponderá à média das umidades ótimas de cada ponto de coleta de amostra.

Caso ocorram distorções relevantes entre os valores das massas específicas aparentes secas máximas ou dos teores de umidade, a Equipe de Auditoria poderá avaliar a possibilidade de ocorrência de material heterogêneo entre as amostras coletadas, o que pode indicar a necessidade de realizar ensaios complementares ou redefinir a abrangência do local ou segmento homogêneo.

3.1.3 Observações quanto à realização do procedimento de ensaio

As observações a seguir possuem caráter orientativo quanto às boas práticas de execução do ensaio.

São elas:

- periodicamente checar as dimensões e pesos dos cilindros utilizados nos ensaios;
- lubrificar o cilindro internamente para facilitar a desmoldagem no momento da extração;
- para determinação da umidade representativa de cada ponto de compactação, retirar uma amostra do interior do respectivo corpo de prova desmoldado;
- para calcular a quantidade de água a ser adicionada em cada bandeja (ponto de compactação), pode-se utilizar a seguinte equação:

$$Aad = \frac{(halvo - hhig) \times \text{peso do solo na bandeja}}{1 + hhig}$$

Sendo:

Aad, a água adicionar;

halvo, a umidade alvo a ser atingida; e

hhig, a umidade higroscópica do solo (quantidade de água que permanece retida nas partículas do solo quando este é seco ao ar).

3.2. Determinação da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” - Norma DNER 092/1994 - ME

A depender da finalidade, a determinação da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” pode ser realizada nas camadas de aterros compactadas ou nas caixas de empréstimos, extrações comerciais e seções de cortes, cujo material tenha sido destinado a aterros ou bota-fora.

A Equipe de Auditoria, quando possível, realizará determinações da Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” e do respectivo teor de umidade em cada local investigado, observando as origens indicadas nos boletins de medição dos serviços, no diagrama de massas ou no projeto sob análise.

Execução do ensaio e Cálculos:

Os procedimentos relacionados à execução do ensaio e dos cálculos observarão o disposto nos itens 5 a 7 da norma supracitada.

Resultados:

A Massa Específica Aparente Seca “*in situ*” Auditada em Campo (μ_{h_C}) será a média aritmética das massas específicas aparentes seca “*in situ*” obtidas em cada furo, considerando a abrangência do local ou segmento homogêneo.

Caso ocorram distorções relevantes entre os valores das massas específicas aparentes do solo seco “*in situ*”, a Equipe de Auditoria poderá avaliar a possibilidade de ocorrência de material heterogêneo entre os furos efetuados, o que pode indicar a necessidade de realizar ensaios complementares ou redefinição da abrangência do local ou segmento homogêneo.

3.2.1 Observações quanto à realização do procedimento de ensaio

As observações a seguir possuem caráter orientativo quanto às boas práticas de execução do ensaio.

São elas:

- determinar a massa específica aparente da areia (μ_a) que será utilizada no frasco do ensaio, verificando a integridade dos itens utilizados no ensaio;
- se a verificação se der no local de empréstimo, sugere-se escolher um local representativo, observando os taludes deixados durante as escavações, suprimindo a vegetação de uma área adjacente até se superar o horizonte de solo vegetal e raízes;
- caso a obra esteja em andamento, com a empresa contratada mobilizada, a Equipe de Auditoria pode solicitar apoio para que se faça uma plataforma de trabalho com o auxílio de equipamento disponível no local;
- se o ensaio for feito na pista, sugere-se escolher locais nos limites da plataforma e fora das trilhas de roda, tomando-se o cuidado de retirar o material solto superficial;
- a área do local do ensaio deve ser aplainada até que a bandeja fique o máximo possível apoiada na plataforma (minimizando os espaços vazios) e realizando seu travamento ao solo, conforme sugestão apresentada na Figura 1;
- inicia-se o ensaio pesando-se o frasco de areia e levando-o até a bandeja; em seguida, abre-se a válvula do frasco, aguardando até que toda a areia ocupe o volume do cone para, então, fechar a válvula e tomar nota do peso do frasco de areia; a diferença de pesos representará o peso da areia no cone (P_{cone});
- recolhe-se a areia, devolvendo-a ao frasco com o cuidado de evitar qualquer contaminação com partículas do solo, tomando nota do peso da areia (P_{cone}) correspondente ao volume do funil e do rebaixo do orifício da bandeja;
- sugere-se iniciar o furo com a talhadeira no centro, para evitar mover a bandeja de posição, continuar a escavação de um cilindro, com o diâmetro de referência dado pelo gabarito da bandeja (furo), com o cuidado de minimizar as perdas de solo;
- todo solo escavado deve ser recolhido para um recipiente (previamente pesado), com o auxílio de uma concha ou colher, tomando-se o cuidado de proteger o material recolhido contra o sol, para evitar perda de umidade durante toda a escavação;
- concluída a escavação, a Equipe de Auditoria deve pesar todo o material tomando nota desse valor, em seguida, coletar cerca de 100 g deste, passante na peneira de 4,8mm, mantendo-o em invólucro fechado (saco plástico), evitando-se a perda de umidade para o ambiente, para posterior determinação do teor de umidade do material (h) em laboratório. In loco, pode-se também separar quantidade suficiente para determinação do teor de umidade com a utilização de “Speedy”, segundo a norma DNER - ME 052/94 Solo e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”, ou outro método consagrado para tal fim; e
- os furos executados em pista devem ser fechados, com material apropriado, compactando-o de forma adequada.



Figura 1. Exemplo de fixação da bandeja com utilização de pregos com cabeça

3.3. Determinação da Massa Específica Aparente Solta Seca

Considerando que a Massa Específica Aparente Solta Seca é um fator relevante na definição dos preços referentes ao transporte de materiais em obras rodoviárias, poderá a Equipe de Auditoria obter esse parâmetro a partir dos métodos sugeridos neste tópico ou outros que se mostrem cabíveis ao caso concreto.

A Equipe de Auditoria, quando possível, poderá realizar determinações da Massa Específica Aparente Solta Seca e do respectivo Teor de Umidade em cada local investigado, observando as origens indicadas nos boletins de medição dos serviços, no diagrama de massas ou no documento sob análise. A depender da finalidade, a determinação da Massa Específica Aparente Solta Seca pode ser realizada nas caixas de empréstimos e seções de cortes, cujo material tenha sido aproveitado em aterros.

A Equipe de Auditoria também pode requerer os memoriais de cálculo usados para definir a Massa Específica Aparente Solta Seca e comparar com o valor obtido a partir de um dos procedimentos detalhados a seguir.

3.3.1. Cubação da caçamba de caminhão basculante

A determinação da Massa Específica Aparente Solta Seca pode ser obtida a partir da cubação da caçamba de maquinário utilizado no serviço de carga e transporte do material de caixas de empréstimo e seções de cortes.

A Equipe de Auditoria pode utilizar um caminhão basculante, tomando-se nota do seu peso, **P_{cv}** (peso do caminhão vazio). Em seguida, preenche-se a caçamba do caminhão com o material natural, tomando-se o cuidado de o operador do maquinário carregar o caminhão de maneira uniforme na

extensão da caçamba até sua capacidade, retornando-se à balança e procedendo-se novamente sua pesagem **Pcc** (peso do caminhão carregado).

A pesagem da caçamba pode ser realizada em balanças rodoviárias devidamente calibradas, ou, caso não se disponha desse recurso, pode a pesagem ser feita com balanças portáteis também calibradas, a exemplo da Figura 2.



Figura 2. Exemplos de balanças portáteis

Após a pesagem, cuba-se o material da caçamba, tomando-se o cuidado de determinar a umidade (h) do material utilizado para realizar a determinação da Massa Específica Aparente Seca Solta.

Recomenda-se que a umidade (h) seja determinada por um dos métodos consagrados (estufa, *speedy* ou fogareiro), a partir de amostras colhidas em três pontos diferentes para obtenção de média, de maneira uniformemente distribuída ao material carregado na caçamba, evitando-se o topo do material e as áreas superficiais laterais.

