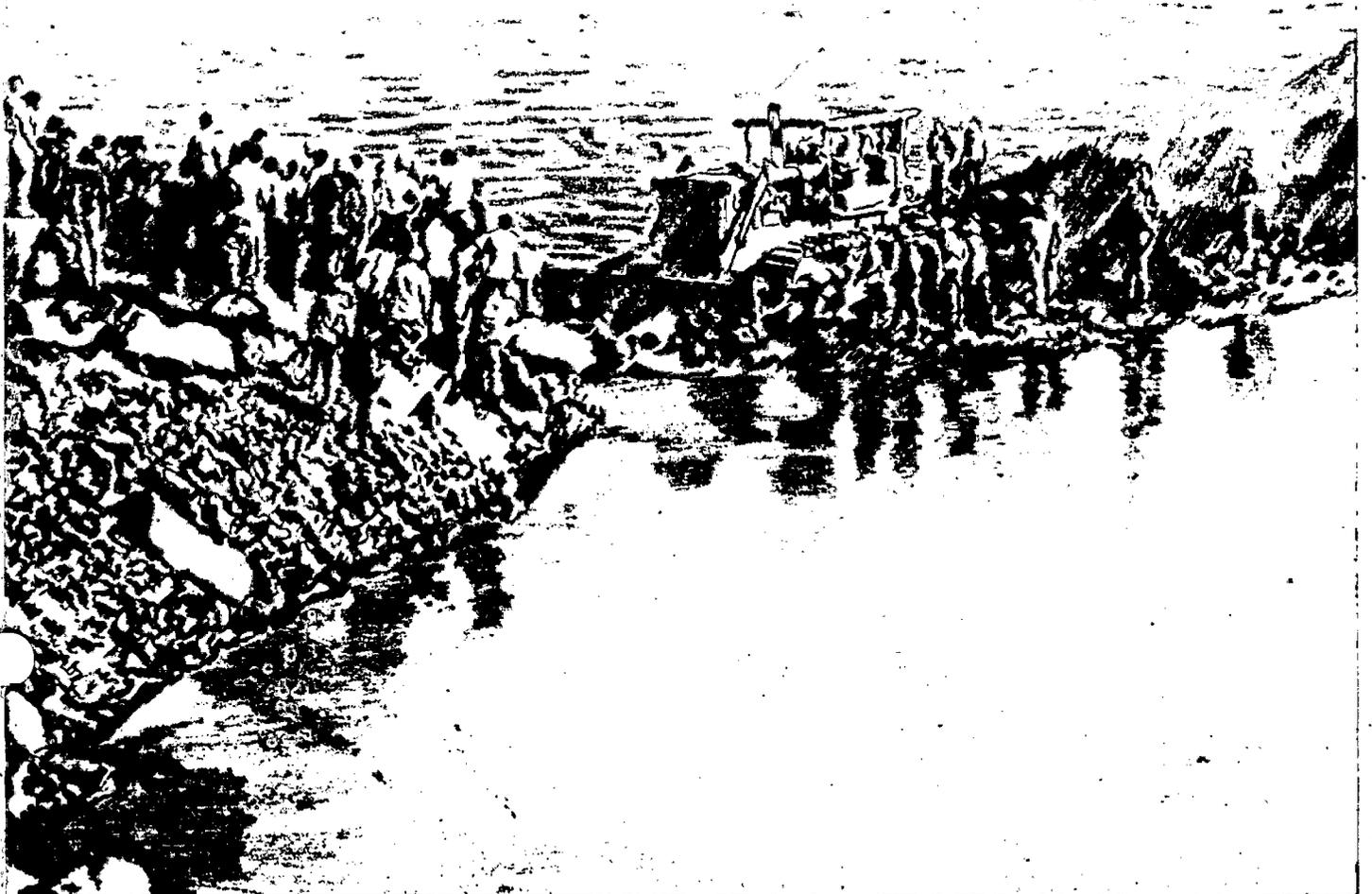


***Métodos de Ensaio
para o Controle de Qualidade
da Execução de uma Barragem
de Terra e Enrocamento***



***Métodos de Ensaio para o
Controle de Qualidade da
Execução de uma Barragem
de Terra e Enrocamento***

Segunda Impressão

***São Paulo
1983***

E - Diretoria de Engenharia e Construções

E EI - Residência de Três Irmãos e Canal

E EIR - Setor de Obras de Terra e Rocha

M.O. 9 418 300

9 418 304

Av. Paulista, 2064 - 15º andar - Sede II

ADDI - Depósito Legal

1 exemplar

FICHA CATALOGRÁFICA

CESP. Métodos de ensaio para o controle de qualidade da execução de uma barragem de terra e enrocamento. SP, 1983. 139p.

BARRAGEM DE TERRA 627.824.1

BARRAGEM DE ENROCAMENTO 627.824.1

I. Título.

E EI - 002/83 - ADDI

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 01
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

A P R E S E N T A Ç Ã O

Este trabalho, complementa o anterior, "Controle de Qualidade da Construção de uma Barragem de Terra e Enrocamento.

Visa apenas facilitar o acesso e consulta do pessoal de Laboratório de Solos da Obra aos métodos de ensaio normalmente utilizados pela nossa Empresa dentro dos critérios aprovados pelo Departamento de Engenharia Civil da Diretoria de Engenharia e Construções.

Foi organizado pelos Engenheiros **Theophilo Garcez Duarte Neto** e **Miguel Hissashi Serizawa** da Seção Obras de Terra, Setor de Obras de Terra e Rocha da Residência de Três Irmãos e Canal.

LUIS ANTONIO MORILA GUERRA
Engº Setor Obras de Terra e Rocha

NÍVEO AURELIO VILLA
Engenheiro Residente

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

02

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

S U M Á R I O

	PÁGINAS
APRESENTAÇÃO	01
MÉTODOS DE ENSAIO A SEREM EXECUTADOS PELO LABORATÓRIO DE SOLOS DA OBRA - MÉTODO LSR	03
1 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE - MÉTODO LSR-01 .	04
2 - ENSAIOS DE CONSISTÊNCIA	11
3 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE REAL DOS GRÃOS - METODO LSR-04	21
4 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	29
5 - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NA ENERGIA DO PROCTOR NORMAL MÉTODO LSR-08	53
6 - ENSAIOS DE PERMEABILIDADE	61
7 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE ATRAVÉS DO MÉTODO HIDROSTÁTICO - MÉTODO LSR-11	75
8 - DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES MÁXIMAS E MÍNIMAS - MÉTODO LSR-12	79
MÉTODOS DE ENSAIOS A SEREM EXECUTADOS PELO LABORATÓRIO DE SOLOS DO CAMPO - METODO LSC	93
1 - MÉTODO DE COLETA DE AMOSTRA DEFORMADA ATRAVÉS DE SONDAGENS A TRADO - MÉTODO LSC-01	94
2 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DA CRAVAÇÃO DO CILINDRO AMSTRADOR - MÉTODO LSC-02 ..	101
3 - MÉTODO DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO - MÉTODO LSC-03 ..	106
4 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO FRASCO DE AREIA - MÉTODO LSC-04	115
5 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO ADENSAMENTO - MÉTODO LSC-05.....	121
6 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO VOLUME DE ÁGUA - MÉTODO LSC-06	131
7 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL GROSSO DAS TRANSIÇÕES E ENROCAMENTO - MÉTODO LSC-07	135

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

03

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

***Métodos de ensaios a serem executados pelo
Laboratório de Solos da Obra - Métodos LSR***

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

04

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

1 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE - MÉTODO LSR-01.

1.1 - Equipamentos.

- Estufa elétrica capaz de manter uma temperatura uniforme de 105º a 110ºC.
- Estufa de lâmpadas de raios infravermelhos
- Cápsulas metálicas sem costura ou rugosidades, com tampa e resistentes a corrosão.
Devem ser pequenas (entre 20 a 400 cm³, tamanhos diversos) e leves em relação a quantidade de solo que será usada na determinação da umidade.

As cápsulas devem ser limpas após cada determinação e periodicamente devem sofrer uma limpeza rigorosa (fervura em detergente, saponáceo, etc.).

Assim que recebidas, as cápsulas devem ser numeradas (mesmo número na tampa e cápsula propriamente dita) e taradas. Novas taragens tornam-se necessárias após as limpezas rigorosas.

Comumente são utilizadas cápsulas circulares com as seguintes dimensões aproximadas:

DIMENSÕES DAS CÁPULAS		
Ø (cm)	h (cm)	ENSAIO
6	3,5	MB-33
10	5	MB-33
4	2	MB-31
4	3	MB-30
3	3	Umidade higroscópica

- Balanças com capacidade e sensibilidade ligadas aos pesos que nela serão feitos e a precisão que se deseja do dado a ser obtido. Normalmente são utilizadas as seguintes balanças:

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EÉI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

05

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

P E S A G E M		
AMOSTRAS (g)	SENSIBILIDADE (g)	E N S A I O S
Até 100	0,01	Umidade higroscópica , MB-30, MB-31 MB-32, MB-33
De 100 a 1000	0,1	MB-33
Acima de 1000	1,0	MB-33

As balanças devem ser do tipo analítica (manuais ou elétricas) e devem estar protegidas de ventos e poeiras.

Aferições do "zero" das balanças devem ser feitas pelo menos uma vez ao dia, assim como a verificação de seu nível de bolha.

Periodicamente, as balanças devem sofrer manutenção preventiva (cada 6 meses é um bom período a ser adotado).

A base que sustenta a balança deve ser rígida e isolada do piso, o suficiente de modo a evitar interferência de vibrações estranhas nas leituras.

1.2 - Amostra.

A quantia de solo a ser usado na determinação do teor de umidade é função:

- do tamanho máximo das partículas.
- da precisão que se deseja da determinação (que está associada às balanças utilizadas).
- da quantia de material disponível.
- da representatividade dessa quantia em relação à amostra total, da qual se pretende conhecer o teor de umidade. (amostras com torrões úmidos e secos, por exemplo).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

06

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- da quantia mínima exigida pelo método do ensaio específico para a qual a determinação está sendo feita.

Se o método de ensaio ou norma específica não fizer recomendação a esse respeito, sugere-se adotar:

QUANTIA DE SOLO A SER USADO NA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	
Ø MÁXIMO DAS PARTÍCULAS	PESO MÍNIMO DA AMOSTRA (g)
≠ 40 ASTM	10
≠ 4 ASTM	100
≠ 3/8"	300
≠ 1/2"	500
≠ 3/4"	1000
≠ 1"	1500
≠ 1 1/2"	2000
≠ 2"	3000

Para amostras com Ø máx. acima de 2" deve-se adotar um peso coerente com a representatividade do todo.

1.3 - Execução do Ensaio.

O ensaio propriamente dito está dividido nas seguintes etapas:

- a) Registra-se em folha apropriada (conforme folha nº 10) todos os dados de identificação da amostra como: número ou nome do ensaio, a que procedência se refere, etc. Registra-se a seguir o número da cápsula na qual estará contida e sua respectiva tara.
- b) Transfere-se rapidamente a porção necessária à cápsula, ajusta-se bem a tampa e pesa-se imediatamente o conjunto, anotando o valor obtido na coluna Peso Úmido + Tara.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

07

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- c) Após esta operação, a cápsula é depositada tampada em uma bandeja apropriada junto as demais até o instante da entrada em estufa.
- d) No instante de introdução das bandejas de cápsulas na estufa, removem-se as tampas que devem ser colocadas sob as respectivas cápsulas. Após a introdução da última bandeja fecha-se a estufa. Deixa-se então a amostra na estufa secando até que se atinja constância de peso, durante um período de tempo de no mínimo, 16 horas.
- e) Após a secagem até a constância de peso, a cápsula é removida da estufa, TAMPADA e deixada esfriar até temperatura ambiente. A estufa deve ser aberta uma única vez ao dia e trocado o conteúdo de cápsulas totalmente.

1.4 - Cálculo do Ensaio.

Calcula-se o teor de umidade da seguinte maneira (conforme folha de cálculo nº 10).

a = Peso úmido + tara (g)

b = Peso seco + tara (g)

c = Tara

(a - b) = Pa = Peso da água (g)

(b - c) = Ps = Peso seco (g)

$$h = \frac{\text{Peso da água}}{\text{Peso seco}} \times 100 = \frac{Pa}{Ps} \times 100$$

$$h = \frac{(a - b)}{(b - c)} \times 100 (\%)$$

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 08
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>1.5 - Causas de Erros.</p> <ul style="list-style-type: none">- A confiabilidade do resultado obtido está ligada à quantidade da amostra a ser ensaiada, tendo em vista a grandeza dos pesos em jogo. Assim a quantidade de solo deve ser a maior possível.- A amostra sobre a qual é feita a determinação deve ser representativa do material, ou em outras palavras, englobar todas as suas heterogeneidades.- Perda de umidade antes da determinação do peso úmido. Pode ocorrer perda significativa de água em solos arenosos, mesmo que a cápsula esteja tampada, se a determinação do peso úmido não for feita imediatamente após a colocação do solo na cápsula.- Temperatura insuficiente da estufa ou variações internas no seu interior. Verificações constantes da faixa 105 a 110°C devem ser feitas e para cada estufa, se possível, deve ser feito um estudo da distribuição interna de temperaturas através de termo-pares (ou outro método qualquer).- Tempo de secagem insuficiente. A hora de abertura da estufa deve ser afixada em plaqueta em sua porta.- Absorção de umidade antes da pesagem seca. Deve-se utilizar o dessecador ou caso a cápsula seja grande para nele ser contida, deve ser pesada mesmo quente. Esta pesagem a quente deve ser rápida e não contínua em razão dos erros que podem ser inseridos conforme o item a seguir.- Pesagem da amostra seca enquanto quente. Algumas balanças mais sensíveis podem ser afetadas pelo calor das cápsulas por contínuas pesagens a quente.	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

09

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- Tara errada das cápsulas. Os pesos das cápsulas devem ser verificados periodicamente, após limpezas rigorosas.

1.6 - Controle de Rotina e Copilação.

Sempre que se puder, retirar no mínimo três amostras para a determinação do teor de umidade.

Deverá ser utilizada a média dos três ou mais resultados do ensaio de teor de umidade. Para este cálculo serão computados somente os valores que não estejam dispersos entre si mais de 1 %; Ver exemplo:

$h_1 = 7,6\%$, $h_2 = 7,8\%$ e $h_3 = 9,0\%$ despreza-se a h_3 e calcula a média (h) com h_1 e h_2 .

O resultado final da umidade média deverá ser regido pelo seguinte arredondamento dos números:

$< 0,05$: conserva-se o valor

$\geq 0,05$: arredonda-se para cima

Exemplo nº 1:

$h_1 = 7,6\%$, $h_2 = 7,9\%$, $h_3 = 7,4\%$

média (\bar{x}) = 7,6333%, arredonda-se para 7,6%.

Exemplo nº 2:

$h_1 = 7,5\%$, $h_2 = 7,4\%$, $h_3 = 7,2\%$

média (\bar{x}) = 7,3666%, arredonda-se para 7,4%.



