



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE  
TRANSPORTES  
DIRETORIA-GERAL  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA  
INSTITUTO DE PESQUISAS EM  
TRANSPORTES  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lota A  
Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília - DF - CEP 70040-902  
Tel./fax: (61) 3315-4831

JUNHO 2023

NORMA DNIT 228/2023 – ME

## Solos – Ensaio de compactação em equipamento miniatura – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

**Processo:** 50600.005729/2023-86

**Origem:** Norma DNER – ME 228/94

**Aprovada pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 06/06/2023.**

*Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.*

### Palavras-chave:

Ensaio de compactação, Mini-Proctor, curva de compactação

### Nº total de páginas

17

### Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos finos lateríticos, compactados em escala reduzida, nas energias de compactação normal, intermediária ou outra especificada pelo projetista, utilizando corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, moldados com amostras não trabalhadas. Descreve os equipamentos, amostragem, cálculos e condições para a obtenção dos resultados.

### Abstract

This document establishes the systematic for determining the relationship between the moisture content and the density of tropical fine soils, compacted on a reduced scale, at normal, intermediate or other specified compaction energy, using 50 mm diameter and 50 mm height cylindrical specimens molded with unworked samples. It describes required apparatus, sampling, calculations, and the conditions for obtaining the results.

### Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo .....	1
2 Referências normativas.....	2

3 Termos e definições .....	2
4 Aparelhagem .....	3
5 Amostragem .....	4
6 Preparação das amostras .....	4
7 Aferição do aparelho de compactação.....	5
8 Execução do ensaio .....	5
9 Cálculos.....	7
10 Resultados.....	8
Anexo A (Normativo) – Tabelas e figuras.....	9
Anexo B (Informativo) Bibliografia .....	16
Índice geral .....	17

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 1º de novembro de 2022 e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

Esta publicação cancela e substitui a norma DNER – ME 228/94.

### 1 Objetivo

Esta Norma estabelece a determinação da relação entre o teor de umidade do solo e sua massa específica aparente seca (curva de compactação), para solos finos tropicais,

compactados no aparelho de compactação miniatura Mini-Proctor, nas energias normal, intermediária ou outra especificada pelo projetista, utilizando amostras não trabalhadas.

## 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – PRO 003/94: Coleta de amostras deformadas de solos – Procedimento.
- b) \_\_\_\_\_. DNER – EM 035/95: Peneiras de malha quadrada para análise granulométrica de solos – Especificação de material.
- c) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 259/2023 – CLA: Solos – Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura – Classificação.

## 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

### 3.1 Solo fino

Solo que passa quase que integralmente (pelo menos 95 %) na peneira nº 10 (2 mm).

### 3.2 Compactação

Processo mecânico destinado a reduzir o volume de vazios de um solo, com o objetivo de aumentar sua massa específica, resistência e estabilidade. No ensaio de compactação Mini-Proctor, esse processo é realizado com solo fino tropical, utilizando apenas a fração que passa integralmente na peneira nº 10 (2 mm). As amostras são compactadas em moldes cilíndricos, na energia de compactação especificada, por meio da aplicação de golpes sucessivos, com soquete de massa e altura de

queda padronizadas, obtendo corpos de prova com aproximadamente 50 mm de altura e diâmetro. A energia de compactação é calculada pela Equação 1:

$$E_C = \frac{M \times H \times N \times n}{V} \quad (1)$$

Onde:

$E_C$  é a energia de compactação, expressa em kilograma força por centímetro quadrado (kgf/cm<sup>2</sup>);

$M$  é a massa do soquete, expressa em kilograma (kg);

$H$  é a altura de queda do soquete, expressa em centímetro (cm);

$N$  é o número de camadas (para o Mini-Proctor, N=1);

$n$  é o número de golpes por camada;

$V$  é o volume do CP, expresso em centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>).

A Tabela A1 do Anexo A apresenta as características utilizadas para os cálculos das energias de compactação normal e intermediária do ensaio de compactação Mini-Proctor.

### 3.3 Teor de umidade

Razão entre a quantidade de água contida em uma certa porção de solo e a sua massa seca em estufa, expressa em porcentagem.

### 3.4 Umidade higroscópica

Teor de umidade residual que o solo apresenta quando seco ao ar.

### 3.5 Massa específica aparente seca (MEAS)

Razão entre a massa de uma certa porção de solo seco em estufa e o seu volume aparente, expressa em gramas por centímetro cúbico ou outra unidade do SI.

### 3.6 Curva de compactação Mini-Proctor

É o gráfico cartesiano que correlaciona para cada energia de compactação, em escala aritmética, os valores dos

teores de umidade de compactação ( $h_c$ ), no eixo das abscissas e seus correspondentes valores de *MEAS*, no eixo das ordenadas. A curva de compactação Mini-Proctor é apresentada no formato aproximado de parábola com a concavidade voltada para baixo, na qual a região anterior ao vértice teórico da parábola é designada de “ramo seco” e a região posterior ao vértice é designada “ramo úmido”, conforme exemplo da Figura A7 do Anexo A.

### 3.7 Massa específica aparente seca máxima

É o valor de *MEAS*, obtido no eixo das ordenadas, correspondente ao vértice teórico da curva de compactação. Representa, para cada energia de compactação, o estado físico do solo no qual o corpo de prova apresenta o menor volume de vazios.

### 3.8 Umidade ótima

É o valor de teor de umidade, obtido no eixo das abscissas, correspondente à massa específica aparente seca máxima.