De maneira orientativa, a cubação do material carregado na caçamba pode ser realizada com trena ou barra de aço na posição vertical, tomando-se as medidas de altura em pontos distintos na caçamba carregada conforme a Figura 3. Orienta-se ainda o cuidado de realizar tais medidas a uma distância mínima de 30 cm das paredes da caçamba, mantendo a barra o mais perpendicular possível e evitando realizar a medição em pontos que já foram pisados. Caso a caçamba seja chanfrada no fundo, sugere-se à Equipe de Auditoria distribuir os pontos de medição da altura de maneira a representar os chanfros.

A seguir, exemplifica-se um método simples de obtenção do volume do solo carregado na caçamba, com a tomada de 9 medições de altura do material.

Sugere-se que, para medições com número de medidas diferentes de 9, a área da caçamba seja dividida em um total de pontos de forma que todos tenham a mesma área de influência, conforme exemplo da Figura 3.

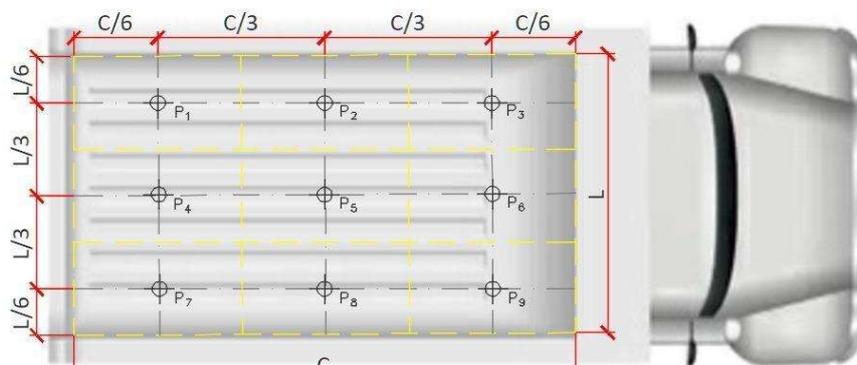


Figura 3. Exemplo de levantamento das medidas da altura do material no interior da caçamba

Dessa maneira, com os dados colhidos, o volume do material carregado na caçamba pode ser calculado conforme a seguinte equação:

$$V = \left(\frac{\sum p}{np} \right) \times l \times c$$

Onde:

l é a largura interna da caçamba;

c é o comprimento interno da caçamba;

$\sum p$ são os somatórios das medidas de alturas realizadas no material carregado na caçamba, conforme sugerido na Figura 3; e

np são os números de medidas realizadas.

Já o peso do solo seco pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$P_s = \frac{P_{cc} - P_{cv}}{1 + h}$$

Onde:

P_s é o peso do solo seco;

P_{cc} é o peso do caminhão carregado;

P_{cv} é o peso do caminhão vazio; e

h é a umidade do solo.

A Massa Específica Aparente Solta Seca poderá então ser calculada conforme a equação disposta abaixo:

$$\sigma_s = P_s / V_s$$

Onde:

σ_s é a Massa Específica Aparente Solta Seca;

P_s é o peso do solo seco; e

V_s volume do solo.

Como alternativa, a Equipe de Auditoria pode obter os dados volumétricos do material depositado na caçamba do caminhão basculante com o uso de ferramentas de sensoriamento remoto (drones com RTK, *scanner* ou outros) caso a Equipe de Auditoria disponha desses equipamentos durante a auditoria.

A Equipe de Auditoria poderá utilizar outros recursos que permitam a obtenção desses parâmetros para a determinação da Massa Específica Aparente Solta Seca conforme a situação fática.

3.3.2. Método baseado na Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio

É possível que a Equipe de Auditoria determine, de modo alternativo, a Massa Específica Aparente Solta Seca conforme as diretrizes da Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio.