LABORATÓRIO DE SOLOS
TEOR DE UMIDADE - MÉTODO LSR-01

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R							
ESTACA / FRENTE							
LOCAL							
AMOSTRA	n°						
CÁPSULA	n°						
PESO ÚMIDO + TARA	g						
PESO SECO + TARA	g						
PESO DA ÁGUA	g						
TARA	g						
PESO SECO	g						
UMIDADE	%						
UMIDADE MÉDIA	%						

ESTACA / FRENTE							
LOCAL							
AMOSTRA	n°						
CÁPSULA	n°						
PESO ÚMIDO + TARA	g						
PESO SECO + TARA	g						
PESO DA ÁGUA	g						
TARA	g						
PESO SECO	g						
UMIDADE	%						
UMIDADE MÉDIA	%						

ESTACA / FRENTE							
LOCAL							
AMOSTRA	n°						
CÁPSULA	n°						
PESO ÚMIDO + TARA	g						
PESO SECO + TARA	g						
PESO DA ÁGUA	g						
TARA	g						
PESO SECO	g						
UMIDADE	%						
UMIDADE MÉDIA	%						

ESTACA / FRENTE							
LOCAL							
AMOSTRA	n°						
CÁPSULA	n°						
PESO ÚMIDO + TARA	g						
PESO SECO + TARA	g						
PESO DA ÁGUA	g						
TARA	g						
PESO SECO	g						
UMIDADE	%						
UMIDADE MÉDIA	%						

OPER. _____ VISTO _____ CALC. _____ TURNO _____ DATA ____ / ____ / ____	OBSERVAÇÕES
---	--------------------------------

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 11
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

2 - ENSAIOS DE CONSISTÊNCIA.

2.1 - Determinação do Limite de Liquidez e de Plasticidade - Método LSR-02 e LSR-03

2.1.1 - Equipamentos.

- Cápsula de porcelana com cerca de 12 cm de diâmetro e 5 cm de altura.
- Espátula com lâmina flexível.
- Placa de vidro esmerilhada com dimensões 30 x 30 x 0,3 cm.
- Cilindro de comparação de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.
- Peneira de malha quadrada nº 40 (ASTM).
- Cápsulas de alumínio sem costura com tampa, para determinação da umidade, medindo aproximadamente 3,5 cm de altura e 4,0 cm de diâmetro.
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C a 110°C.
- Recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade.
- Balança que permita pesar 100 g, sensível a 0,01 g.
- Aparelho padronizado para o ensaio, segundo especificações conforme folha nº 19, com uma manivela e um excêntrico para levantar e deixar cair uma concha sobre um bloco de material elástico. Este material deve ter características tais que: uma esfera de aço padrão, de 5/16 polegadas de diâmetro, caindo em queda livre de uma altura de 10 polegadas sobre a superfície daquele, faça a esfera recuperar em altura no mínimo 7,3

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

12

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

polegadas e no máximo 9,0 polegadas, para que a base seja aceitável. O excêntrico deve ser construído de modo que a altura da concha se mantenha constante por um pequeno espaço no final da volta. O peso da concha + guia do excêntrico é de $175 \pm 15g$. Um pino removível prende a concha à haste-guia para assegurar que a concha será sempre removida do suporte para as operações de moldagem e abertura da ranhura com o cinzel.

- Cinzel, com dimensões de acordo com especificação conforme folha nº 19.
- O gabarito de verificação da altura de queda da concha tem $10 \pm 0,2$ mm de altura. A forma do gabarito pode variar, mas deverá possuir ponta quadrada, nunca arredondada.
- Diversos: Máquina de calcular, impressos, etc.

2.1.2 - Preparação das amostras.

Para o ensaio de Limite de Liquidez e de Plasticidade a preparação é idêntica.

Os ensaios serão executados com o material que passa na peneira nº 40 (A.S.T.M.). O peneiramento deverá ser processado com material na umidade natural.

O material para ensaio deverá ser umedecido com água destilada e homogeneizado por intermédio de espátula, após isso será deixado em repouso no mínimo 12 horas antes de serem iniciados os ensaios.

2.1.3 - Execução e Cálculo do Ensaio de Limite de Liquidez

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 20)

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 13
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra ou ensaio, local de origem, número e tara das cápsulas para determinação da umidade, nome do técnico que executará o ensaio e data da sua realização.</p> <p>b) Coloca-se uma quantidade de solo da ordem de 200 g, preparada como dito anteriormente, sobre a placa de vidro esmerilhada e junta-se água destilada em quantidade suficiente para se obter massa plástica. Deve-se adicionar água aos poucos, misturando-se continuamente com a espátula, até a completa homogeneização da massa.</p> <p>c) Coloca-se cerca de 50 a 80 g da amostra completamente homogeneizada na concha e, com auxílio da espátula, aplaina-se até que a camada de solo fique com uma espessura de aproximadamente 1 cm na sua parte central. Divide-se o solo na concha com o cinzel de modo a formar uma ranhura perfeita e lisa. Para realizar esta operação, toma-se a concha com a mão, o guia do excêntrico virado para cima, e aplica-se o cinzel, com o chanfro virado para frente, através da amostra, no sentido afastando-se do guia excêntrico. O cinzel deverá permanecer sempre perpendicular à concha no ponto de contato durante o seu movimento.</p> <p>d) Coloca-se cuidadosamente, a concha no aparelho e, logo a seguir, golpeia-se acionando a manivela à razão de duas voltas por segundo, até que as duas metades da camada de solo se unam nas bordas inferiores numa extensão de 1,20 cm aproximadamente.</p> <p>Anota-se na folha de dados o número de golpes</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

14

necessários para que isto aconteça.

- e) Remove-se cerca de 20 g de solo na região onde as bordas se uniram e coloca-se numa cápsula para determinação da umidade.

OBS: Todas as pesagens para esta determinação serão feitas com a aproximação de 0,01 g, e os teores de umidade com precisão de uma casa decimal após a vírgula.

- f) Transfere-se o restante da massa contida na concha para a placa de vidro esmerilhado, com o auxílio de uma espátula, e limpa-se cuidadosamente a concha.
- g) Repete-se as alíneas de b até f quatro vezes, acrescentando em cada uma delas certa quantidade de água, de maneira a diminuir o número de golpes necessários para que se unam as bordas inferiores da ranhura, até dois valores abaixo de 25 golpes.

Dados obtidos:

Com os resultados obtidos, constrói-se um gráfico, plotando o teor de umidade em ordenadas na escala aritmética e, em abcissas, o número de golpes na escala logarítmica (conforme folha de ensaio nº 20). Escolhe-se a melhor reta interpolando os cinco pontos, sendo que o valor do limite de liquidez é o teor de umidade, obtido deste gráfico, correspondente a 25 golpes. Anota-se o limite de liquidez com uma precisão de 0,1%, omitindo-se a designação de porcentagem. O valor final a ser usado é o número inteiro mais próximo.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

15

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

2.1.4 - Execução e Cálculo do Ensaio de Limite de Plasticidade.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 20) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra ou ensaio, local de origem, número e tara das cápsulas para determinação da umidade, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.
- b) Toma-se cerca de 200 g do material que está sendo homogeneizado para a execução do ensaio de Limite de Liquidez. O material será retirado no estágio de umidade tal que esteja plástico o bastante para ser facilmente moldado em forma de esfera, sem colar nos dedos quando amassado.
- c) Molda-se a amostra na forma elipsoidal e rola-se sob os dedos e a palma da mão contra a superfície da placa de vidro esmerilhada, até se obter um cilindro de 3 mm de diâmetro. A pressão necessária para rolar este cilindro varia dependendo da rijeza do solo. Argilas muito rijas, localizadas acima da "linha A" da Carta de Plasticidade de Casagrande exigem pressões maiores que argilas siltosas ou orgânicas, localizadas abaixo da "linha A", que precisam ser roladas suavemente. Se o cilindro de solo trincar antes que o operador consiga o diâmetro de 3 mm, o solo estará com o teor de umidade abaixo do limite de plasticidade, caso contrário seu teor de umidade estará acima do limite de plasticidade. Nos dois casos a massa de solo deverá ser retrabalhada até que se consiga que o mesmo se parta em várias peças no diâmetro aproximado de

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

16

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

3 mm. (o que se verifica com o cilindro de comparação).

- d) Colocam-se os pedaços do cilindro de solo em uma cápsula e determina-se o teor de umidade.
- e) Repetem-se estas operações anteriores até que se obtenha três valores de umidades que não difiram da respectiva média de mais de 3%.

Dados obtidos:

O limite de plasticidade é expresso pela média dos teores de umidade obtido como foi indicado acima, omitindo-se a designação porcentagem.

2.1.5 - Causas de erros.

- Amostra não representativa. Os limites de liquidez e plasticidade devem ser determinados usando a mesma mistura de solo usada para a determinação do teor de umidade e para os outros ensaios.
- Amostra preparada indevidamente. As amostras devem ser completamente misturadas e deixadas "curar" durante um período suficiente antes da execução do ensaio. Pode-se também chegar a resultados errados, devido à perda de material coloidal, durante a remoção das partículas retidas na peneira nº 40 (ASTM), ou nos ensaios sobre solos secos ao ar ou em estufa.
- Determinação incorreta dos teores de umidade. Um erro na determinação do teor de umidade afeta diretamente no resultado dos limites de liquidez e

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 17
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>plasticidade. Cuidados devem ser tomados nesta determinação devido às pequenas quantidades disponíveis.</p> <ul style="list-style-type: none">- Erros que ocorrem especificamente nos ensaios de limites de liquidez:<ul style="list-style-type: none">- Aparelho para execução do ensaio, fora de especificação. Por exemplo: concha com o peso diferente de 175 ± 15 g, contato entre a concha e a base bastante marcado, folga acentuada no eixo de giro da concha, altura de queda da concha com medida diferente de $10 \pm 0,2$ mm.- Ponta do cinzel gasta.- Solo no ponto de contato entre a concha e a base. Ao remover-se a concha para moldagem e abertura na camada de solo, algum material pode ficar na parte externa da concha, na região de contato com a base. Deve-se tomar o cuidado para que essa região esteja limpa antes da aplicação dos golpes. <p>Erros que ocorrem especificamente nos ensaios de limite de plasticidade:</p> <ul style="list-style-type: none">- Rolagem do cilindro de solo sob os dedos e pressão exercida pela mão sobre cilindro rompendo-o prematuramente.- Diâmetro do cilindro de solo após rompimento com diâmetro diferente de 3 mm.- Paralisação do processo de rolagem prematuramente. Se houver alguma dúvida quanto ao fato de o cilindro de solo ter trincado suficientemente, é conveniente prosseguir a rolagem a parar o processo.	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

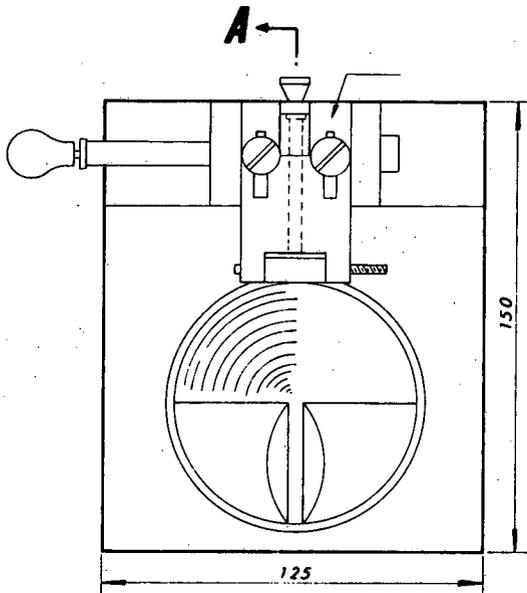
FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

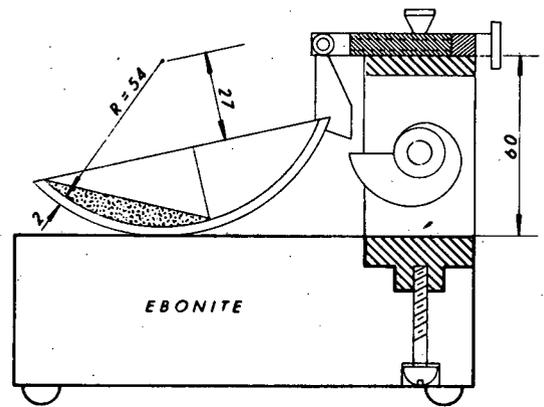
18

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

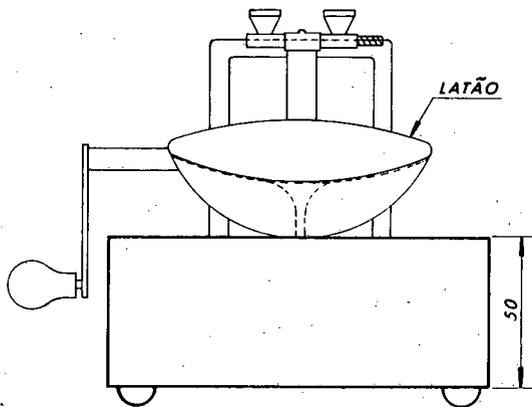
OBSERVAÇÃO: MEDIDAS EM MILÍMETROS



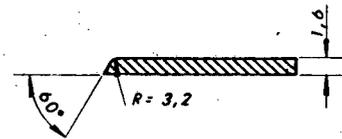
A
Planta



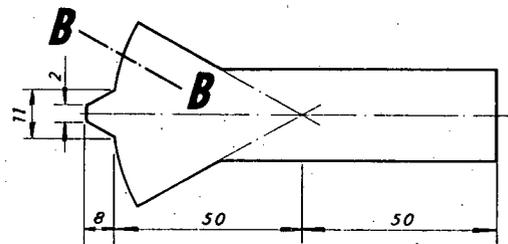
Corte A-A



Elevação



Corte B-B



Cinzel

Aparelho de Casagrande

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

19

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

ESPECIFICAÇÕES DO APARELHO DE CASAGRANDE

1 - BASE

- esfera de aço de 5/16" de diâmetro (7,95 mm)
- altura de queda de 10" (25,4 cm)
- restituição de 7,3" a 9" (18,6 a 22,8 cm)
- superfície deve ser polida.

2 - CONCHA + GUIA DO EXCÊNTRICO

- peso de 160 a 190 g

3 - CINZEL

- ranhura de 1,9 a 2,1 mm
- profundidade 8 mm
- largura 11 mm
- gabarito para medir altura de queda $10 \pm 0,2$ mm

VERIFICAÇÕES PERIÓDICAS E AJUSTE DO APARELHO

Periódicamente verificar os seguintes pontos:

- 1 - O excêntrico, em sua parte final (a 1/8" = 3,2 mm) deve ter raio constante.
- 2 - O pino que serve de eixo da concha, não deve ter folga.
- 3 - Os parafusos ligando o guia à concha devem estar apertados.
- 4 - Não deve haver ranhura na concha, perceptível manualmente (em caso positivo, substituir a concha).
- 5 - Os pontos de contato, tanto da concha como da base, não devem ser perceptíveis manualmente. Em caso positivo, mudar o ponto de contato da concha, raspar e polir a base.
- 6 - O cinzel deve ter dimensões, para abrir a ranhura de 1,9 mm a 2,1 mm.
- 7 - A altura de queda da concha deve ser ajustada de modo tal que a altura do ponto de impacto seja de $10 \pm 0,2$ mm.