## 4 Aparelhagem

A aparelhagem e o material necessários:

a) compactador miniatura, Figura A1 do Anexo A, e acessórios, conforme especificados abaixo:

- base de concreto para fixar a armação;
- armação metálica composta por base, placa superior, placa inferior, pistão cilíndrico com 49,8 mm de diâmetro e 80 mm de altura, hastes com extremidades rosqueáveis e porcas para ajuste da altura das placas, conforme Figura A2 do Anexo A;
- soquetes cilíndricos de aço, tipos leve e pesado, respectivamente, com massas de 2,270 kg e 4,540 kg, ambos com altura de queda de 30,5 cm e com sapatas de 49,8 mm de diâmetro, conforme Figura A3 do Anexo A;
- dispositivo de alavanca para extração de corpos de prova, conforme Figura A4 do Anexo A;

- espaçadores de aço, tipo meia cana, com altura de 50 mm e raio interno de 25 mm, conforme Figura A5 do Anexo A;
  - moldes cilíndricos de compactação, confeccionados em aço inoxidável, latão ou bronze, com diâmetro interno de 50 mm e altura de 130 mm, conforme Figura A5 do Anexo A;
  - cilindro padrão de aço maciço, com diâmetro de 49,8 mm, de faces perfeitamente paralelas e polidas, com altura de 50 mm, conforme Figura A5 do Anexo A;
  - assentador cilíndrico tipo sapata, conforme Figura A5 do Anexo A, com base de 49 mm de diâmetro e comprimento de cerca de 130 mm, confeccionado em madeira, alumínio ou outro material com resistência adequada;
  - anéis de vedação de latão, bronze ou aço inoxidável, com 50 mm de diâmetro externo e seção triangular isósceles; catetos de 2,5 mm (um paralelo ao eixo do molde e outro perpendicular ao mesmo), com um corte transversal, conforme Figura A5 do Anexo A;
  - discos de polietileno de 0,2 mm de espessura e diâmetro de 50 mm, conforme Figura A6 do Anexo A;
  - funil, com bocal maior com 15 cm de diâmetro, bocal menor com 4,5 cm de diâmetro e altura de cerca de 25 cm, conforme Figura A6 do Anexo A;
  - extensômetro com curso mínimo de 50 mm e precisão de 0,01 mm, conforme exemplo da Figura A1 do Anexo A;
  - dispositivo para fixar o extensômetro na armação, permitindo a leitura da altura do corpo de prova, conforme exemplo da Figura A1 do Anexo A;
- b) balança de precisão com capacidade nominal de 2 kg e resolução de 0,01 g;

- c) estufa capaz de manter a temperatura a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se possível, a estufa deve ser ventilada;
  - d) cápsula de alumínio ou outro material adequado;
  - e) peneira de malha quadrada com abertura de 2 mm, conforme a norma DNER – EM 035/95;
  - f) almofariz com capacidade de cerca de 5 litros e mão de gral recoberta de borracha;
  - g) sacos plásticos, hermeticamente vedado, com capacidade de cerca de 2 litros;
  - h) recipientes e utensílios de laboratório necessários para a preparação das amostras de solo;
  - i) vaselina sólida;
  - j) planilha de ensaio, conforme exemplo constante na Figura A7 do Anexo A.
- d) homogeneizar bem a amostra destorroada e passante na peneira nº 10;
  - e) pesar a amostra homogeneizada e retirar uma fração para determinação do teor de umidade higroscópica, conforme subseção 8.2, para eventual uso nos cálculos da percentagem de fração retida na peneira nº 10 e das umidades nas porções que serão compactadas;
  - f) dividir a amostra restante em cinco porções iguais de aproximadamente 500 g cada;
  - g) em uma das cinco porções, adicionar água gradativamente (medindo o volume adicionado) e devolvendo continuamente o material, até atingir um teor de umidade considerado próximo da umidade ótima presumível para o solo utilizado;
  - h) homogeneizar a porção preparada com a umidade ótima presumível, destorroando o solo manualmente, para minimizar os grumos e uniformizar o teor de umidade. Em seguida, adicioná-la em saco plástico hermeticamente vedado, identificado com o número três (3º ponto da curva de compactação) e manter em câmara úmida, por um período mínimo de 12 horas;

## 5 Amostragem

A amostra deve ser coletada de acordo com a Norma DNER – PRO 003/94, com quantidade mínima de 2,700 kg de fração passando na peneira de nº 10 (2 mm).

## 6 Preparação das amostras

- a) colocar toda a amostra recebida em bandejas para secar até que a sua umidade fique próxima da umidade higroscópica. A secagem pode ser realizada ao ar livre ou em estufa com temperatura máxima de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - b) depois da secagem, destorroar toda a amostra com o auxílio do almofariz e da mão de gral revestida de borracha;
  - c) em seguida, peneirar toda a amostra na peneira de malha quadrada nº 10 (2 mm). Os torrões de solo retidos na peneira devem ser destorroados de maneira contínua, sem que ocorra a quebra de partículas, até que a fração fina passe totalmente. Ao final deste processo, deve-se determinar a percentagem correspondente à fração retida na peneira nº 10, que não deve ultrapassar 5 %, e este material deve ser descartado;
- i) para as quatro porções restantes, adicionar, em cada uma delas separadamente, os volumes de água necessários para que se obtenham duas porções com umidade inferior à umidade ótima presumível (1º e 2º pontos da curva de compactação) e duas com umidade superior (4º e 5º pontos), de modo que as cinco amostras preparadas para o ensaio tenham teores de umidade sucessivamente crescentes entre si, com variação de umidade entre pontos consecutivos da curva de compactação de, aproximadamente, 1 % a 2 % para solos arenosos e 2 % a 3 % para solos argilosos e siltosos;
  - j) homogeneizar, separadamente, as quatro porções preparadas, logo após a adição de água, destorroando o solo manualmente, para minimizar os grumos e uniformizar o teor de umidade. Em seguida, adicioná-las, individualmente, em sacos plásticos hermeticamente vedados, identificados com os números um, dois, quatro e cinco (1º, 2º, 4º e 5º pontos da curva de compactação), seguindo a ordem

crescente de umidades, e manter as amostras em câmara úmida, junto com a amostra de umidade ótima presumível, por um período mínimo de 12 horas.