A Massa Específica Aparente Solta Seca a ser determinada equivale à massa unitária solta tratada na Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio, obtida em kg/m³.

Assim, a Massa Específica Aparente Solta Seca será determinada para o estado solto dos materiais, considerado aquele no qual os materiais preenchem um recipiente de dimensões conhecidas, sem qualquer esforço de compactação, apenas por colocação padronizada dos grãos, em queda livre, sob ação da gravidade e isentos de esforço adicional de adensamento. Representa a situação de menor contato entre as partículas.

Preparação da amostra:

Da amostra coletada, conforme PROC-IBR-ROD 203/2025 – Plano de Amostragem e Coleta de Amostras de solos para Fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem, a Equipe de Auditoria deve reservar, por segurança, 5 vezes a quantidade de material necessário para realização de, pelo menos, três ensaios para cada local ou segmento homogêneo, observando-se o Tamanho Nominal Máximo (TNM) dos solos, definidos pelo tamanho da abertura da malha da peneira imediatamente acima daquela que retém mais que 10 % das partículas da amostra do agregado (% acumulado), bem como o respectivo volume do recipiente indicado para realização do ensaio, conforme indicado adiante:

TNM (mm)	Diâmetro interno (mm)	Altura interna (mm)	Volume nominal (L)
≤ 12,5	150	170	2,8
≤ 25,4	220	250	9,5
≤ 38,0	250	290	14,2
≤ 76,0	320	350	28,1
≤ 100	440	465	70,7
≤ 125	500	510	100,1

Fonte: DNIT 437-2022 - ME

O TNM dos materiais pode ser obtido com o auxílio PROC-IBR-ROD 219/20XX – Caracterização Física de solos para fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem.

Recipientes:

Conforme a Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio, os recipientes devem ser cilíndricos, com alças (preferencialmente), feitos de metal, impermeáveis e suficientemente rígidos para que não se deformem. As paredes internas dos recipientes devem ser lisas, sem defeitos, e o ângulo formado entre o fundo e qualquer geratriz do cilindro deve ser de $90^\circ \pm 0,5^\circ$.

As espessuras para fabricação dos recipientes devem ser determinadas em função dos volumes, conforme indicado adiante:

Volume (L)	Fundo (mm)	Paredes (mm)
≤ 10	5,0	2,5
≤ 40	5,0	3,0
≤ 80	10,0	3,8
> 80	13,0	5,0

Fonte: DNIT 437-2022-ME

Pontua-se, ainda, que os recipientes devem ter a borda reforçada externamente por um colar de 40 mm de altura, confeccionado com chapa de 3,0 mm de espessura, do mesmo material do recipiente.

Determinação do volume do recipiente:

A Equipe de Auditoria pode determinar o volume do recipiente utilizando-se das premissas indicadas no item 6.1 da Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio, conforme descrito a seguir:

- a) Determinar a massa do conjunto: recipiente vazio e placa de vidro, ambos secos e limpos, em temperatura ambiente, com precisão de 0,05 kg.
- b) Colocar uma fina camada de graxa na borda do recipiente para evitar extravasamento de água do recipiente.
- c) Encher o recipiente com água, ambos à temperatura ambiente, e cobrir com a placa de vidro de forma a eliminar as bolhas de ar e o excesso de água.
- d) Remover cuidadosamente a água extravasada.

- e) Determinar a massa do conjunto: recipiente, água e placa de vidro, com precisão de 0,05 kg.
- f) Medir a temperatura da água com a precisão de 0,1°C e determinar sua densidade, conforme indicado adiante, interpolando, se necessário.

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m³)
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

Fonte: DNIT 437-2022-ME

Recomenda-se que o volume do recipiente seja determinado logo após a sua aquisição e, posteriormente, pelo menos, uma vez por ano ou sempre que houver incerteza quanto à acurácia do volume do recipiente. Recomenda-se manter um registro da determinação do volume.