**LABORATÓRIO DE SOLOS
ENSAIOS DE CONSISTÊNCIA
MÉTODOS LSR-02 / LSR-03**

REG. nº

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

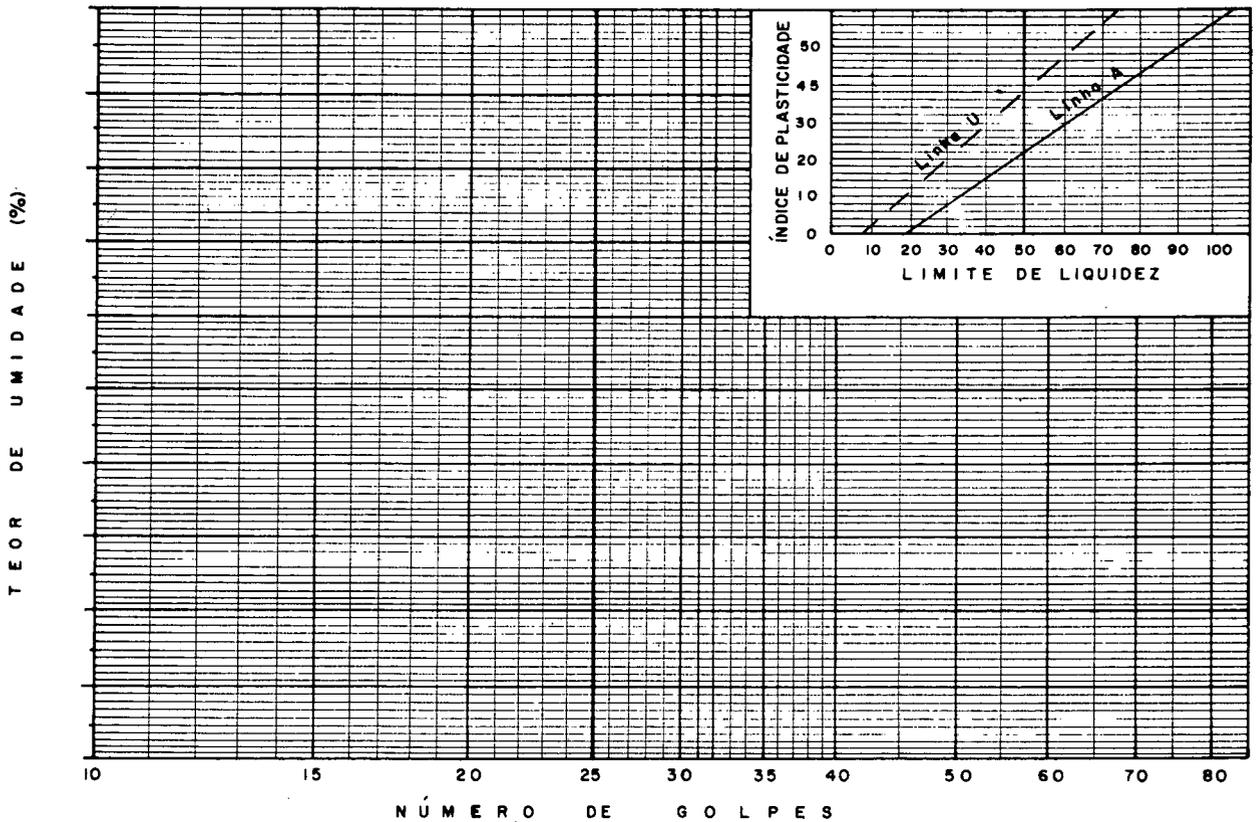
POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA nº	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)

1 CÁPSULA nº						
2 PESO ÚMIDO + TARA	g					
3 PESO SECO + TARA	g					
4 PESO DA ÁGUA (2-3)	g					
5 TARA	g					
6 PESO DO SOLO SECO (3-5)	g					
7 TEOR DE UMIDADE (4+6) 100	%					
8 NÚMERO DE GOLPES						

APARELHO nº	CINZEL nº	TIPO
-------------	-----------	------

GRÁFICO DE PLASTICIDADE



LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)

9 CÁPSULA nº						L.L. =	%
10 PESO ÚMIDO + TARA	g						
11 PESO SECO + TARA	g					L.P. =	%
12 PESO DA ÁGUA (10-11)	g						
13 TARA	g						
14 PESO DO SOLO SECO (11-13)	g					I.P. =	%
15 TEOR DE UMIDADE (12+4) 100	%						

OPER. _____ VISTO. _____
CALC. _____ DATA ____/____/____

OBSERVAÇÕES

ENSAIO nº

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

21

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

3 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE REAL DOS GRÃOS - MÉTODO LSR-04.

3.1 - Equipamentos.

- Picnômetro de 500 ml (medidos a 20°C), em vidro tipo Pyrex, com marca de referência para o volume acima e com seu peso aferido, seco e com água, temperatura variando entre 0 a 50°C.
- Picnômetro de 1000 ml (medidos a 20°C), do tipo e calibração idênticos ao acima indicado.
- Bomba a vácuo com registros, vacuômetro e conexões. As conexões para cada balão volumétrico devem ser providas de registros.
Deve o sistema ainda contar com um frasco de drenagem de modo a impedir a entrada de água, em caso de manobras bruscas do balão volumétrico para a bomba.
- Estufa elétrica com termo-regulador, capaz de manter uma temperatura uniforme em seu interior de 105°C a 110°C.
- Balança de capacidade de 2,0 kg, sensível a 0,1 g.
- Balança de capacidade de 1000 g, sensível a 0,01 g.
- Aparelho dispersador de solos com hélices substituíveis e copo munido de chicanas.
O aparelho deve fornecer um número de rotações mínimo de 10.000 r.p.m. livre.
- Termômetro de vidro com filamento em mercúrio, escala de 0°C a 50°C, com subdivisões de 0,1°C.
- Almofariz de porcelana de 3.000 cm³ ou maior e mão recoberta de borracha.
- Destilador de água.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

22

- Peneira nº 10 ASTM (malha de 2,0 mm).
- Cápsula de pirex, porcelana ou alumínio, capacidade de 150 a 200 cm³ para saturação do material.
- Bisnaga de borracha (tipo seringa de lavagem).
- Prato metálico esmaltado para material preparado.
- Funil de vidro com bico de diâmetro inferior à boca do frasco volumétrico.
- Vários: etiqueta, folha de ensaios, máquina de calcular, etc.

3.2 - Preparação da Amostra.

A preparação do material deve ser feita da seguinte maneira:

- Seca-se ao ar (até à umidade higroscópica); desmancha-se os torrões e em seguida homogeneiza-se cuidadosamente.
- Reduz-se todo o material, com auxílio do repartidor de amostras ou pelo quarteamento, até se obter uma amostra representativa com o peso necessário para se executar o ensaio.
- Pesa-se esta amostra com aproximação de 5 g e anota-se como peso da amostra seca ao ar (até a umidade higroscópica).
- Passa-se esta amostra na peneira de 2,0 mm (nº 10), tomando-se a precaução de antes desmanchar, no almofariz, todos os torrões que ainda existam eventualmente, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que 2,0 mm.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

23

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- Do material assim obtido tomam-se cerca de 60 g para a determinação da umidade higroscópica, e cerca de 60 g para a execução do ensaio. As pesagens são feitas com aproximação de 0,01 g.

3.3 - Execução do Ensaio.

3.3.1 - Solos finos.

- a) Registrar na folha de ensaio (conforme folha nº 28) todas informações que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra, local de extração, número e tara das cápsulas para determinação do teor de umidade, número do picnômetro, nome do técnico que realizará o ensaio e data de sua realização.
- b) Deixa-se, durante 18 horas, uma amostra de aproximadamente 60 g em uma cápsula com água destilada, cobrindo a amostra em quantidade suficiente para se obter uma pasta fluida.
- c) Em seguida dispersa-se a pasta no dispersador, durante 30 minutos.
- d) Transfere-se a amostra para o picnômetro e junta-se água destilada até aproximadamente metade do seu volume.
- e) Aplica-se vácuo durante 15 minutos, no mínimo, para extrair o ar contido na amostra. Agitar o balão volumétrico levemente em intervalos de tempo durante o ensaio.
- f) Enche-se o picnômetro, com água destilada até aproximadamente 2 cm abaixo da marca de calibração e aplica-se vácuo de maneira novamente a não

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

24

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

provocar forte ebulição (para não haver perda de material). Para determinar se a suspensão está totalmente deaerada, retirar o vácuo lentamente e observar se a superfície da suspensão não abaixa mais que 3 mm.

- g) Deixa-se o balão volumétrico em repouso, até que a temperatura do conteúdo se equilibre com a do ambiente.
- h) Enche-se o balão volumétrico com água destilada até próximo da marca de calibração e, com auxílio de um conta-gotas, prossegue-se adicionando água destilada até que a base do menisco coincida com a referida marca.
- i) Enxuga-se a parte externa do balão volumétrico e a parte interna do gargalo acima do menisco; pesa-se o balão volumétrico com precisão de 0,01 g e anota-se na folha de ensaio (P_1).
- j) Determina-se logo a seguir, com aproximação de 0,50°C a temperatura (T) do conteúdo do balão volumétrico, por imersão de um termômetro até a metade do mesmo. Antes desta determinação agitar a suspensão para garantir uma temperatura uniforme.
- k) Transfere-se, logo após, o conteúdo do balão volumétrico para um prato de peso conhecido, lava-se o balão volumétrico com água destilada removendo-se toda a amostra do seu interior. Seca-se o material até a constância de peso em estufa, em 105 a 110°C; deixa-se esfriar em dessecador até a temperatura ambiente; pesa-se com aproximação de 0,01 g e anota-se como peso do solo seco em estufa (P_3).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

25

Esta operação é dispensável caso se tenha o máximo cuidado quanto à perda de material na aplicação do vácuo e nas operações de transferência de material de um recipiente para outro, determinando-se o peso seco do material (P_3) através da fórmula:

$$(P_3) = P_s = \frac{P_h}{100 + h} 100, \text{ sendo:}$$

P_s : Peso seco do solo em g.

P_h : Peso do solo na umidade higroscópica em g.

h : Umidade higroscópica determinada no início do ensaio em %.

3.3.2 - Solos Granulares.

- a) Seca-se a amostra em estufa entre 105°C a 110°C até a constância de peso. Deixa-se esfriar em dessecador até a temperatura ambiente, pesa-se com aproximação de 0,01 g e anota-se como peso de solo seco em estufa (P_3).
- b) Efetuam-se as operações constantes do item anterior, com exceção das alíneas b, c e k.

3.4 - Dados Obtidos.

A massa específica real dos grãos de solo obtém-se através da seguinte fórmula:

$$\delta = \frac{P_3}{P_3 + P_2 - P_1} \gamma_T$$

δ : Massa específica real dos grãos do solo em g/cm³

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

26

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

P_3 : Peso em g do solo seco em estufa 105°C - 110°C.

P_2 : Peso em g do picnômetro cheio de água até a marca de calibração à temperatura do ensaio.

P_1 : Peso do balão volumétrico + solo + água.

γ_T : Massa específica da água à temperatura do ensaio em g/cm^3 .

OBS: γ_T pode ser considerado igual a $1g/cm^3$ nos casos correntes.

Causas de Erros:

- A não remoção total do ar contido na suspensão. Esta é a causa mais séria de erros na determinação do peso específico e leva a valores de peso específico menores que os reais. O ar contido na água não afetará os resultados quando da calibração do picnômetro ou depois no acerto do menisco até a marca de calibração.
- Pesagem imprecisa do picnômetro e conteúdo. Como o cálculo do peso específico dos sólidos é baseado em diferenças de pesos e esta diferença é pequena em relação ao peso do picnômetro + água + solo, a mesma balança deverá ser usada para a calibração do balão volumétrico e para determinação da massa específica, sempre que a curva de calibração for usada.
- Temperatura do picnômetro e conteúdo não uniforme. Tanto na calibração do picnômetro como na determinação da massa específica, cuidados devem ser tomados para que as temperaturas medidas durante as pesagens sejam representativas.
- Uso de água contendo sólidos dissolvidos. É essencial o uso de água destilada para a completa validade da curva

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

27

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

de calibração.

- Umidade acumulada no picnômetro quando da calibração deste; para temperaturas abaixo da temperatura ambiente há uma tendência da umidade do ar se condensar nas paredes do picnômetro, apesar da secagem cuidadosa e pesagem rápida. Sempre que possível, a pesagem deverá ser feita em ambientes com temperaturas próximas àquela do picnômetro.
- Menisco não coincidindo com a marca de calibração no gargalo do picnômetro. Uma gota d'água pode causar erros de aproximadamente 0,05 g. Estes erros podem ser diminuídos tomando a média de diversas leituras na mesma temperatura. No caso de dificuldade de posicionamento do menisco, uma luz atrás do gargalo pode ajudar.
- Picnômetro sujo. A curva de calibração deixará de ser válida se a sujeira alterar o peso do picnômetro. Também, se o interior do gargalo não estiver limpo pode se formar um menisco irregular.



Companhia
Energética de
São Paulo

LABORATÓRIO DE SOLOS
DENSIDADE REAL DOS GRÃOS
MÉTODO LSR-04

REG. n°

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

LOCAL _____		AMOSTRA n° _____	PROF. _____
		ENSAIO n° _____	REG. n° _____
ESTACA _____		AFASTAMENTO _____	COTA _____
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE		DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS GRÃOS	
CÁPSULA	n°	PICNÔMETRO	n°
SOLO + TARA + ÁGUA	g	PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA P ₁	g
SOLO + TARA	g	TEMPERATURA T	°C
TARA	g	PICNÔMETRO + ÁGUA P ₂	g
ÁGUA	g	SOLO SECO P ₃	g
SOLO SECO	g	DENSIDADE DA ÁGUA γ _a a T °C	
UMIDADE	%	DENSIDADE DOS GRÃOS	

LOCAL _____		AMOSTRA n° _____	PROF. _____
		ENSAIO n° _____	REG. n° _____
ESTACA _____		AFASTAMENTO _____	COTA _____
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE		DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS GRÃOS	
CÁPSULA	n°	PICNÔMETRO	n°
SOLO + TARA + ÁGUA	g	PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA P _i	g
SOLO + TARA	g	TEMPERATURA T	°C
TARA	g	PICNÔMETRO + ÁGUA P ₂	g
ÁGUA	g	SOLO SECO P ₃	g
SOLO SECO	g	DENSIDADE DA ÁGUA γ _a a T °C	
UMIDADE	%	DENSIDADE DOS GRÃOS	

LOCAL _____		AMOSTRA n° _____	PROF. _____
		ENSAIO n° _____	REG. n° _____
ESTACA _____		AFASTAMENTO _____	COTA _____
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE		DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS GRÃOS	
CÁPSULA	n°	PICNÔMETRO	n°
SOLO + TARA + ÁGUA	g	PICNÔMETRO + SOLO + ÁGUA P ₁	g
SOLO + TARA	g	TEMPERATURA T	°C
TARA	g	PICNÔMETRO + ÁGUA P ₂	g
ÁGUA	g	SOLO SECO P ₃	g
SOLO SECO	g	DENSIDADE DA ÁGUA γ _a a T °C	
UMIDADE	%	DENSIDADE DOS GRÃOS	

$$\delta = \frac{P_3}{P_3 + P_2 - P_1} \gamma_a$$

OPER. _____	VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO n° _____
CALC. _____	DATA ____/____/____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

29

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

4 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.

4.1 - Equipamentos.