## 7 Aferição do aparelho de compactação

O aparelho de compactação miniatura deve ser aferido, para efeito da determinação da altura do corpo de prova, do seguinte modo:

- a) posicionar o suporte espaçador bipartido em torno do pistão inferior do conjunto compactador;
- b) assentar o molde cilíndrico sobre o espaçador bipartido, envolvendo o pistão inferior, e colocar dentro do molde dois discos de polietileno e o cilindro padrão de aço maciço;
- c) posicionar o soquete compactador a ser utilizado sobre a superfície superior do cilindro padrão (dentro do molde) e fixar a sua haste à placa inferior da armação, de forma centralizada;
- d) fixar o suporte do extensômetro sobre a placa superior da armação de compactação e posicionar o extensômetro, de modo que a sua haste móvel fique perfeitamente centralizada sobre a haste do soquete;
- e) ajustar a altura do extensômetro e fixá-lo no suporte, de modo que a sua haste móvel fique em contato com o topo da haste do soquete compactador e que seu curso fique totalmente livre para realizar as leituras;
- f) realizar a leitura do extensômetro;
- g) calcular a constante de aferição  $K_a$  do conjunto compactador-soquete e anotar seu valor na folha de ensaio. O cálculo de  $K_a$  é obtido pela Equação 2:

$$K_a = A_c + L_a \quad (2)$$

Onde:

$K_a$  é a constante de aferição, expressa em milímetros (mm);

$A_c$  é a altura do cilindro padrão, expressa em milímetros (mm);

$L_a$  é a leitura do extensômetro a que se refere a alínea “f”, expressa em milímetros (mm).

NOTA 1: A constante  $K_a$  depende da posição do extensômetro. Portanto, na execução do ensaio, as leituras devem ser realizadas com o extensômetro fixado na mesma posição utilizada na aferição. Caso o extensômetro seja invertido, os sinais nas Equações (2) e (3) também devem ser invertidos.

NOTA 2: Alguns extensômetros podem apresentar leitura inicial ajustável. Nesse caso, as alturas dos corpos de prova poderão ser determinadas diretamente, sem o uso da constante  $K_a$ .

## 8 Execução do ensaio

### 8.1 Compactação

A compactação dos corpos de prova deve ser realizada, na energia especificada, conforme os seguintes passos:

- a) limpar os moldes a serem usados e lubrificar com vaselina, removendo os excessos;
- b) posicionar os espaçadores envolvendo o pistão inferior. Assentar o molde sobre os espaçadores, também envolvendo o pistão inferior. Colocar dentro do molde, de forma centralizada, um disco de polietileno e, se necessário, um anel de vedação;

NOTA 3: Recomenda-se o uso dos anéis de vedação quando a folga entre o diâmetro interno do molde e o diâmetro do pistão inferior for superior a 0,2 mm e/ou quando se utilizam porções muito úmidas de argilas e siltes argilosos.

- c) tomar a porção de amostra preparada com o teor de umidade ótima presumível, conforme a alínea “g” da seção 6, retirar do saco plástico, homogeneizar e pesar a massa inicial de compactação ( $M_i$ ) do corpo de prova, com precisão de 0,01 g. Para esta porção da amostra, sugere-se a massa inicial de 200 g;
- d) despejar no molde a massa inicial de compactação ( $M_i$ ) do corpo de prova com auxílio do funil;

- e) nivelar o solo dentro do molde com auxílio do assentador exercendo uma leve pressão e efetuando pequenos movimentos rotativos;
- f) colocar, se necessário, um segundo disco de polietileno sobre o topo da porção de solo, introduzindo em seguida, outro anel de vedação, conforme recomendações constantes na Nota 3;
- g) colocar o segundo disco de polietileno sobre o topo da porção de solo, se necessário, introduzindo em seguida, outro anel de vedação, conforme recomendações constantes na Nota 3;
- h) coletar duas amostras para determinar o teor de umidade, conforme a subseção 8.2, utilizando a porção da amostra que restou no saco plástico;
- i) efetuar a compactação obedecendo a seguinte sequência:
- colocar o soquete, previamente aferido, sobre o topo da amostra protegida com disco de polietileno e aplicar a metade do número de golpes correspondente ao soquete e à energia especificada;
  - retirar o soquete e os espaçadores, inverter o corpo de prova, recolocar o soquete e aplicar a outra metade do número de golpes em conformidade com o item anterior;
  - efetuar a leitura do extensômetro e calcular a altura do corpo de prova ( $A$ ), pela Equação 3:

$$A = K_a - L \quad (3)$$

Onde:

$A$  é a altura do corpo de prova, expressa em milímetro (mm);

$K_a$  é a constante de aferição, obtida conforme seção 7, expressa em milímetro (mm);

$L$  é a leitura do extensômetro, expressa em (mm).

- se a altura do corpo de prova estiver compreendida dentro do intervalo ( $50 \pm 1$ ) mm, a operação de compactação para o teor de umidade considerado está encerrada;
- se a altura do corpo de prova não estiver dentro do intervalo de ( $50 \pm 1$ ) mm, o corpo de prova deve ser descartado e o procedimento deve ser repetido com a parte restante da porção da amostra utilizada, referida na alínea “c” da seção 8, corrigindo a massa a ser utilizada pela Equação 4:

$$M_c = \frac{M_i \times 50}{A} \quad (4)$$

Onde:

$M_c$  é a massa corrigida para a nova compactação, expressa em gramas (g);

$M_i$  é a massa inicial utilizada na compactação, conforme a alínea “c” da seção 8, expressa em gramas (g);

$A$  é a altura do corpo de prova obtida com a massa inicial, expressa em milímetros (mm).