O volume do recipiente pode ser calculado conforme a seguinte equação:

$$V = (C - R)/D$$

Onde:

V é o volume nominal do recipiente, expresso em metros cúbicos (m³);

C é a massa do conjunto recipiente mais água e placa de vidro, expressa em quilogramas (kg);

R é a massa do conjunto recipiente mais placa de vidro, expressa em quilogramas (kg); e,

D é a densidade da água para a temperatura medida no ensaio, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³)

Determinação da Massa Específica Aparente Solta Seca (σ_s):

A Massa Específica Aparente Solta Seca (σ_s) é obtida pela razão entre a massa de solo na condição seca em estado solto e o volume do recipiente preenchido por estes materiais, expressa em kg/m³.

A Equipe de Auditoria deve, inicialmente, garantir que os materiais estejam na condição seca, colocando-os em estufa a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por tempo suficiente para atingir massa constante.

Com o material seco, deve-se utilizar das premissas indicadas no item 6.2 da Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio, conforme descrito a seguir:

- a) Escolher o recipiente a ser utilizado em função do Tamanho Nominal Máximo (TMN) dos materiais;
- b) Determinar a massa do recipiente vazio e seco, com precisão de 0,05 kg;
- c) Preencher o recipiente com os materiais até transbordar, utilizando uma pá ou concha. Os materiais devem ser lançados no centro do recipiente, de uma altura não superior a 5,0 cm acima do topo do recipiente;
- d) Nivelar a superfície formada pelos solos em relação ao plano da borda do recipiente;
- e) Determinar a massa do conjunto: recipiente mais solo, com precisão de 0,05 kg.

A Massa Específica Aparente Solta Seca (σ_s) pode ser calculada conforme a seguinte equação:

$$\sigma_s = (G_s - T)/V$$

Onde:

σ_s é a Massa Específica Aparente Solta Seca dos solo em estado solto, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

G_s é a massa do recipiente mais o solo no estado solto, expressa em quilogramas (kg);

T é a massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg); e,

V é o volume nominal do recipiente, expresso em metros cúbicos (m³).

Resultados:

A Massa Específica Aparente Solta Seca Auditada em Campo (σ_{s_c}) será a média aritmética das massas específicas aparentes solta seca obtidas para os materiais coletados em cada o local ou segmento homogêneo.

Caso ocorram distorções relevantes entre os valores das massas específicas aparentes solta seca, a Equipe de Auditoria poderá avaliar a possibilidade de ocorrência de material heterogêneo entre materiais coletados, o que pode indicar a necessidade de realizar ensaios complementares ou redefinição da abrangência do local ou segmento homogêneo.

4. POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

-

5. DOCUMENTOS PARA A INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de terraplenagem;
- b) Fichas dos ensaios realizados;
- c) Boletins de Medição dos serviços de terraplenagem, respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- a) Norma DNER-ME 052/94 Solo e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”;
- b) Norma DNER-ME 092/94 Solo – Determinação da massa específica aparente “*in situ*”, com emprego do frasco de areia;
- c) Norma DNER-ME 162/94 Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas – Método de Ensaio;
- d) Norma DNIT 164/2013-ME Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio;
- e) Norma DNIT 437/2022 – ME Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio;
- f) Norma ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010 – Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação
- g) Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico;
- h) Norma ABNT NBR 16972/2021 – Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios;
- i) PROC-IBR-ROD 202/2025 – Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle Tecnológico de Serviços de Terraplenagem para Fins de Auditoria;
- j) PROC-IBR-ROD 203/2025 – Plano de Amostragem e Coleta de Amostras de solos para Fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem;
- k) PROC-IBR-ROD 204/2025 – Plano de Amostragem e Coleta de Amostras de solos para Fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem
- l) PROC-IBR-ROD 208/2025 – Análise de Compatibilidade entre os materiais coletados nas origens e destinos de Camadas de Terraplenagem para Fins de Auditoria
- m) PROC-IBR-ROD 210/2025 – Análise dos Serviços de Compactação de Aterros para fins de Auditoria; e
- n) PROC-IBR-ROD 218/2024 – Análise do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão de solos para fins de Auditoria de Serviços de Terraplenagem.