- Balança que permita pesar 2 kg, sensível a 0,1 g.
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.
- Aparelho de dispersão, com hélices substituíveis e copo munido de chicanas que gire a 10.000 rpm em carga (no mínimo) ou outro dispositivo capaz de produzir dispersão eficiente da amostra.
- Peneiras 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", nº 4, nº 10, nº 20, nº 40, nº 60, nº 100, nº 140 e nº 200.
- Proveta graduada de cerca de 45 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro com traço indicando 1.000 ml a 20°C.
- Densímetro de bulbo simétrico calibrado para temperaturas entre 4°C e 40°C e graduado em 0,001 desde 0,995 a 1,050.
- Termômetro graduado em 0,1°C de 0°C a 50°C.
- Bequer de vidro graduado, de 250 ml para saturação da amostra.
- Almofariz de porcelana com mão recoberta com borracha.
- Escova com cerdas de metal para limpar peneiras.
- Peneirador mecânico tão eficiente quanto os movimentos circulares e golpes usados no peneiramento manual.
- Cápsulas de alumínio medindo 3 cm de diâmetro e 4 cm de altura para solos, cápsulas medindo 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura para material granular, com tampa e sem costura para determinação da umidade.
- Diversos: máquina de calcular, impressos, etc..

4.2 - Preparação da Amostra.

Separa-se uma amostra representativa suficiente, através de

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

30

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

quarteamento, da amostra total para a realização completa do ensaio.

A amostra assim obtida é primeiramente seca ao ar e em seguida levada ao almofariz para que com a mão recoberta de borracha, os agregados sejam quebrados e deles separado o material fino aderente.

A quantidade de material a ser usada dependerá do tamanho máximo das partículas existentes e da representatividade da amostra a ser ensaiada. Como orientação, levando-se em conta somente o tamanho máximo das partículas, seguem abaixo as quantidades de material recomendadas. Vale a pena frisar que estas quantidades não são fixas, dependendo ainda da representatividade da amostra e da quantidade de material necessária para a execução dos ensaios de peneiramento.

ENSAIOS DE PENEIRAMENTO	
TAMANHO MÁXIMO DAS PARTÍCULAS(mm)	QUANTIDADES RECOMENDADAS (kg)
177,7	100 a 150
152,4	100 a 150
127,0	80 a 100
101,6	60 a 80
76,1	40 a 60
64,0	30 a 40
50,8	20 a 30
38,1	15 a 20
25,4	10 a 15
19,0	5 a 10
12,7	1 a 5
9,51	0,5 a 1
4,76	< 0,5

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

31

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

A amostra de solo obtida conforme procedimento acima, será peneirada na peneira de abertura de 2,0 mm (nº 10) sendo, sobre a parte retida, realizado o peneiramento grosso, sobre a parte que passa o peneiramento fino.

Para amostras do material granular fino, isto é, material passante pela peneira nº 4, proveniente da granulometria dos materiais de transição e enrocamento, será retirada uma amostra representativa de no mínimo 3 kg após quarteamento da amostra total, da qual será processada a análise granulométrica segundo metodologia a ser apresentada.

4.3 - Análise Granulométrica com Material Lavado na Peneira nº 200 Método LSR-05.

4.3.1 - Execução do Ensaio.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 49) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local de extração, número e tara das cápsulas para determinação da umidade, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.
- b) Do material que passou na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10), quando da preparação do material, retira-se cerca de 80 g para determinação da umidade higroscópica.

Peneiramento Grosso.

Será realizado sobre o material retido na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10). Consiste da passagem de uma amostra através de uma série de peneiras, previamente escolhidas, e da pesagem do

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

32

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

material retido em cada peneira. As peneiras são constituídas de telas de fios metálicos com abertura quadrada e de tamanhos padrão.

- a) Registrar todas as informações pertinentes da amostra numa folha de dados como mencionado no item 4.3.1 - a.
- b) Secar a amostra em estufa que mantenha a temperatura entre 105°C e 110°C até a constância de peso.
- c) Pesar a amostra com precisão de 0,01 g, 0,1 g e 1 g para quantidades pesando respectivamente até 100 g, 1.000 g e acima de 1.000 g.
- d) Selecionar a série de peneiras levando em conta o tamanho das partículas da amostra e o fim a que se destina a curva granulométrica a ser obtida. Escolher a primeira peneira com abertura ligeiramente superior que o máximo tamanho de grão da amostra e colocar as peneiras com abertura decrescendo do topo para a base.
- e) Executar o peneiramento manualmente ou com agitador mecânico por um tempo suficiente até que todas as partículas com diâmetro menor que a abertura de cada peneira já tenham passado por elas.
- f) Se for usado o agitador mecânico remover toda a série de peneiras. Cuidadosamente retirar todo o material retido em cada peneira e pesar segundo os critérios especificados no item c. Registrar o peso de material retido em cada peneira na folha de dados.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

33

- g) A soma dos pesos retidos em cada peneira deverá ser igual ao peso inicial da amostra. Caso a diferença registrada tenha sido maior que 1%, o peneiramento será repetido.

Peneiramento Fino .

O peneiramento fino é realizado sobre o solo passado na peneira de abertura igual 2 mm. (nº 10) e obedecerá os seguintes passos:

- a) Do material que passou na peneira de abertura igual a 2,0 mm, parte foi usada para determinação da umidade higroscópica (conforme item 4.3.1-b) e do restante retira-se cerca de 80 g se o solo for argiloso e cerca de 100 g se arenoso. Este material deve ser pesado com precisão de 0,01 g.
- b) Transfere-se este material para um bequer de 250 ml e junta-se, como defloculante, 130 ml de solução com concentração de 41,7 g de hexametáfosfato mais 7 g de carbonato de sódio por litro de solução. (A solução de hexametáfosfato de sódio deve ser tamponada com carbonato de sódio até que a solução atinja um PH entre 8 e 9, evitando a reversão da solução para ortofosfato de sódio); agita-se até que todo o material fique perfeitamente molhado e deixa-se em repouso por 24 horas.
- c) Transferir então a mistura para o copo de dispersão removendo-se com água destilada todo o material aderente ao bequer. Adicionar água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo das bordas do copo e submeter-se a mistura à ação do

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

34

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

aparelho dispersador; o aparelho deve apresentar uma rotação mínima de 10.000 rpm em carga. O tempo de dispersão necessário para a completa desagregação das partículas varia de acordo com a plasticidade do solo a ser ensaiado. Adota-se, como um tempo satisfatório, 30 minutos para dispersão. Cuidados devem ser tomados para o caso de solos residuais em que o termo "diâmetro do grão" depende diretamente do grau de dispersão imposto ao material. Portanto, nestes casos, o tempo de dispersão deve ser maior que o convencionalmente adotado e deve ser escolhido de acordo com o solo a ser ensaiado.

d) Transferir a suspensão para uma proveta de 1.000 ml, removendo-se cuidadosamente, com auxílio de uma bisnaga com água destilada, todo material aderente ao copo do aparelho dispersador.

Coloca-se água destilada na proveta até que se atinja a marca um pouco abaixo de 1.000 ml.

e) Um minuto antes do ensaio, logo que a suspensão atinja a temperatura de equilíbrio, toma-se a proveta contendo a suspensão em uma das mãos e tapando-lhe a boca com a outra mão, executam-se movimentos de rotação passando acima da cabeça do operador de maneira que a boca da proveta passe de cima para baixo e vice-versa. Estes movimentos têm a duração de 1 minuto e permitem uma distribuição uniforme das partículas na suspensão.

f) Verte-se e lava-se a suspensão com água potável na peneira de abertura 0,075 mm (nº 200),

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

35

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

remove-se com excesso de água todo material que tenha aderido à proveta.

- g) Seca-se a parte retida na peneira de abertura 0,075 mm (nº 200) em estufa 105 - 110°C até constância de peso.
- h) O material depois de seco será peneirado nas peneiras de aberturas: 0,8 (nº 20); 0,42 (nº 40); 0,25 (nº 60); 0,15 (nº 100); 0,104 (nº 140) e 0,075 mm (nº 200).
- i) Se for usado o agitador mecânico remover primeiramente toda a série de peneiras usadas. Iniciando com a do topo, transferir o conteúdo das peneiras para uma peça de papel medindo aproximadamente 30 x 30 cm. Cuidadosamente inverter a peneira sobre a folha de papel e escovar suavemente até que se remova toda a amostra retida.
- j) Anotar na folha de dados os pesos acumulados em cada peneira, com uma precisão de 0,01 g.
- k) Todos os cuidados e observações feitas no item Peneiramento Grosso são também válidos no peneiramento fino.

4.3.2 - Cálculo do Ensaio.

Primeiramente deve ser calculado o peso total da amostra seca. Subtrai-se o peso do material seco retido na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10) do peso total da amostra seca no ar. Multiplica-se a diferença assim obtida pelo fator de correção $\frac{100}{100+h}$

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

36

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

em que h é a umidade higroscópica (item 4.3.1 - b). Somando-se este resultado ao peso de material seco retido na peneira de abertura igual a 2,0 mm, obtêm-se o peso total da amostra seca.

Peneiramento Grosso .

- a) A porcentagem em peso de material retido nas várias peneiras é calculado da seguinte maneira:

$$Q_n (\%) = \frac{P_t - R_n}{P_t} 100 \text{ sendo:}$$

Q_n : porcentagem de material passante na peneira de abertura N

P_t : peso total da amostra seca, expresso em g.

R_n : peso seco de material retido nas peneiras de aberturas maior ou igual a N, expresso em g.

- b) Com os resultados assim obtidos constrói-se um gráfico, plotando os diâmetros dos grãos (aberturas das peneiras) em abscissa na escala logarítmica e em ordenadas as porcentagens retidas acumuladas em cada peneira numa escala aritmética, (conforme folha nº 50). Nesta fase a curva será obtida até o diâmetro máximo de grão igual a 2,0 mm (nº 10).

Peneiramento Fino

- a) A porcentagem em peso de material passante nas várias peneiras usadas neste ensaio é calculada da seguinte maneira:

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

37

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

$$Q_n (\%) = \frac{P_s - R_n}{P_s} \times N \quad \text{sendo:}$$

Q_n : porcentagem de material passante na peneira de abertura N

R_n : peso seco de material retido nas peneiras de aberturas maior ou igual a N, expresso em gramas.

P_s : peso do solo seco contido na suspensão em gramas.

N : porcentagem de material passante na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10) (N = 100 - porcentagem de pedregulho).

- b) Estes dados lançados na folha de papel mono-logarítmico, (conforme folha nº 50), citada anteriormente, da mesma maneira que foi feito para o peneiramento grosso, complementa a curva de distribuição granulométrica do material estudado.

4.3.3 - Causas de Erros.

- O material grosso não foi bem trabalhado no almofariz, ficando material fino aderido a este.
- Sobrecarga na peneira. Este erro leva a classificar o material como sendo de granulação mais grossa do que na realidade. Amostras grandes, devem ser peneiradas em várias porções.
- Período de vibração insuficiente no agitador ou

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

38

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

movimentos inadequados, quando o peneiramento é executado manualmente. As peneiras devem ser agitadas de tal maneira que cada partícula seja exposta nas aberturas da peneira com várias orientações, para que tenham oportunidade de passar por elas.

- Peneiras com telas deformadas ou quebradas. As peneiras devem ser inspecionadas frequentemente para garantir que não possuem aberturas maiores que as padronizadas.
- Perda de material na remoção do solo retido em cada peneira.

4.4 - Análise Granulométrica com Sedimentação - Método LSR-06.

4.4.1 - Execução do Ensaio.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 49) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local de extração, número e tara das cápsulas para determinação da umidade, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.
- b) Do material que passou na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10), quando da preparação do material, retira-se cerca de 80 g para determinação da umidade higroscópica.

Peneiramento Grosso .

O peneiramento grosso é idêntico ao Peneiramento Grosso da "Análise Granulométrica com Material

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 39
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>Lavado na peneira nº 200 - Método LSR-05".</p> <p>Sedimentação .</p> <p>A sedimentação é realizada sobre o solo passado na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10) e obedece os passos de a até e da Análise Granulométrica com Material Lavado na peneira nº 200 - Método LSR-05 do Peneiramento Fino.</p> <p>a) Imediatamente após terminada a agitação, coloca-se a proveta sobre uma mesa, anota-se a hora exata do início de sedimentação e mergulha-se o densímetro na suspensão. Cuidados devem ser tomados para que, com a colocação ou retirada do densímetro da suspensão, esta não sofra uma agitação. Fazem-se as leituras do densímetro aos 30 segundos, 1 e 2 minutos conservando o densímetro na suspensão. Subsequentemente serão realizadas as leituras correspondentes aos tempos de 4,8,15,30 minutos, 1,2,4,8 e 10 horas ou mais se necessário. Por ocasião de cada leitura do densímetro, anota-se a temperatura da suspensão com aproximação de 0,5°C. As variações de temperatura devem ser minimizadas, mantendo o ensaio longe de locais onde incida luz solar, haja janela aberta, etc... As leituras do densímetro serão anotadas subtraídas de 1, multiplicadas por 1.000 (Exemplo: a leitura 1,0323 será anotada como 32,3) e serão corrigidas através de curvas obtidas para o referido densímetro, em função da variação de temperatura e da presença de defloculante no meio fluido.</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

40

b) Apõs cada leitura, excetuadas as duas primeiras, retira-se lentamente o densímetro e mergulha-se em água a temperatura ambiente. Cerca de cada 15 a 20 segundos antes de cada leitura, mergulha-se lenta e cuidadosamente o densímetro na suspensão, fazendo-se as leituras na parte superior do menisco, com aproximação de 0,002, apõs o densímetro ter ficado em equilíbrio.

c) O material da proveta, apõs o ensaio de sedimentação, servirá para o ensaio de peneiramento fino.

Peneiramento Fino .

O material para a realização do peneiramento fino será o mesmo usado no ensaio de sedimentação. Terminadas as leituras por ocasião do ensaio de sedimentação, verte-se e lava-se a suspensão com água potável na peneira de abertura 0,075 mm (nº 200); remove-se com excesso de água todo material que tenha aderido à proveta. Repetem-se os passos dos itens g até k da Análise Granulométrica com Material Lavado na Peneira nº 200 - Método LSR-05 do Peneiramento Fino.

4.4.2 - Cálculo do Ensaio .

Primeiramente deve ser calculado o peso total da amostra seca. Subtrai-se o peso do material seco retido na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10) de peso total da amostra seca ao ar. Multiplica-se a diferença assim obtida pelo fator de correção $\frac{100}{100+h}$, em que h é a umidade

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

41

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

higroscópica (item 4.4.1 - b). Somando-se este resultado ao peso do material seco retido na peneira de abertura igual a 2,0 mm (nº 10) obtêm-se o peso total da amostra seca.

Peneiramento Grosso .

O peneiramento grosso é semelhante ao Peneiramento Grosso da Análise Granulométrica com Material Lavado na Peneira nº 200 - Método LSR-05.

Sedimentação .

a) Para se calcular as porcentagens correspondentes a cada leitura do densímetro, referidos ao peso total da amostra usa-se a seguinte fórmula:

$$Q = N \frac{\delta}{(\delta - 1)} \times \frac{1.000 (Lc - 1)}{P_s}, \text{ sendo:}$$

Q : porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro.

N : porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm (nº 10) N = 100-% de pedregulho.

P_s : peso do solo seco na suspensão, expresso em gramas. Este valor é obtido multiplicando-se seu peso seco ao ar pelo fator de correção $\frac{100}{100+h}$, em que h é a umidade higroscópica.

δ : densidade real dos grãos de solo, expresso em g/cm³.