- com a massa corrigida, repetir as operações das alíneas de “a” a “f” e da alínea “h”, até que a condição de altura do corpo de prova seja satisfeita para aquela umidade;

NOTA 4: Caso a correção de massa tenha que ser feita muitas vezes e a massa da porção não for suficiente, uma nova porção de solo deve ser preparada com a mesma umidade, conforme a seção 6, e todas as operações da seção 8 devem ser repetidas, até que a altura do corpo de prova compactado fique dentro do intervalo ( $50 \pm 1$ ) mm.

- j) após finalizar a compactação da porção com umidade ótima presumível, repetir os procedimentos da alínea “a” até a alínea “h”, com exceção da alínea “c”, utilizando as quatro porções de solo restantes;

k) as massas iniciais para a compactação dos corpos de prova das quatro porções de solo restantes devem ser determinadas, a partir da massa final de compactação do corpo de prova com umidade ótima presumível, da seguinte forma:

- para os pontos do ramo seco, a massa deve ser variada conforme recomendação descrita a seguir:
  - a massa inicial de compactação do corpo de prova para uma determinada umidade será igual à massa final do corpo de prova com umidade imediatamente superior subtraída da variação de massa. Por exemplo, a massa inicial da amostra identificada com o número 2 será igual a massa final da amostra número 3 menos a variação de massa.
- para os pontos do ramo úmido, a massa deve ser variada conforme recomendação descrita a seguir:
  - a massa inicial de compactação do corpo de prova para uma determinada umidade será igual à massa final do corpo de prova com umidade imediatamente inferior subtraída da variação de massa. Por exemplo, a massa inicial da amostra identificada com o número 4 será igual a massa final da amostra número 3 menos a variação de massa.
- como primeira aproximação, recomenda-se utilizar a variação de massa apresentada a seguir, conforme o tipo do solo, classificado conforme a norma DNIT 259/2023 – CLA:
  - solos lateríticos – 20 g;
  - solos argilosos não lateríticos – 18 g;
  - demais solos não lateríticos – 14 g.

## 8.2 Determinação da umidade

A determinação do teor de umidade, onde for necessária, deve ser feita conforme os passos seguintes:

- a) identificar e pesar, separadamente, duas cápsulas, limpas e secas e anotar as respectivas massas como  $A_1$  e  $B_1$ ;
- b) colocar as amostras úmidas coletadas dentro das duas cápsulas, pesar, separadamente, os dois conjuntos solo úmido + cápsula e anotar as respectivas massas obtidas como  $A_2$  e  $B_2$ . As massas das amostras de solo úmido serão iguais a  $A_2 - A_1$  e  $B_2 - B_1$ , respectivamente;
- c) transferir os conjuntos para uma estufa e secar as amostras na temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , por um período mínimo de 12 horas ou até constância de massa. No caso de avaliação da umidade higroscópica, a temperatura não deve ultrapassar  $60\text{ °C}$ ;
- d) pesar, separadamente, os conjuntos (solo seco + cápsula) e anotar as respectivas massas obtidas como  $A_3$  e  $B_3$ . As massas das amostras de solo seco serão iguais a  $A_3 - A_1$  e  $B_3 - B_1$ , respectivamente;
- e) calcular os dois valores de umidade, conforme a subseção 9.1, e obter a média aritmética entre eles.

## 9 Cálculos

### 9.1 Teor de umidade

O teor de umidade, onde for necessário, deve ser calculado pela Equação (5), utilizando as massas determinadas conforme a subseção 8.2:

$$h = \frac{(m_h - m_s) \times 100}{A} \quad (5)$$

Onde:

$h$  é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%);

$m_h$  é a massa da amostra de solo úmido, expressa em grama (g);

$m_s$  é a massa da amostra de solo seco em estufa, expressa em grama (g).

## 9.2 Massa específica aparente seca

Calcular a massa específica aparente seca de cada corpo de prova compactado pela Equação 6:

$$MEAS = \frac{M_h \times 100}{(100 + h_c) \times V} \quad (6)$$

Onde:

*MEAS* é a massa específica aparente seca do corpo de prova compactado, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

*M<sub>h</sub>* é a massa úmida do corpo de prova compactado, expressa em gramas (g);

*h<sub>c</sub>* é o teor de umidade do corpo de prova compactado, expresso em porcentagem (%);

*V* é volume do corpo de prova compactado, expresso em centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>).

NOTA 5: Quando forem utilizados anéis de vedação, o volume total dos anéis deve ser subtraído do volume do corpo de prova.

Com os pares de *MEAS* e *h<sub>c</sub>*, plotar a curva de compactação do solo. Se um dos ramos da curva (seco ou úmido) tiver apenas um ponto, uma sexta porção de solo deve ser preparada, com a umidade adequada, para completar a curva.

## 10 Resultados

O Relatório deve conter os dados de identificação do ensaio e as informações seguintes:

- a) porcentagem da fração retida na peneira de nº 200 (0,075 mm);
- b) energia de compactação utilizada;
- c) curva de compactação;
- d) massa específica aparente máxima do solo seco;
- e) teor ótimo de umidade;
- f) planilha de ensaio completa.