Lc: leitura corrigida do densímetro (Lc=L+R, em

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

42

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

que L é a leitura do densímetro na parte superior do menisco e R a correção devida ao menisco e $\bar{\alpha}$ variação de densidade do meio fluido proveniente da adição do defloculante e da variação da temperatura).

Segundo o esquema de leituras do densímetro, a expressão $1.000 (L_c - 1)$ da fórmula será substituída pela soma $L + R = L_c$.

Desse modo a fórmula para cálculo das porcentagens passa a ser:

$$Q = N \frac{\delta}{(\delta - 1)} \times \frac{L_c}{P_s}$$

- b) Calcula-se o diâmetro máximo das partículas em suspensão, no momento de cada leitura do densímetro, pela fórmula da Lei de Stokes:

$$d = \sqrt{\frac{1.800 \eta}{\delta - \gamma_a} \left(\frac{a}{t}\right)}, \text{ sendo:}$$

d : diâmetro máximo das partículas em mm.

η : coeficiente de viscosidade do meio fluido em g. seg/cm²

a : altura da queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro, em cm, obtida da curva de calibração do densímetro.

t : tempo de sedimentação, medidos em segundos

δ : densidade real dos grãos de solo, em g/cm³

γ_a : massa específica do fluido, em g/cm³

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

43

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

O Nomograma de Casagrande permite, de uma maneira direta, a obtenção dos diâmetros das partículas e sendo uma representação gráfica da Lei de Stokes, é adaptável a qualquer densímetro, desde que se faça a correlação entre as alturas de queda e as leituras do densímetro (conforme folha nº 48).

- c) Os dados assim obtidos serão lançados na mesma folha de papel mono-logarítmico em que foram lançados os resultados de peneiramento grosso. Serão plotados os diâmetros das partículas em abscissa na escala logarítmica e em ordenadas, numa escala aritmética, as porcentagens correspondentes de material com diâmetro menor que o diâmetro considerado.

Peneiramento Fino .

O peneiramento fino é semelhante ao Peneiramento Fino da "Análise Granulométrica com Material Lavado na Peneira nº 200 - Método LSR-05".

4.4.3 - Causas de Erros .

- a) Peneiramento .

As mesmas do item 4.3.3 - Causas de erros de "Análise Granulométrica com material lavado na peneira nº 200".

- b) Sedimentação .

- Solos secados em estufa antes da realização do ensaio. Exceto para solos inorgânicos e baixa resistência quando secos, a secagem em estufa pode influir no tamanho do grão, isto é, formar

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 44
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

torrões difíceis de serem dispersados.

- Dispersão incompleta do material na suspensão.
- Agitação insuficiente da suspensão no início do ensaio.
- Quantidade excessiva de material em suspensão, fora das quantidades especificadas.
- Colocação e retirada do densímetro de maneira brusca, perturbando a suspensão.
- Haste do densímetro com sujeira ou gordura, impedindo a formação completa do menisco.
- Variação excessiva da temperatura durante o ensaio.
- Distribuição não uniforme da temperatura na suspensão.
- Perda de material após o ensaio, quando da lavagem do mesmo na peneira de abertura igual a 0,075 mm (nº 200) ou a não completa remoção do material da proveta de 1.000 ml.

4.5 - Análise Granulométrica do Material Granular Fino Passado na Peneira nº 4 Proveniente das Transições e Enrocamento Método LSR-07 .

- Após execução da granulometria grossa na área de ensaio, pela equipe do Laboratório de Campo, dos materiais provenientes das transições e enrocamento, o material passante na peneira de abertura de 4,76 mm (nº 4) será enviado ao Laboratório da Obra para ser feita a análise granulométrica do material.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 45
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

4.5.1 - Execução do Ensaio.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 51) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra, local de extração, número e tara das câpsulas para determinação da umidade, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.
- b) Do material que passou na peneira de abertura igual a 4,76 mm (nº 4), retira-se amostra para determinação da umidade higroscópica.

Peneiramento Fino

Será realizado sobre o material passante na peneira de abertura de 4,76 mm (nº 4). Consiste da passagem de uma amostra através de uma série de peneiras, e da pesagem do material retido em cada peneira.

- a) Registrar todas as informações pertinentes da amostra na folha de ensaio (conforme folha nº 51).
- b) Secar a amostra em estufa que mantenha a temperatura entre 105°C e 110°C até a constância de peso.
- c) Pesar amostra com precisão de 1 g.
- d) Executar o peneiramento manualmente ou com agitador mecânico por um tempo suficiente até que todas as partículas com diâmetro menor que a abertura de cada peneira já tenham passado por elas.
- e) Se for usado agitador mecânico, remover toda a

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

46

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

série de peneiras. Cuidadosamente retirar todo o material retido em cada peneira e pesar segundo o critério do item c. Registrar o peso de material retido em cada peneira na folha de ensaio.

- f) A soma dos pesos retidos em cada peneira deverá ser igual ao peso inicial da amostra. Caso a diferença registrada tenha sido maior que 1%, o peneiramento será repetido.

4.5.2 - Cálculo do Ensaio.

- a) Primeiramente deve ser calculado o peso seco do material passado na peneira de abertura de 4,76 mm (nº 4). Multiplica-se o peso do material passado na peneira de abertura 4,76 mm (nº 4) pelo fator de correção $100/100+h$, em que h é a umidade higroscópica (item 4.5.1 - b).

- b) Calcula-se o fator de correção dos pesos pela fórmula abaixo:

fator de correção dos pesos =

$$= \frac{\text{Peso seco da amostra passando na peneira nº 4}}{\text{Peso seco da amostra total.}}$$

- c) A porcentagem em peso de material retido nas várias peneiras relativo a amostra representativa do material passado na peneira nº 4 é calculado da seguinte maneira:

$$Q_n = \frac{P_r}{P_s} \times 100$$

Q_n : porcentagem de material retido na peneira de abertura maior ou igual a N.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

47

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

P_r : peso seco de material retido nas peneiras de aberturas maior ou igual a N, expresso em gramas.

P_s : peso seco total da amostra representativa.

d) Corrige-se a porcentagem em peso de material retido em relação a amostra total pela fórmula abaixo:

$$Q_c = Q_n \times \text{Fator de correção dos pesos (item b)}$$

Q_c : Porcentagem de material retido acumulado parcial corrigida.

Q_n : Porcentagem de material retido na peneira de abertura maior ou igual a N.

e) Procede-se o cálculo, determinando as porcentagem retidas acumuladas, segundo a fórmula abaixo:

$$\% \text{ RETIDA ACUMULADA} = Q_c + \% \text{ RETIDA ACUMULADA DA PENEIRA ANTERIOR.}$$

f) Estes dados lançados na folha de papel mono-logarítmico, (conforme folha nº 52), citada anteriormente, da mesma maneira que foi feito para o peneiramento grosso, complementa a curva de distribuição granulométrica do material estudado.

4.5.3 - Causas de Erros.

Idêntico ao ítem 4.3.3 da análise granulométrica com material lavado na peneira nº 200 - Método LSR-05.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

48

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

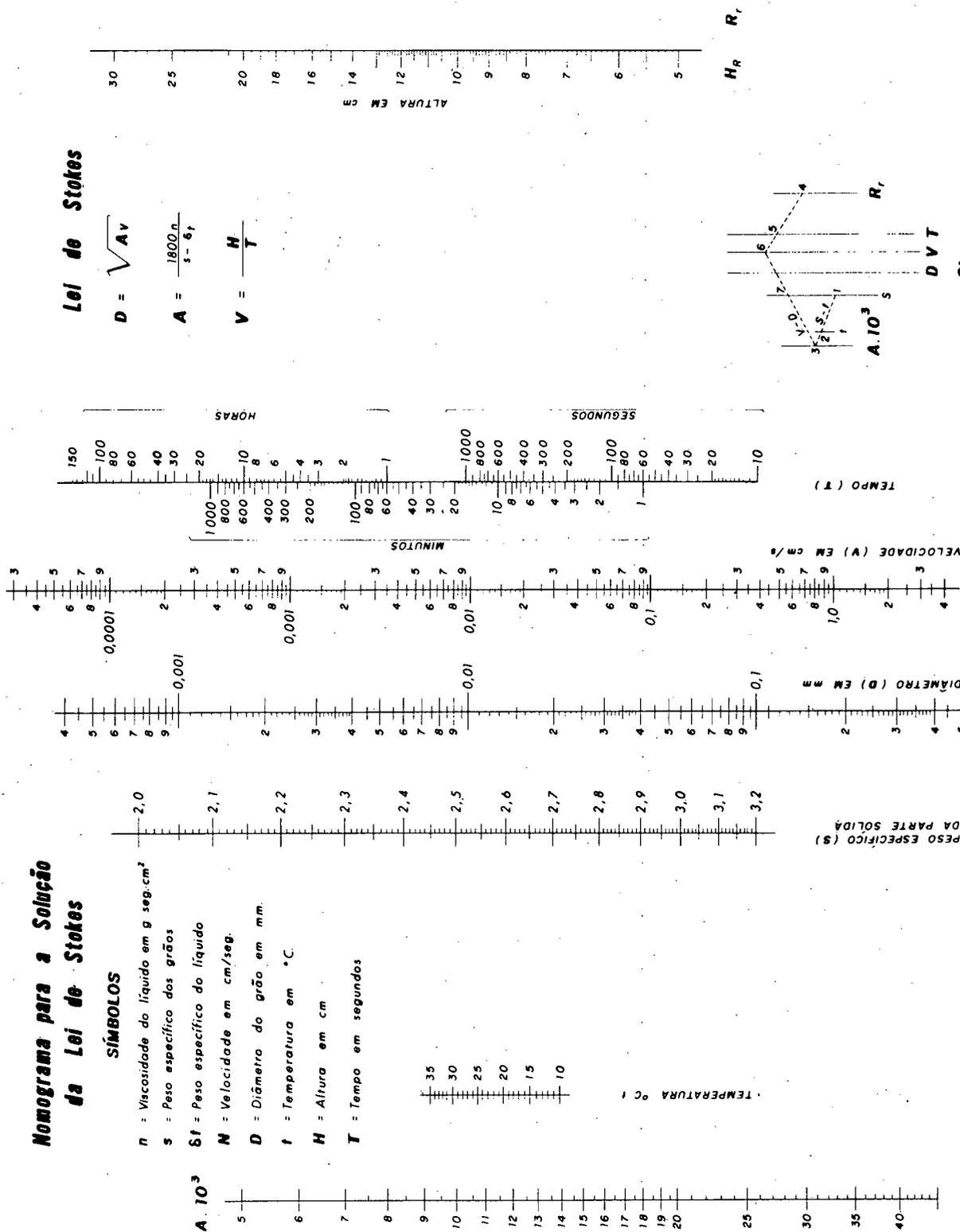
AREÔMETRO Nº _____
CILINDRO-TIPO _____

**ABACO PARA O CÁLCULO DOS DIÂMETROS EQUIVALENTES
SEGUNDO O MÉTODO DO AREÔMETRO**

Nomograma para a Solução da Lei de Stokes

SÍMBOLOS

- n = Viscosidade do líquido em g seg.cm²
- s = Peso específico dos grãos
- δt = Peso específico do líquido
- N = Velocidade em cm/seg.
- D = Diâmetro do grão em mm.
- t = Temperatura em °C.
- H = Altura em cm
- T = Tempo em segundos

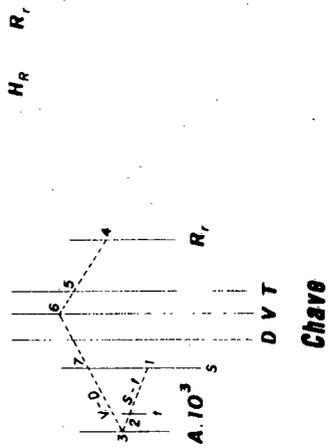


Lei de Stokes

$$D = \sqrt{AV}$$

$$A = \frac{1800n}{s-61}$$

$$V = \frac{H}{T}$$



H_R R_r

Chave



SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE1/R

LABORATÓRIO DE SOLOS
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
MÉTODOS LSR-07, LSC-06, LSC-07

REG. nº

DADOS DE CAMPO			
LOCAL -			
ZONA -			
ESPESSURA DA CAMADA			
ÁREA REPRESENTADA	ESTACAS		
	AFASTAMENTO		
EQUIPAMENTO		PASSADAS	
LOCAÇÃO	ESTACAS		
	AFASTAMENTO		
	COTA		
DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO "IN SITU"			
$\rho = \frac{\text{PESO RETIDO NA } \# n^{\circ} 4 + \text{PESO SECO PASSADO } \# n^{\circ} 4}{\text{VOLUME}}$			
$\rho = \frac{\text{PESO SECO TOTAL}}{\text{VOLUME}}$			
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO "IN SITU": _____ g/cm ³			

TEOR DE UMIDADE		CÁPSULAS	
MATERIAL < # n° 4			
PESOS	ÚMIDO + TARA	g	
	SECO + TARA	g	
	ÁGUA	g	
	TARA	g	
	SECO	g	
TEOR DE UMIDADE		%	
TEOR DE UMIDADE MÉDIO		%	
DETERMINAÇÃO DO PESO SECO TOTAL			
PESOS	TOTAL DA AMOSTRA	g	
	MATERIAL > # n° 4	g	
	MATERIAL ÚMIDO < # n° 4	g	
	MATERIAL SECO < # n° 4	g	
PESO SECO TOTAL = MATERIAL > # n° 4 + MATERIAL SECO < # n° 4			
PESO SECO TOTAL = _____ g			

$$\text{FATOR DE CORREÇÃO DOS PESOS} = \frac{\text{MATERIAL SECO } < \# n^{\circ} 4}{\text{PESO SECO TOTAL}}$$

PENEIRAMENTO GROSSO				PENEIRAMENTO FINO				
PESO SECO TOTAL _____ kg				PESO SECO DA AMOSTRA _____ g				
				FATOR DE CORREÇÃO DOS PESOS				
PENEIRAS	PESO RETIDO	PESO RETIDO ACUMULADO	% RETIDA ACUMULADA	PENEIRAS	PESO RETIDO ACUMULADO	% ACUMULADA AMOSTRA PARCIAL (Qn)	% ACUMULADA AMOSTRA PARCIAL x FATOR CORREÇÃO (Qc)	% RETIDA ACUMULADA
40"								
24"								
12"				10				
9"				20				
6"				40				
4"				60				
3"				100				
1 1/2"				140				
1"				200				
3/4"				< 200				
1/2"				DESCRIÇÃO DO ASPECTO DO MATERIAL				
3/8"				TRANSIÇÃO		ENROCAMENTO		
n° 4								
MATERIAL ÚMIDO < # n° 4 _____ kg								

OPERADOR _____	TURNO _____	DATA ____/____/____	ENSAIO nº
CALCULISTA _____	VISTO _____		

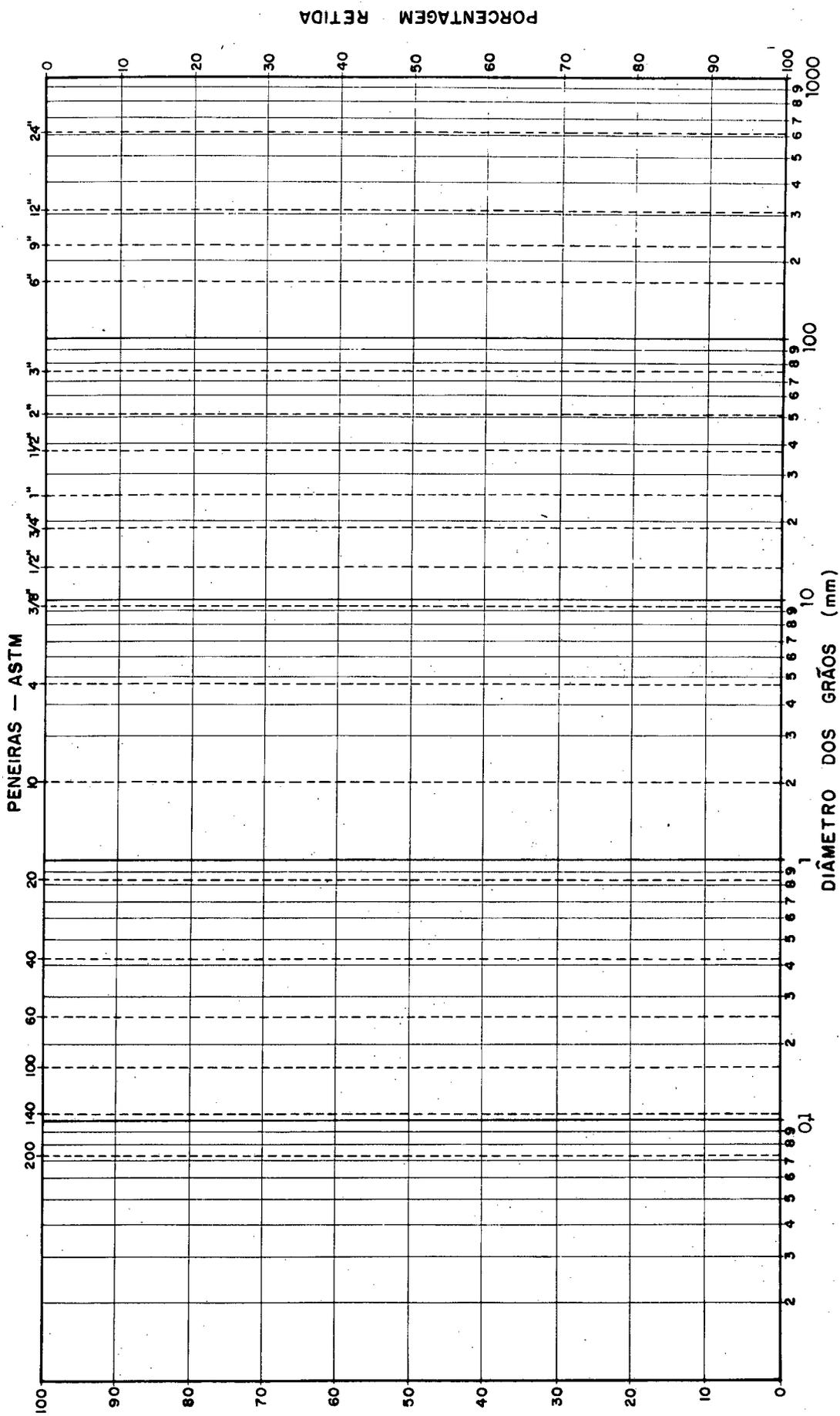


Companhia Energética de São Paulo

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

LABORATÓRIO DE SOLOS
CURVA GRANULOMÉTRICA - TRANSIÇÃO E ENROCAMENTO
MÉTODOS LSR-07 / LSC-07

REG. n.º



OPER. CALC.

VISTO DATA / /

OBSERVAÇÕES

ENSAIO n.º

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

53

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

5 - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NA ENERGIA DO PRÓCTOR NORMAL - MÉTODO LSR-08.

5.1 - Equipamentos.

- Molde cilíndrico metálico com volume aproximado de 1.000 cm^3 , diâmetro 100 mm, altura interna de aproximadamente 127 mm, provido de base e colarinho removíveis. O molde cilíndrico deve ser calibrado periodicamente.
- Soquete cilíndrico metálico manual, de peso deslizante internamente a uma camisa metálica, diâmetro de 50 mm com face inferior plana, peso de 2.500 g e com dispositivo para controle de altura de queda que deve ser regulado para 305 mm de queda livre.
O soquete deve ser calibrado também periodicamente verificando-se altura de queda livre, peso e diâmetro na face inferior.
- Balança analítica com capacidade de 5 a 10 quilos, sensível a 1,0 grama.
- Equipamento para determinação do teor de umidade. As cápsulas indicadas para este método devem ter aproximadamente $\varnothing = 6,0 \text{ cm}$ e $h = 3,5 \text{ cm}$.
- Peneira nº 4 ASTM (malhas quadradas de 4,76 mm).
- Balcão rígido provido de bandeja metálica plana de dimensões aproximadas 50 cm x 70 cm.
- Cepo de madeira quadrado, com 26 cm de lado e altura de 44 cm, com encaixe para o cilindro de compactação, fixado rigidamente ao piso e com alça para descanso do soquete.
- Estufa de lâmpadas infravermelho.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

54

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- Estufa elétrica capaz de manter uma temperatura uniforme de 105°C a 110°C.
- Extrator de amostra tipo realejo ou hidráulico.
- Almofariz de porcelana com capacidade de 3 litros.
- Mão de porcelana (ou pistilo) recoberto com borracha.
- Rêgua de aço de comprimento aproximado de 30 cm, biselada na sua região central.
- Instrumentos para mistura e homogeneização de solo como concha metálica, desempenadeira metálica, espátula, pincel, proveta de 50 cm³, etc.
- Folha de cálculo, máquina de calcular, etc.

5.2 - Preparação da Amostra com Secagem apenas até o Primeiro Ponto da Curva de Compactação.

- a) Todo o solo é seco ao ar até que sua umidade atinja valor em torno do primeiro ponto, menor que a umidade ótima estimada. Esta operação aparentemente complexa, torna-se fácil conforme aumenta a prática do técnico do ensaio em estimar a umidade ótima.
- b) Destorroa-se completamente o material no almofariz.
- c) Peneira-se na peneira nº 4 todo o material, destorroando manualmente algum torrão de solo que porventura ainda exista.
- d) O passado na peneira nº 4 é quarteado, homogeneizado cuidadosamente, e guardado até o instante do ensaio.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

55

5.3 - Execução do Ensaio com Reutilização do Solo.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 60) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra, local de extração, número, tara e volume do molde de compactação, número e tara das cápsulas para determinação do teor de umidade, energia de compactação utilizada, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.
- b) Juntar o molde ao colarinho, fixa-los à base e coloca-se o conjunto sobre o cepo de compactação.
- c) Com auxílio da concha metálica, colocar no cilindro uma quantia de solo tal que, após a aplicação da energia de compactação, a camada compactada ocupe apenas 1/3 de seu volume (pode-se estimar essa quantia em cerca de 800 gramas).
- d) Compactar o solo com 25 golpes do soquete compactador (de 2500 g e altura de queda 30,5 cm) uniformemente distribuídos na superfície do solo, tomando cuidados especiais para manter o soquete na vertical e evitando que o ato de levantar o soquete implique em altura de queda superior a 30,5 cm.
- e) Após a aplicação dos 25 golpes, escarificar a superfície compactada com sulcos de aproximadamente, 3 mm com auxílio de uma faca ou espátula.
- f) Repetir c, d e e até completar 3 camadas compactadas.
- g) Remover o molde da base e separá-lo do colarinho, colocá-lo com a base sobre balcão plano e rasar no seu topo, com a faca biselada, o excesso de material que ficou na região onde estava o colarinho. Nota-se que este excesso deve ser mínimo, de modo a não modificar o

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

56

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

volume compactado e com isso a energia de compactação. Caso haja falta de solo no molde, a sequência de b e g deve ser repetida.

- h) Após arrasamento do molde em seu topo, pesá-lo na balança analítica de 5,0 ou 10,0 kg com aproximação de 1,0 g e anotar o valor na linha Peso Úmido + Tara da coluna do primeiro ponto.
- i) Obtido o Peso Úmido do Solo, extrair a amostra do molde com auxílio do extrator realejo ou hidráulico.
- j) Cortar a amostra ao meio e das partes internas das duas metades coletar 60 a 80 g de solo úmido e colocá-lo na cápsula para determinação do teor de umidade. Anotar os dados de umidade obtidos na folha de ensaios na coluna referente ao primeiro ponto.
- k) Destorroar a amostra compactada e com auxílio da desempenadeira metálica, misturá-la ao resto da amostra e reduzi-la a torrões os menores possíveis. Adicionar água ao solo de modo a que atinja um teor de umidade de aproximadamente 1,5% acima do anterior. Homogeneizar a amostra.
- l) Repetir os itens de (b) a (k) mais quatro vezes.

5.4 - Cálculo do Ensaio.

- a) Peso específico úmido (γ_h) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_h \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{(\text{Peso úmido} + \text{tara do molde}) - (\text{tara do molde})}{\text{Volume do molde}}$$

ou seja $\gamma_h = \frac{Ph}{V}$ Onde:

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

57

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

Ph : peso do solo úmido contido no molde.

V : volume do molde.

- b) Peso específico aparente seco (γ_s) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso específico úmido}}{100 + (\text{teor de umidade \%})} \times 100$$

ou seja $\gamma_s = \frac{\gamma_h}{100+h} \times 100$, onde:

γ_h : peso específico úmido obtido em cada ponto.

h: teor de umidade correspondente de cada ponto expresso em porcentagem.

- c) Com os dados de umidade e peso específico aparente seco obtidos, plota-se no gráfico (conforme folha nº 60) onde se tem na abscissa a escala de variação de umidade (%) previamente estabelecida para o ensaio e nas ordenadas a escala de variação do peso específico aparente seco (g/cm³) previamente estabelecida para o ensaio.
- d) Após determinação dos pontos no gráfico, traça-se a curva de compactação.
- e) Pelo pico da curva traça-se uma paralela a abscissa e, onde ela encontra a ordenada, lê-se nessa escala o peso específico aparente seco máximo ($\gamma_s \text{ máx}$); traçando-se uma paralela a ordenada, onde ela encontra a abscissa, lê-se nessa escala o teor de umidade ótima ($h_{ót}$).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

58

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

5.5 - Causas de Erros.

- Equipamento com aferição incorreta; periodicamente devem ser aferidos o soquete e o molde de compactação.
- Solo não totalmente destorroado; a falta de destorroamento do solo implica em heterogeneidade de umidade das amostras.
- Água não totalmente absorvida pelo solo seco; resultados consistentes não podem ser conseguidos a menos que o solo e a água estejam completamente misturados e deixados por um tempo suficiente em contato, de modo a melhorar a absorção e uniformidade.
- Operador não treinado ou viciado no manuseio do soquete de compactação: certos técnicos não devidamente treinados ou viciados podem aumentar ou diminuir a energia de compactação, não permitindo queda livre do soquete ou aumentando sua altura de queda.
- Um número insuficiente de pontos para se definir a curva; este erro é mais comum também para operadores novos e é causado por uma secagem da amostra bastante abaixo da umidade ótima. Para evitar este erro deve-se observar que após a umidade ótima a densidade úmida cai ou fica praticamente constante.
- Base de compactação imprópria; uma base leve ou solta, permite movimentos e saltos do cilindro de compactação, o que pode alterar a energia do ensaio.
- Quantidade de amostra muito grande dentro do colarinho após compactação; como já dito anteriormente, o excesso de material na última camada do ensaio corresponde a uma diminuição da energia de compactação na última camada. Este erro deve ser evitado e pode ser desprezado se a

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

59

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

sobra não for superior a 0,5 cm.

- Determinação da umidade sobre amostra não representativa; no item Determinação do Teor de Umidade são descritas as diferentes causas e consequências dos erros na determinação deste parâmetro. Neste ensaio em particular, o erro causado altera não só teor de umidade, mas também o peso específico aparente seco correspondente, pois este é obtido através de γ_h e h .



LABORATÓRIO DE SOLOS
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO
MÉTODO LSR-08

REG. n^o

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE I/R

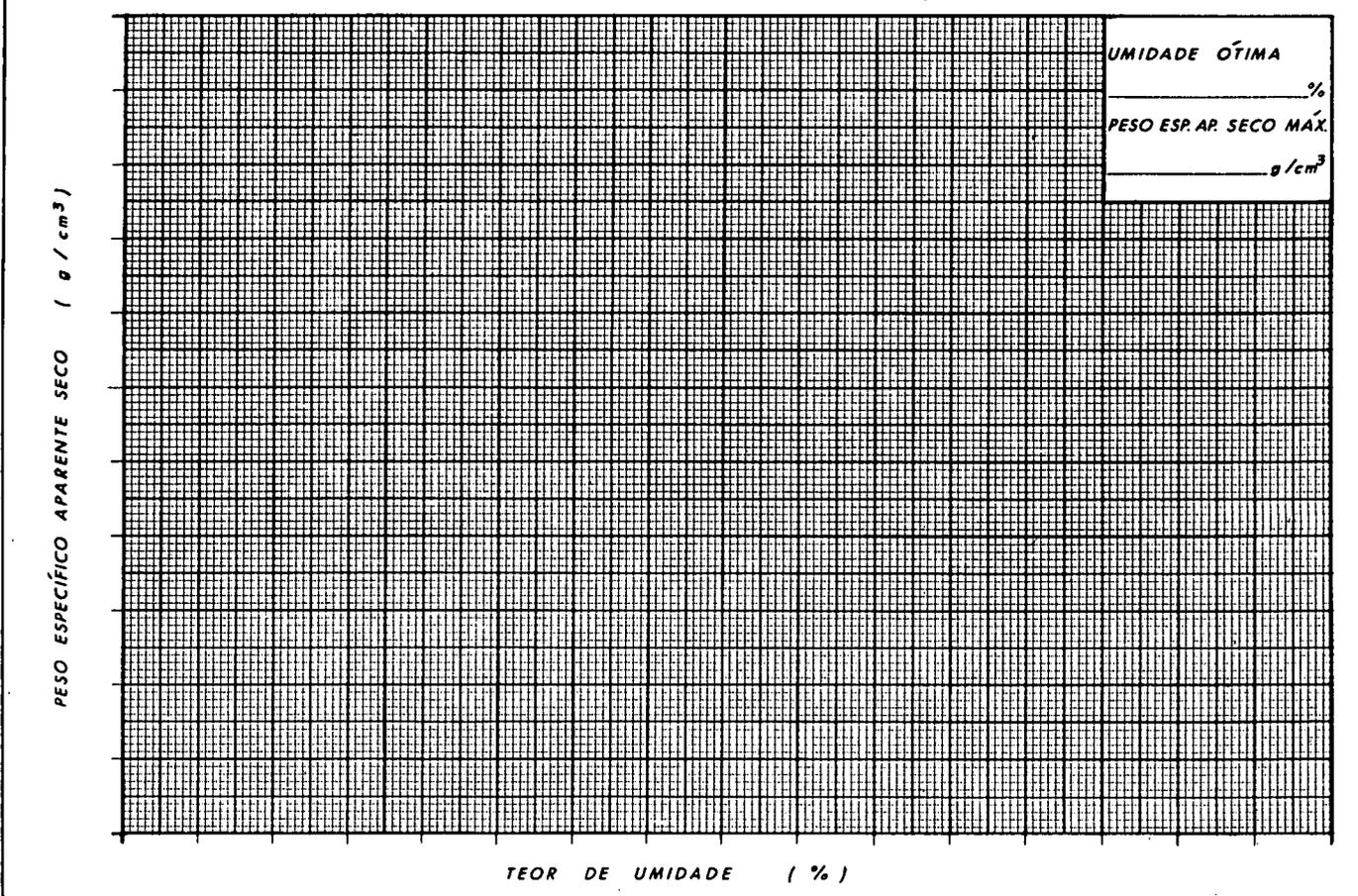
POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA n ^o	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA

DETERMINAÇÕES		1	2	3	4	5	6
UMIDADES	CÁPSULA n ^o						
	PESO ÚMIDO + TARA g						
	PESO SECO + TARA g						
	PESO DA ÁGUA g						
	TARA DA CÁPSULA g						
	PESO SECO g						
	UMIDADE %						

DENSIDADES	VOLUME DO CILINDRO cm ³						
	PESO ÚMIDO + TARA g						
	TARA DO CILINDRO g						
	PESO ÚMIDO g						
	PESO ESPECÍFICO ÚMIDO g/cm ³						
	PESO ESPECÍFICO SECO g/cm ³						

CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO

CILINDRO n ^o	VOLUME cm ³	PESO kg
NÚMERO DE CAMADAS	NÚMERO DE GOLPES POR CAMADAS	PESO DO SOQUETE kg



OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO n ^o
CALC. _____ DATA ____/____/____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

FOLHA

61

6 - ENSAIOS DE PERMEABILIDADE.