Anexo A (Normativo) – Tabelas e figuras

Tabela A1 – Características do ensaio Mini-Proctor

Característica		Energia	
		Normal	Intermediária
Massa do soquete (M)	(kg)	2,270	4,540
Altura de queda (H)	(cm)	30,5	30,5
Número de golpes por camada (n)		10	12
Número de camadas (N)		1	1
Diâmetro médio do CP ( $D_{CP}$ )	(cm)	5,0	5,0
Altura média do CP ( $A_{CP}$ )	(cm)	5,0	5,0
Volume do CP (V)	(cm <sup>3</sup> )	98,17	98,17
Energia de compactação ( $E_C$ )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	7,05	16,93



(a)



(b)

Figura A1 – Equipamento de compactação miniatura: (a) Modelo de equipamento de compactação miniatura, (b) Exemplo de equipamento real

Fonte: Petrodidática e Egis.

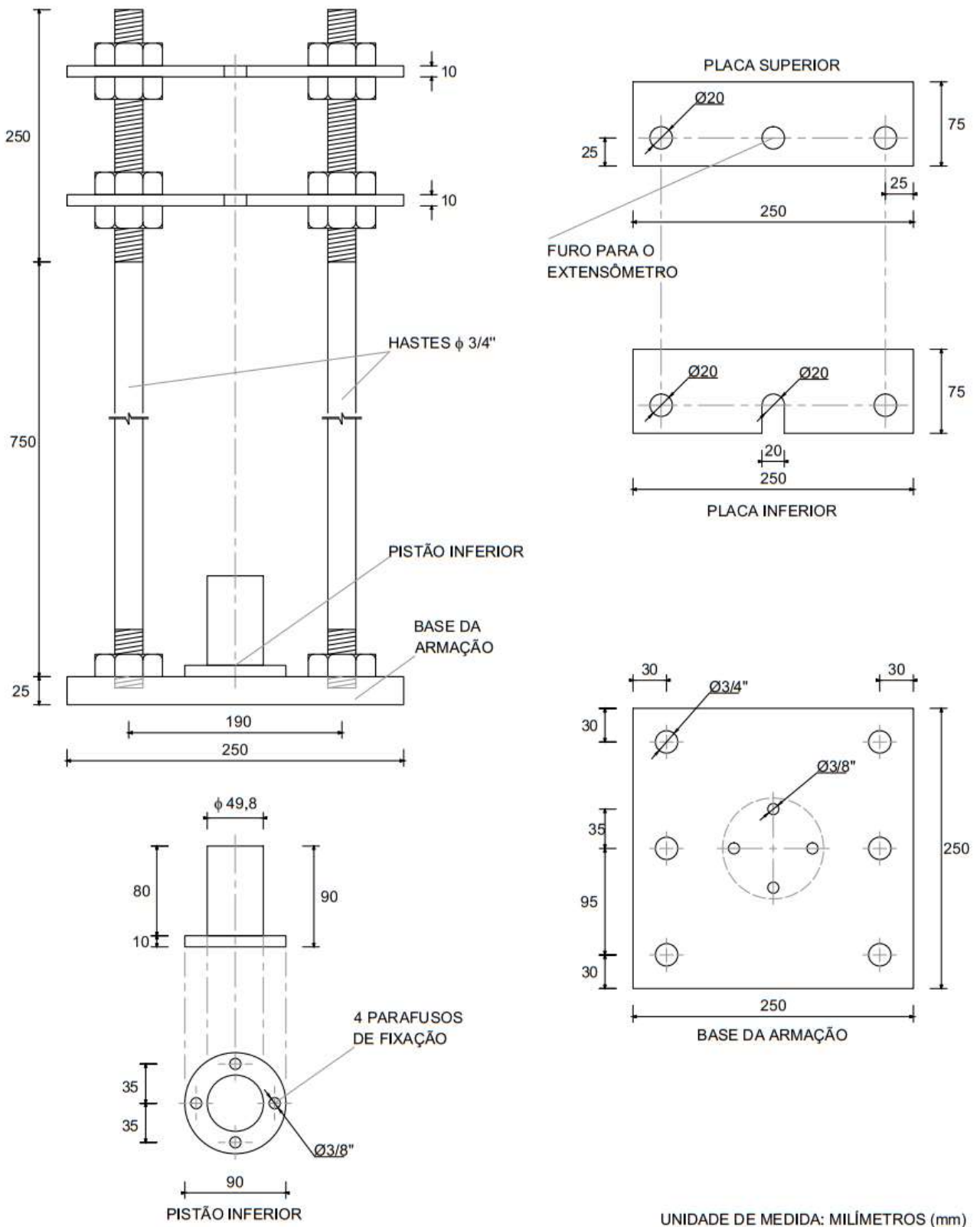


Figura A2 – Exemplo de detalhamento da armação do equipamento de compactação miniatura