6.1 - Equipamentos.

- Permeâmetro padrão para o ensaio de carga variável.
- Permeâmetro padrão para o ensaio de carga constante, tipo Kapetski.
- Discos de metal perfurados ou de plástico
- Tubo de vidro ou de plástico (piezômetros).
- Tela, grampos, conexões necessárias, etc.
- Dispositivo para manter carga constante.
- Dispositivo para alimentação da água deareada.
- Dispositivo de tempo, um relógio ou despertador com mostrador de segundos.
- Proveta graduada, capacidade 100 ml.
- Termômetro, escala 0°C a 50°C , com medida de $0,1^{\circ}\text{C}$.
- Balança sensibilidade 0,1 g.
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C .
- Paquímetro.
- Câmara inferior do permeâmetro Kapetski.
- Cilindro em que é depositada a amostra e cilindro cabeçote para ensaio tipo Kapetski.
- Anéis metálicos.
- Flanges e parafusos.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

62

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- Saídas para piezômetros.
- Tubo de regulagem.
- Ladrão do cilindro - cabeçote.
- Material para filtro assim como areia e pedregulho (várias graduações).

6.2 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante no "Aparattus" Determinado por Kapetski - Método LSR-09.

6.2.1 - Preparo da Amostra e Saturação.

- a) Registro de toda informação para identificação da amostra e ensaio (conforme folha nº 72), local, estaca, afastamento, cota, número do furo, número da amostra, nome do técnico que executará o ensaio e todos dados que permitirão identificar a amostra.
- b) Amostra seca na estufa e passada na peneira nº 4. Deixar esfriar e pesar com precisão de 0,1 g.
- c) Determinar a densidade máxima e mínima segundo o Método LSR-12.
- d) Com a densidade máxima e mínima determinadas, obter a densidade desejada do ensaio através da fórmula:

$$\rho \text{ de moldagem} = \frac{\rho \text{ mínima}}{1 - \frac{(GC\% \div M)}{100}}$$

- e) Colocar uma tela de arame cuja malha tenha um diâmetro suficientemente fino para reter as partículas da amostra acima do disco perfurado.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

63

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

A abertura do diâmetro da malha deverá ser aproximadamente igual ao D 10 (diâmetro efetivo)

- f) Colocar uma quantidade de amostra no permeâmetro, tendo um comprimento mínimo cerca de uma ou duas vezes o diâmetro da amostra, ou quantidade necessária que permaneça nesta altura mínima, após a densificação requerida para o ensaio. Após isso, colocar uma tela tal qual especifica o item e, no topo da amostra.
- g) A determinação da densidade de ensaio, deverá ser feita através da criação de um campo de vibração nas paredes laterais, consequência de golpes desferidos por martelo de madeira (borracha).
- h) Medir o comprimento da amostra e o diâmetro interno do permeâmetro com uma precisão de 0,1 cm e registrar na folha de ensaio.
- i) Iniciar a saturação da amostra, adicionando água através de um funil posicionado na extremidade do tubo de regulagem, de modo que esta preencha totalmente a câmara inferior (região onde estão os discos furados).
Em seguida liga-se esta câmara ao piezômetro respectivo.
- j) Inicia-se então a saturação da amostra de baixo para cima, erguendo o funil até que o nível de água fique acima do topo da amostra, ligando-se no final da saturação da amostra, a tubulação que controla o nível de água no topo da amostra ao piezômetro respectivo.
- k) A seguir, retira-se o funil e inicia-se o ensaio.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

64

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

6.2.2 - Execução do Ensaio.

- a) Executam-se três ensaios, com a extremidade do tubo de regulagem (tubo que foi adicionado água para saturação da amostra) nas alturas de $1/6 L$, $1/2 L$ e $5/6 L$ (L é a altura da amostra). Estas alturas são contados a partir da base da amostra.
- b) Para cada ensaio são feitas três medidas de volumes de água retida na proveta graduada, que se encontra na extremidade do tubo de regulagem e os dos respectivos tempos gastos, bem como a variação da carga h (diferença entre as leituras dos piezômetros).
- c) No cilindro cabeçote instalar um termômetro para leituras de temperatura da água.

6.2.3 - Cálculo do Ensaio.

- a) Pela fórmula de Darci, calcula-se então o coeficiente de permeabilidade K :

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot t} \quad \text{sendo:}$$

V : volume de água retido na proveta (cm^3).

t : tempo gasto para reter a água (s).

A : área da seção normal ao fluxo d'água ou da amostra (cm^2).

h : diferença de níveis da água nos piezômetros (cm).

L : altura da amostra (cm).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

65

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

b) Calcula-se (K) o coeficiente de permeabilidade, com a média das três leituras feitas no item 6.2.2 - b.

c) Como o ensaio é realizado numa temperatura t, necessita-se transformar o coeficiente de permeabilidade K, para o da temperatura de 20°C, K₂₀. Para isso é usado um coeficiente de correção C_t que é relação entre a viscosidade da água a temperatura de t°C e a de 20°C.

$$K_{20} = k_t \times C_t$$

Para cálculo de K₂₀, ler a correção da temperatura C_t, na tabela folha nº 71.

6.2.4 - Dados Obtidos.

Com os coeficientes de permeabilidade correspondentes aos três gradientes hidráulicos (1/6 L, 1/2 L e 5/6 L), toma-se, como valor final e definitivo, a média aritmética dos três gradientes hidráulicos.

6.2.5 - Causas de Erros.

- a) Estado dos anéis de borracha, de ferro e os parafusos, que devem evitar os vazamentos.
- b) Apertar e ajustar os anéis de borracha e de pedra e os parafusos para evitar vazamentos.
- c) Cuidados devem-se tomar na saturação da câmara inferior na base da amostra, para que não surjam bolhas de ar e também na tubulação.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 66
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>d) Misturar bem a amostra e lançar de tal forma que não haja segregação.</p> <p>e) Bater com martelo de madeira (borracha) uniformemente ao longo da circunferência do permeâmetro, de modo que os finos não sejam postos em suspensão e separados dentro da amostra.</p> <p>f) Na colocação da amostra seca, controlar altura do funil ou colher a qual permitirá a queda do material com altura constante.</p> <p>g) Nunca compactar amostra em camadas, pois se poderá formar uma película de material fino no topo da camada, a qual pode afetar os resultados do ensaio.</p> <p>h) Cuidado para que não haja perda de material na colocação da amostra; se houver perda, pesar depois para comprovação.</p> <p>i) Iniciar o ensaio somente após estabilização do fluxo de água (saturação).</p> <p>6.3 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável - Método LSR-10.</p> <p>6.3.1 - Preparo da Amostra e Saturação.</p> <p>a) Registro de toda a informação para identificação da amostra e ensaio (conforme folha nº74), local, estaca, afastamento, cota, número do furo e da amostra e todos os dados que permitirão identificar a amostra, nome do técnico que executará o ensaio e data de sua realização.</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

67

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- b) Do local onde foi extraído o corpo de prova, descrever sucintamente a situação do bloco indeformado.
- c) Utilizando-se o moldador, procurar obter um corpo de prova com as dimensões aproximadas de 9,0 cm de diâmetro por 12,0 cm de altura; a moldagem do corpo de prova será obtida removendo-se continuamente o material por raspagem.
- d) Do material removido pela raspagem, retiram-se três amostras para determinação da umidade antes do ensaio.
- e) Com corpo de prova moldado, são feitas 3 medidas de seu diâmetro e 3 de sua altura através de um paquímetro. A média de cada série de 3 leituras é considerada como o valor de dimensão correspondente. A seguir o corpo é parafinado e determinada a sua densidade úmida através do método hidrostático, método LSR-11. Feitas três determinações da densidade úmida, a média destas é utilizada no ensaio.
- f) Com os dados obtidos através dos itens c, d e e e mais os dados de ensaios de caracterização, calcula-se o índice de vazios e saturação inicial.
- g) Em seguida, inicia-se a montagem do ensaio. No fundo do cilindro, conforme folha nº 73, é colocada uma tela metálica com o diâmetro suficientemente fino, cuja malha deverá ser aproximadamente igual ao D 10 (diâmetro efetivo), sobre a qual é colocada uma camada de material

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

68

filtrante passante na peneira nº 4 e retido na peneira nº 10. O corpo de prova é colocado no centro do cilindro e o espaço entre o corpo de prova e o cilindro é preenchido com argila impermeável, com umidade maior do que o seu limite de plasticidade. Quando igualar com o topo da amostra a ser ensaiada, esta camada de argila impermeável é protegida com anel de plástico e, logo a seguir, colocada outra camada filtrante, de material passando na peneira de 1/2" e retido na 3/8".

- h) Inicia-se então a saturação da amostra de baixo para cima, sob um gradiente hidráulico da ordem de 13. Permanecer assim até se observar o aparecimento de água no topo.

6.3.2 - Execução do Ensaio.

- a) Após a saturação, o tubo plástico é conectado ao bico do topo do cilindro e é dado início ao ensaio propriamente dito com um gradiente hidráulico inicial da ordem de 13, percolando-se, assim, água do topo para a base e mantendo-se constante o nível d'água na base.
- b) Proceder leituras de carga inicial e final (altura de água na bureta), do tempo decorrido para esta variação (tempo que água percola) e da temperatura da água do ensaio. Este processo é repetido no mínimo seis vezes.

6.3.3 - Cálculo do Ensaio.

- a) Calcula-se o coeficiente de permeabilidade K,

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

69

por meio da seguinte equação:

$$K = 2,303 \frac{a}{A} \frac{L}{\Delta t} \log \frac{H_i}{H_f}$$

onde:

a : área interna da bureta, em cm².

A : área da seção transversal da amostra, em cm².

L : comprimento da amostra, em cm.

Δt : diferença de tempo entre o tempo final e tempo inicial da percolação (TF - TI), em segundos.

H_i : altura da água na bureta, no tempo inicial

H_f : altura da água na bureta, no tempo final.

- b) Calcula-se K, o coeficiente de permeabilidade, para os seis ensaios feitos no item 6.3.2 - b.
- c) Como o ensaio é realizado numa temperatura t, necessita-se transformar o coeficiente de permeabilidade K para o de temperatura de 20°C, K₂₀. Para isso é usado um coeficiente de correção C_t que é a relação entre a viscosidade da água a temperatura de t°C e a de 20°C.

$$K_{20} = K_t \times C_t$$

Para o cálculo de K₂₀, ler a correção da temperatura C_t, na tabela conforme folha nº 71.

6.3.4 - Dados Obtidos.

Com os coeficientes de permeabilidade correspondentes aos seis ensaios a K₂₀, toma-se

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

70

como valor final e definitivo, a média aritmética dos seis ensaios.

6.3.5 - Causas de Erros.

- a) Estado dos anéis de borracha, de ferro e os parafusos, que devem evitar os vazamentos.
- b) Ajustar e apertar os anéis de borracha, de ferro e os parafusos para evitar vazamentos.
- c) Cuidados devem-se tomar na saturação da câmara inferior na base da amostra para que não surjam bolhas de ar e também na tubulação.
- d) Iniciar o ensaio somente após saturação do material (até que a água surja no topo).

TEMPERATURA °C	DECIMAIS DO GRAU									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	1.783	1.777	1.771	1.765	1.759	1.753	1.747	1.741	1.735	1.729
1.0	1.723	1.717	1.711	1.705	1.699	1.694	1.688	1.682	1.676	1.670
2.0	1.664	1.659	1.654	1.648	1.643	1.638	1.632	1.627	1.622	1.616
3.0	1.611	1.606	1.601	1.596	1.590	1.585	1.580	1.575	1.570	1.565
4.0	1.560	1.555	1.550	1.545	1.540	1.535	1.531	1.526	1.521	1.516
5.0	1.511	1.507	1.502	1.498	1.493	1.488	1.484	1.479	1.475	1.470
6.0	1.465	1.461	1.457	1.452	1.448	1.443	1.439	1.435	1.430	1.426
7.0	1.421	1.417	1.413	1.409	1.404	1.400	1.396	1.392	1.388	1.363
8.0	1.379	1.375	1.371	1.367	1.363	1.359	1.355	1.351	1.347	1.343
9.0	1.339	1.336	1.332	1.328	1.324	1.320	1.317	1.313	1.309	1.305
10.0	1.301	1.298	1.294	1.290	1.287	1.283	1.279	1.276	1.272	1.269
11.0	1.265	1.262	1.258	1.255	1.251	1.248	1.244	1.241	1.237	1.234
12.0	1.230	1.227	1.223	1.220	1.217	1.213	1.210	1.207	1.203	1.200
13.0	1.197	1.194	1.190	1.187	1.184	1.181	1.178	1.175	1.171	1.168
14.0	1.165	1.162	1.159	1.156	1.153	1.150	1.147	1.144	1.141	1.138
15.0	1.135	1.132	1.129	1.126	1.123	1.120	1.117	1.114	1.111	1.108
16.0	1.106	1.103	1.100	1.097	1.094	1.091	1.089	1.086	1.083	1.080
17.0	1.077	1.075	1.072	1.069	1.067	1.064	1.061	1.059	1.056	1.053
18.0	1.051	1.048	1.045	1.043	1.040	1.038	1.035	1.033	1.030	1.027
19.0	1.025	1.022	1.020	1.017	1.015	1.012	1.010	1.007	1.005	1.002
20.0	1.000	0.998	0.995	0.993	0.990	0.988	0.986	0.983	0.981	0.979
21.0	0.976	0.974	0.972	0.969	0.967	0.965	0.962	0.960	0.958	0.955
22.0	0.953	0.951	0.949	0.947	0.944	0.942	0.940	0.938	0.936	0.933
23.0	0.931	0.929	0.927	0.925	0.923	0.920	0.918	0.916	0.914	0.912
24.0	0.910	0.908	0.906	0.904	0.901	0.899	0.897	0.895	0.893	0.891
25.0	0.889	0.887	0.885	0.883	0.881	0.879	0.877	0.875	0.873	0.871
26.0	0.869	0.867	0.866	0.864	0.862	0.860	0.858	0.856	0.854	0.852
27.0	0.850	0.848	0.847	0.845	0.843	0.841	0.839	0.837	0.836	0.834
28.0	0.832	0.830	0.828	0.826	0.825	0.823	0.821	0.819	0.818	0.816
29.0	0.814	0.812	0.810	0.809	0.807	0.805	0.804	0.802	0.800	0.798
30.0	0.797	0.795	0.793	0.792	0.790	0.788	0.787	0.785	0.783	0.782
31.0	0.780	0.778	0.777	0.775	0.774	0.772	0.770	0.769	0.767	0.766
32.0	0.764	0.763	0.761	0.759	0.758	0.756	0.755	0.753	0.752	0.750
33.0	0.749	0.747	0.746	0.744	0.743	0.741	0.739	0.738	0.736	0.735
34.0	0.733	0.732	0.731	0.729	0.728	0.726	0.725	0.723	0.722	0.720
35.0	0.719	0.718	0.716	0.715	0.713	0.712	0.711	0.709	0.708	0.706
36.0	0.705	0.704	0.702	0.701	0.699	0.698	0.697	0.695	0.694	0.693
37.0	0.691	0.690	0.689	0.687	0.686	0.685	0.683	0.682	0.681	0.679
38.0	0.678	0.677	0.675	0.674	0.673	0.672	0.670	0.669	0.668	0.666
39.0	0.665	0.664	0.663	0.661	0.660	0.659	0.658	0.656	0.655	0.654
40.0	0.653	0.652	0.650	0.649	0.648	0.647	0.646	0.644	0.643	0.642
41.0	0.641	0.639	0.638	0.637	0.636	0.635	0.634	0.632	0.631	0.630
42.0	0.629	0.628	0.627	0.626	0.624	0.623	0.622	0.621	0.620	0.619
43.0	0.618	0.616	0.615	0.614	0.613	0.612	0.611	0.610	0.609	0.608
44.0	0.607	0.606	0.604	0.603	0.602	0.601	0.600	0.599	0.598	0.597
45.0	0.596	0.595	0.594	0.593	0.592	0.591	0.590	0.588	0.587	0.586
46.0	0.585	0.584	0.583	0.582	0.581	0.580	0.579	0.578	0.577	0.576
47.0	0.575	0.574	0.573	0.572	0.571	0.570	0.569	0.568	0.567	0.566
48.0	0.565	0.564	0.564	0.563	0.562	0.561	0.560	0.559	0.558	0.557
49.0	0.556	0.555	0.554	0.553	0.552	0.551	0.550	0.549	0.548	0.548