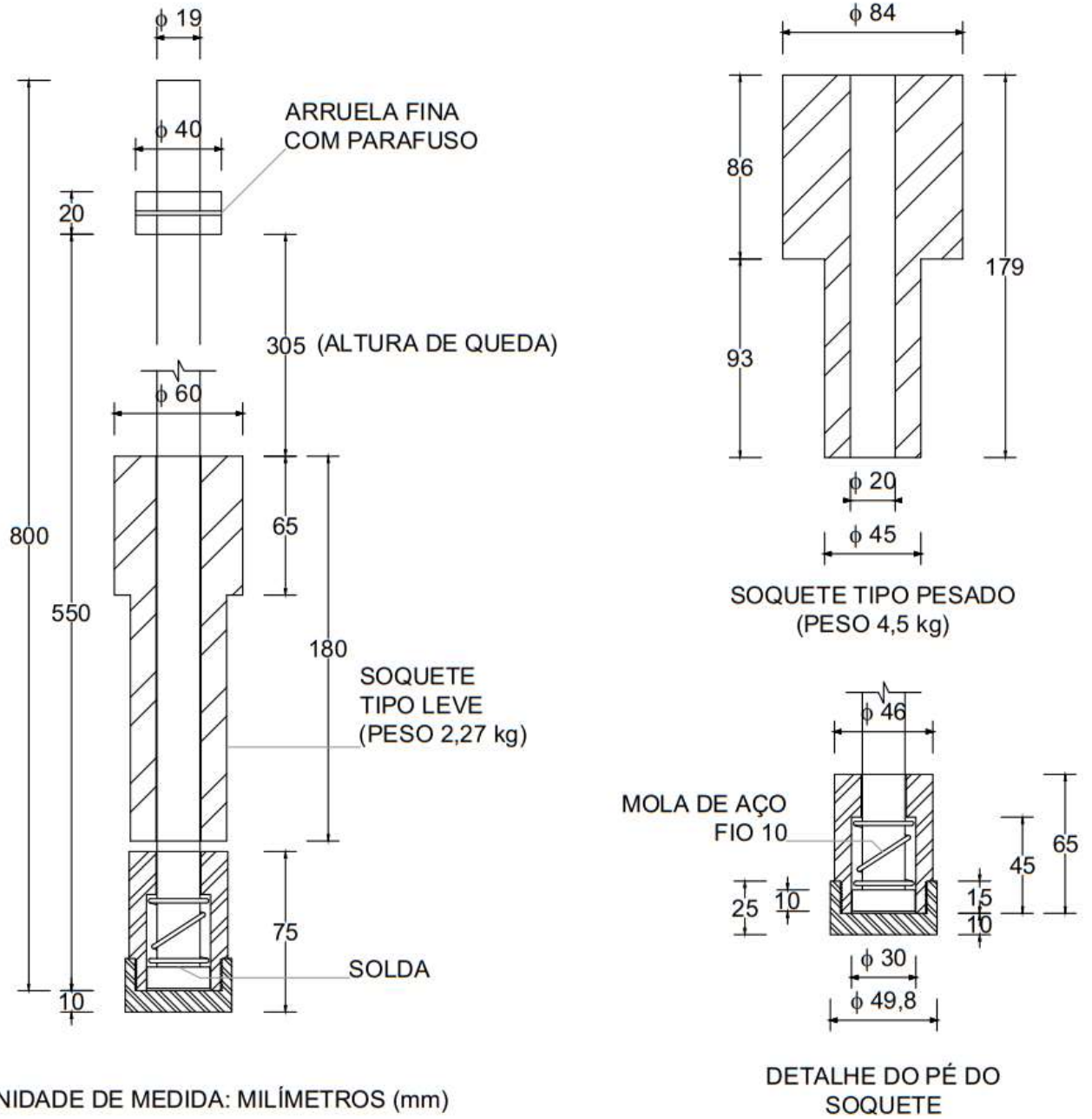


Figura A3 – Exemplo de detalhamento dos soquetes de compactação

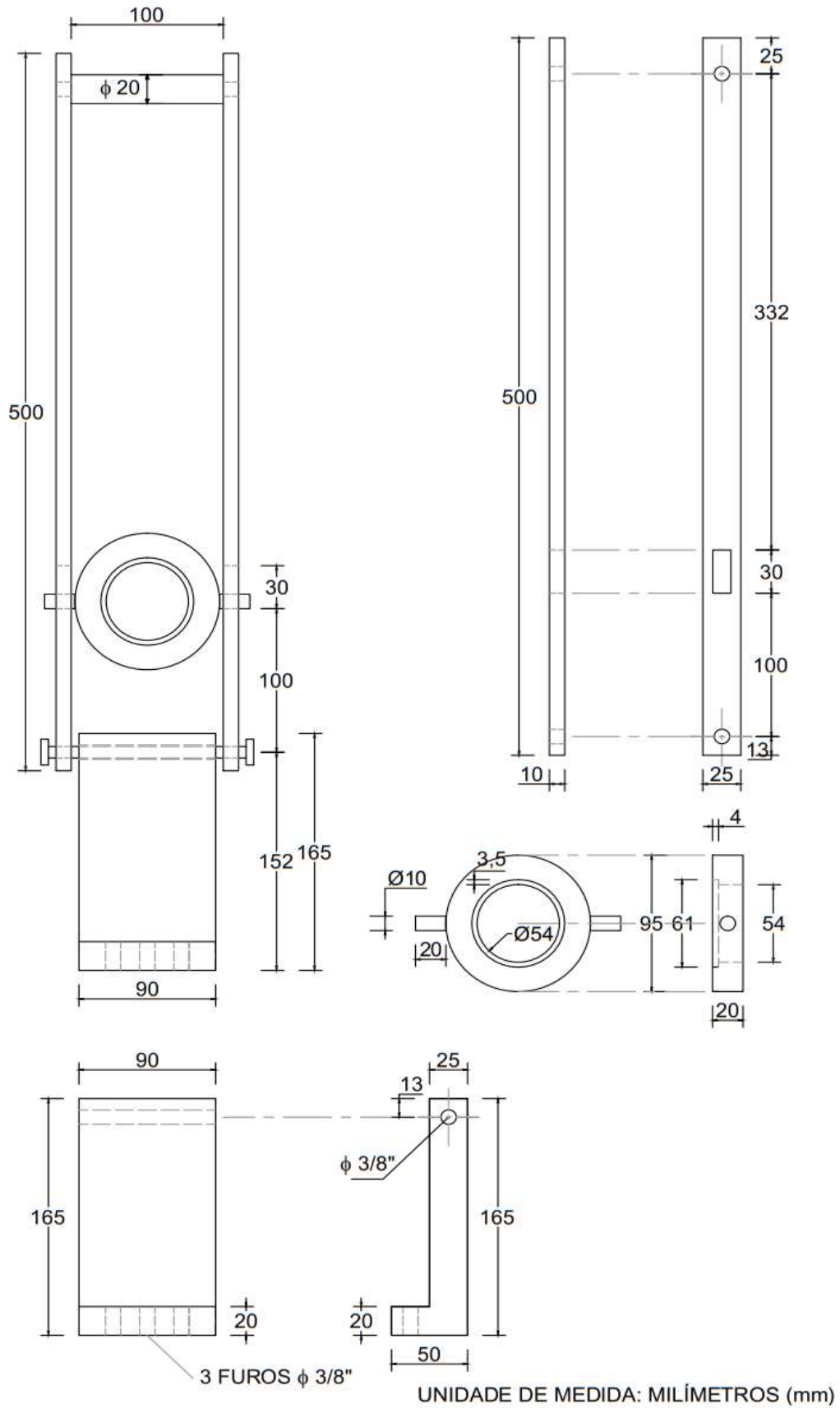


Figura A4 – Exemplo de detalhamento da alavanca para extração dos corpos de prova

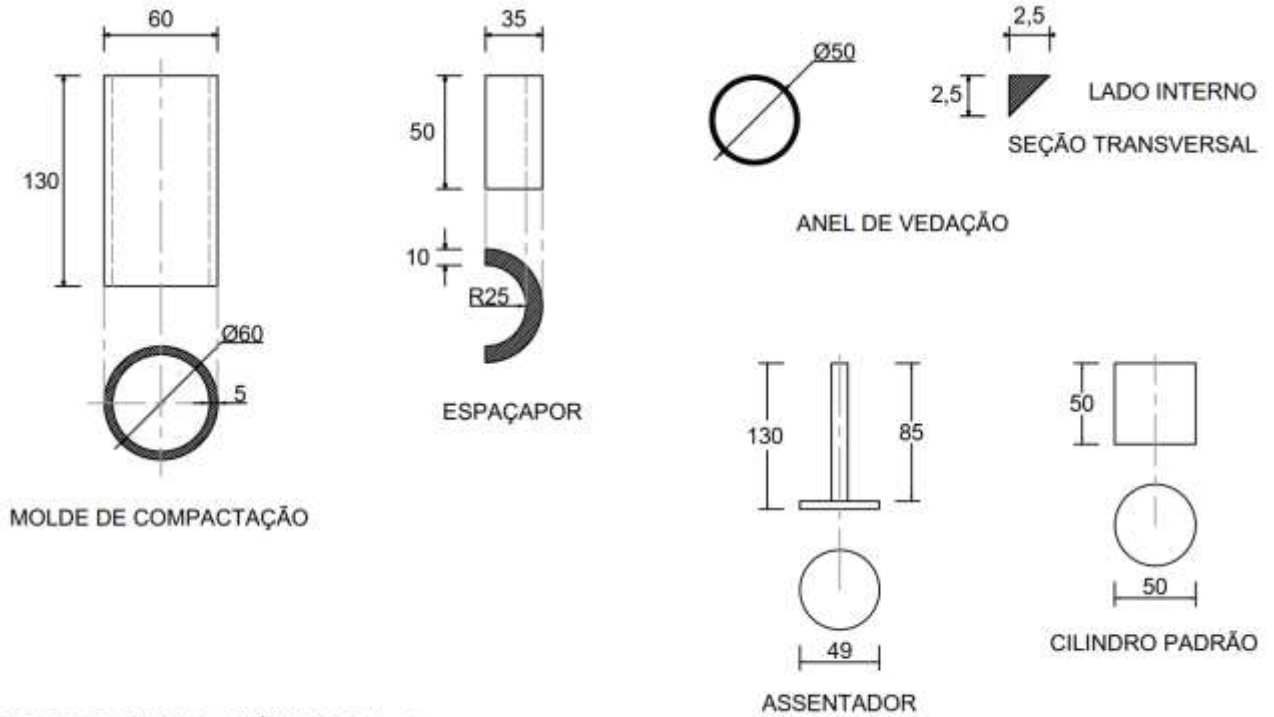


Figura A5 – Exemplo de detalhamento dos acessórios do equipamento de compactação



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura A6 – Exemplo de equipamentos e procedimento de compactação: (a) Equipamentos de compactação miniatura, (b) Molde, discos de polietileno e anéis de vedação, (c) Equipamento montado sobre a base de concreto, (d) Aplicação de golpe com soquete, (e) Realização da leitura do extensômetro, (f) Corpo de prova compactado**

Fonte: Lopes (2011), Oliveira (2018) e Pereira *et al.* (2020).

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO EM EQUIPAMENTO MINIATURA - MINI-PROCTOR									
RODOVIA:		DATA: ____/____/____							
TRECHO:		OPERADOR:							
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA		CILINDRO Nº		1	2	3	4	5	5
MOLDES:		MASSA SOLO ÚMIDO (g)		180	208	187	209	210	210
DIÂMETRO: 50,00 mm		1ª LEITURA EXTENSÔMETRO (mm)		20,45	18,23	22,00	17,68	16,55	16,55
ÁREA DA SEÇÃO: 19,63 cm²		ALTURA DO C.P. (mm)		48,13	51,35	46,58	50,90	52,03	52,03
AFERIÇÃO: Ka = Ac ± La = 50,00 + 18,58 = 68,58 mm		MASSA SOLOS ÚMIDO CORRIGIDA (g)		187	203	201		202	202
ALTURA DO C.P.: A = Ka - La		2ª LEITURA EXTENSÔMETRO (mm)		19,68	18,92	20,10		18,03	18,03
CORREÇÃO DA MASSA A COMPACTAR: Mc = (M x 50)/A		ALTURA DO C.P. (mm)		48,90	49,66	48,48		50,55	50,55
UMIDADE ÓTIMA: 13,60%		MASSA SOLOS ÚMIDO CORRIGIDA (g)		181		207			
MEAS máxima: 1,855 g/cm³		3ª LEITURA EXTENSÔMETRO (mm)		18,75		18,91			
FRAÇÃO RETIDA NA PENEIRA Nº 10 (2 mm): 50%		ALTURA DO C.P. (mm)		49,83		49,67			
		VOLUME DO C.P. (cm³)		97,82	97,48	97,50	99,92	99,23	99,23
		MASSA SOLO COMPACTADO + MOLDE (g)		1193,6	1203,2	1203,3	1197,6	1222,7	1222,7
		TARADO MOLDE (g)		1003,5	999,4	996,8	988,9	1022,7	1022,7
		MASSA SOLO ÚMIDO COMPACTADO (g)		190,1	203,8	206,5	208,7	200,0	200,0
		CÁPSULA Nº		49	69	11	105	52	21
		MASSA SOLO ÚMIDO + CÁPSULA (g)		97,42	89,78	97,88	85,67	81,83	80,82
		MASSA SOLO SECO + CÁPSULA (g)		90,58	84,36	89,77	76,98	73,87	70,44
		TARA DA CÁPSULA (g)		17,59	25,86	25,90	25,82	25,94	18,25
		MASSA DE ÁGUA (g)		6,84	5,42	8,11	7,99	9,76	10,68
		MASSA SOLO SECO (g)		72,99	58,50	63,87	51,36	47,93	52,19
		UMIDADE (%)		9,371	9,265	12,70	13,09	16,61	19,89
		UMIDADE MÉDIA (%)		9,318	12,895	16,764	18,099	20,035	20,035
		MASSA SOLO SECO COMPACTADO (g)		173,90	180,52	176,85	176,72	166,62	166,62
		MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (g/cm³)		1,778	1,852	1,814	1,769	1,679	1,679
		OBSERVAÇÕES:							

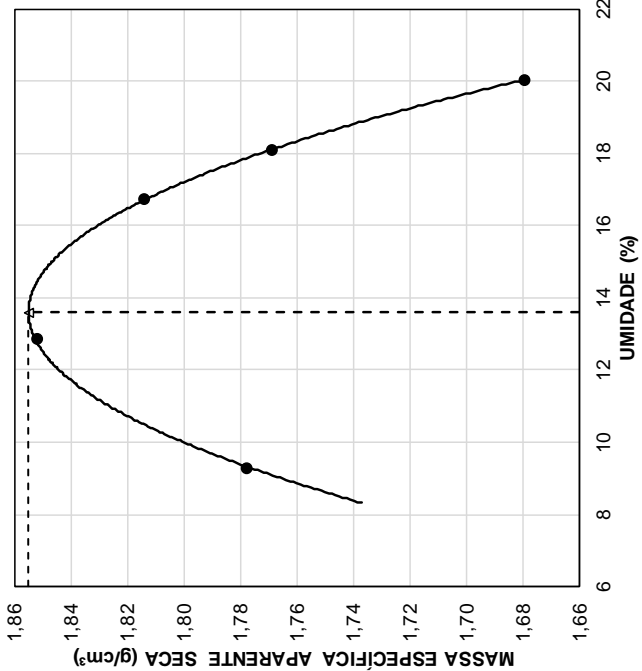


Figura A7 - Exemplo de planilha de ensaio.

**Anexo B (Informativo) Bibliografia**

- a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7182 – Solo – Ensaio de compactação.
- b) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- c) BARROSO S. H. A. Estudo do comportamento de solos artificiais através da adsorção de azul de metileno. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – CLA 259/96: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura – Classificação.
- e) \_\_\_\_\_. DNER – ME 162/94: Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas – Método de ensaio.
- f) \_\_\_\_\_. DNER – ME 228/94: Solos – compactação de solos em equipamento miniatura – Método de ensaio.
- g) \_\_\_\_\_. DNER – ME 258/94: Solos – compactação de solos em equipamento miniatura – Mini-MCV – Método de ensaio.
- h) LOPES, L. S. E. Análise do Comportamento Mecânico e Ambiental de Misturas Solo-Cinzas de Carvão Mineral para Camadas de Base de Pavimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2011.
- i) OLIVEIRA, F. G. Análise da aplicabilidade da classificação MCT na execução de bases rodoviárias com utilização de solos lateríticos estabilizados. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP. Ouro Preto. 2018.
- j) PEREIRA, L. F. *et al.* Estudo da utilização de solos lateríticos e a metodologia MCT: Análise em trecho a ser duplicado na BR-116. Núcleo do Conhecimento. 2020.
- k) VILLIBOR, D. F.; Alves, D. M. L. Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais - Projeto e construção - Novas considerações. Editora Tribo da Ilha. Florianópolis. 2019.



## Índice geral

Abstract.....	1	Massa específica aparente seca máxima .....	3.7.....3
Aferição do aparelho de compactação .....	7.....5	Objetivo .....	1.....1
Amostragem .....	5.....4	Prefácio .....	1
Anexo A (Normativo) – Tabelas e figuras .....	9	Preparação das amostras .....	6.....4
Anexo B (Informativo) Bibliografia .....	16	Referências normativas.....	2.....2
Aparelhagem .....	4.....3	Resultados .....	10.....8
Cálculos .....	9.....7	Resumo .....	1
Compactação.....	3.2,8.1.....2,5	Solo fino .....	3.1.....2
Curva de compactação Mini-Proctor .....	3.6.....2	Sumário .....	1
Determinação da umidade.....	8.2.....7	Termos e definições.....	3.....2
Execução do ensaio .....	8.....5	Teor de umidade .....	3.3,9.1.....2,7
Índice geral.....	17	Umidade higroscópica.....	3.4.....2
Massa específica aparente seca (MEAS)....	3.5,9.2.....2,8	Umidade ótima .....	3.8.....3