Companhia
Energética de
São Paulo

LABORATÓRIO DE SOLOS
PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE
"APARATTUS" MÉTODO LSR-09

REG. nº

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA n°	LOCAL
ESTACA	REG. n°	AFASTAMENTO	COTA

DADOS DO CILINDRO

CILINDRO n° _____ DIÂMETRO _____ cm ALTURA _____ cm ÁREA _____ cm² VOLUME _____ cm³ PESO _____ g

	TEMPO (s)	VOLUME (cm ³)	Δ h (cm)	TEMPERATURA (°C)	K _T	C _t	K ₂₀
1/6							
	MÉDIA						

3/6							
	MÉDIA						

5/6							
	MÉDIA						

ρ DE MOLDAGEM = $\frac{\rho_{MÍNIMA}}{1 - (\frac{GC \% \cdot M}{100})}$ = _____ g/cm³ ($i = \frac{\Delta h}{L}$) ($Q = \frac{V}{t}$) ($K = \frac{Q}{iA}$)

OPER. _____ VISTO _____
CALC. _____ DATA ____/____/____

OBSERVAÇÕES

ENSAIO n°

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

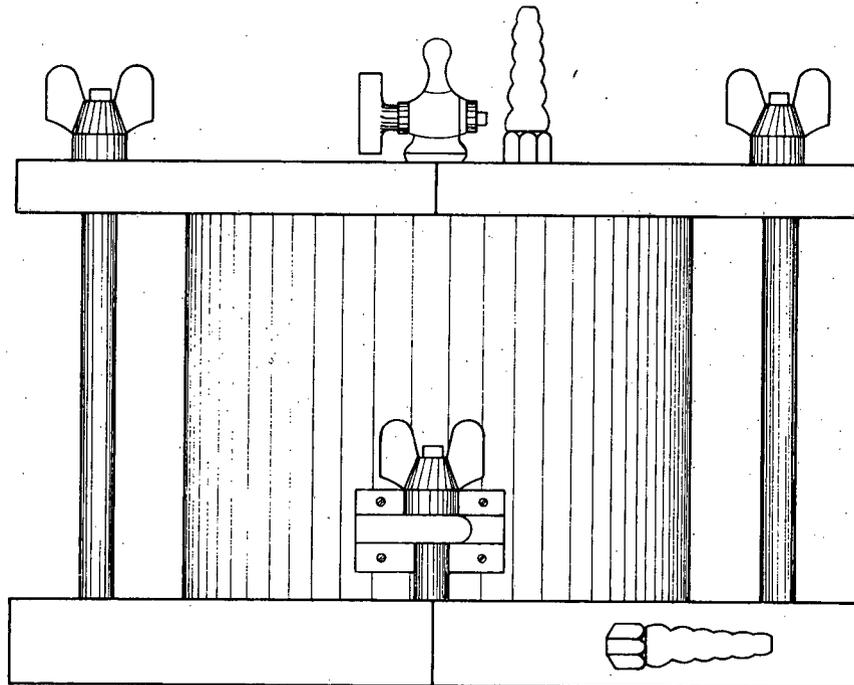
FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

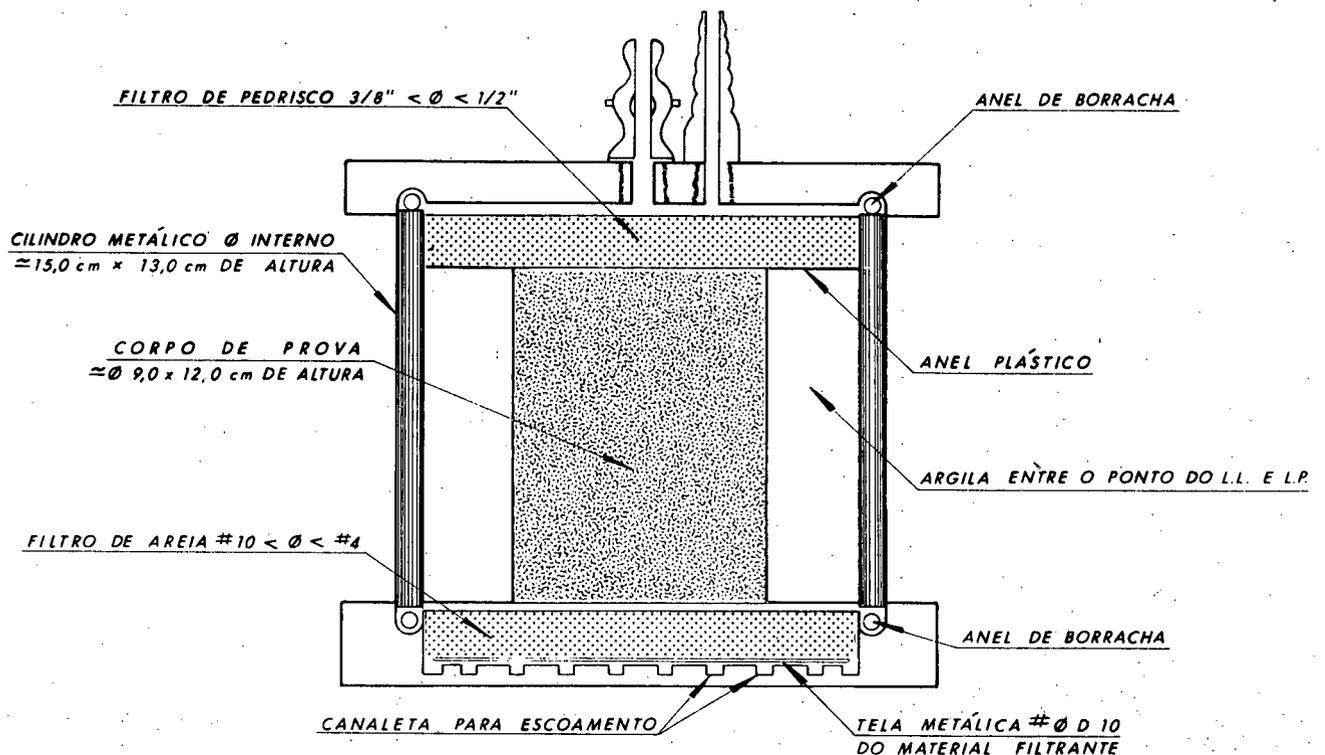
73

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

Elevação



Corte Esquemático



Cilindro para Ensaio de Permeabilidade

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA n°	LOCAL
ESTACA	AFASTAMENTO		COTA

TEOR DE UMIDADE

AMOSTRA	CÁPSULAS	PESO ÚMIDO + TARA (g)	PESO SECO + TARA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	TARA (g)	PESO SECO (g)	UMIDADE	MÉDIA
ANTES								
DEPOIS								

CARACTERÍSTICA DO CORPO DE PROVA

1 DIÂMETRO		cm	7 PESO SECO	g
2 ALTURA	L	cm	8 PESO ESPECÍFICO SECO ρ_s	g
3 ÁREA	A	cm ²	9 DENSIDADE DOS GRÃOS ρ	g/cm ³
4 VOLUME		cm ³	10 ÍNDICE DE VAZIOS e	%
5 PESO ÚMIDO		g	11 SATURAÇÃO INICIAL S	%
6 UMIDADE INICIAL		%	12 SATURAÇÃO FINAL S	%

DISPOSITIVO DO ENSAIO

PERMEÂMETRO n°	TUBO n°	(a) ÁREA DO TUBO	cm ²
----------------	---------	------------------	-----------------

ENSAIO

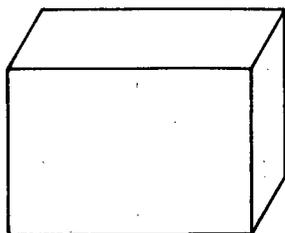
DIA	T.I. (HORA)	T.F. (HORA)	$\Delta T = T.F. - T.I.$ (s)	H.I. (cm)	H.F. (cm)	T (°C)	$\frac{C}{\Delta T}$	$\text{LOG} \frac{H.I.}{H.F.}$	K.T. (cm/s)	C.T.	K ₂₀ (cm/s)

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE A 20°C K₂₀ = (cm/s)

$$K_T = 2,3 \frac{a \cdot L}{A (T.F. - T.I.)} \text{LOG} \frac{H.I.}{H.F.} \text{ (cm/s)} = \frac{C}{\Delta T} \text{LOG} \frac{H.I.}{H.F.}; \quad C = 2,3 \frac{a \cdot L}{A} \text{ CONSTANTE (c) =}$$

$$K_{20} = (C_T) \times K_T \text{ (cm/s)} \quad a = \frac{\rho}{\rho_s} - 1 \quad S = \frac{\rho \cdot h}{\rho_s}$$

POSIÇÃO DO CP LADO DO BLOCO PARTE DO BLOCO



DESCRIÇÃO

OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO n°
CALC. _____ DATA / / _____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

75

7 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE ATRAVÉS DO MÉTODO HIDROSTÁTICO MÉTODO LSR-11.

7.1 - Equipamentos.

- Balança com sensibilidade de 0,1 g.
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.
- Espátulas para moldagem do corpo de prova ou facas.
- Parafina.
- Dispositivo para derreter a parafina.
- Cápsulas para determinação de umidade.

7.2 - Preparo da Amostra.

- a) Registro de toda a informação para identificação da amostra e ensaio (conforme folha nº 78), local, estaca, afastamento, cota, número do furo e da amostra e todos os dados que permitirão identificar a amostra.
- b) Do local onde foi extraído o corpo de prova, descrever sucintamente a situação do bloco indeformado.
- c) Moldam-se dois corpos de prova removendo-se continuamente o material por raspagem, até obter-se uma forma desejada.
- d) Os corpos de prova moldados são pesados, após isto são imersos em parafina em estado líquido, conseguida através de aquecimento.

7.3 - Execução do Ensaio.

- a) Com os corpos de prova parafinados, imergí-los na água separadamente.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

76

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- b) Proceder as leituras de cada peso do corpo de prova imerso. Este processo é repetido em função dos números dos corpos de prova a serem utilizados. Normalmente serão utilizados dois corpos de prova.
- c) Após a pesagem, remove-se a casca de parafina e retira-se da parte central do corpo de prova duas amostras para determinação da umidade.

7.4 - Cálculo do Ensaio.

- a) Conhecidos o peso do corpo de prova, peso de corpo de prova mais parafina, peso do corpo de prova imerso, teor de umidade e a densidade da parafina, calcula-se a densidade desejada da seguinte maneira:

DADOS PARA CÁLCULO DA DENSIDADE			
ITEM	D I S C R I M I N A Ç Ã O	UNIDADE	FÓRMULA
a	Peso do corpo de prova	(g)	
b	Peso do corpo de prova + parafina	(g)	
c	Peso da parafina	(g)	b - a
d	Peso do corpo de prova imerso	(g)	
e	Volume do corpo de prova + parafina	(cm ³)	b - d
f	Volume de parafina	(cm ³)	c ÷ k
g	Volume do corpo de prova	(cm ³)	e - f
h	Peso específico aparente úmido	(g/cm ³)	a ÷ g
i	Teor de umidade	%	
j	Peso específico aparente seco	(g/cm ³)	$h \cdot \left(\frac{100}{100 + i} \right)$
k	Densidade da parafina	(g/cm ³)	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

77

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

7.5 - Dados Obtidos.

Com os pesos específicos aparente seco obtidos, toma-se como valor final e definitivo, a média aritmética dos dois ensaios.

7.6 - Causas de Erros.

- a) Sendo o corpo mal parafinado a água penetra falseando o valor do peso e a umidade.
- b) Quando moldar o corpo de prova deixá-lo sempre coberto com pano úmido, para que não haja perda de umidade.
- c) Na leitura do peso do corpo de prova imerso, reverificar para que não haja erro de leitura.
- d) Pode haver formação de bolhas de ar quando se mergulha o corpo de prova.
- e) Vazios formados na amostra, por moldagem descuidada.

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE1/R

POÇO / EMPRÉSTIMO

PROF.

BLOCO

LOCAL

ESTACA

AFASTAMENTO

COTA

TEOR DE UMIDADE

1 CÁPSULA nº

2 PESO ÚMIDO + TARA g

3 PESO SECO + TARA g

4 PESO DA ÁGUA (2-3) g

5 TARA g

6 PESO DO SOLO SECO (3-5) g

7 TEOR DE UMIDADE $(4 \div 6) \cdot 100$ %

8 MÉDIA %

PESO ESPECÍFICO

9 PESO DO CORPO DE PROVA g

10 PESO DO CORPO DE PROVA + PARAFINA g

11 PESO DA PARAFINA (10-9) g

12 PESO DO CORPO DE PROVA + PARAFINA IMERSO g

13 VOLUME DO CORPO DE PROVA + PARAFINA (10-12) cm³14 VOLUME DA PARAFINA (11 ÷ 20) cm³15 VOLUME DO CORPO DE PROVA (13-14) cm³16 PESO ESPECÍFICO APARENTE ÚMIDO $(9 \div 15)$ g/cm³

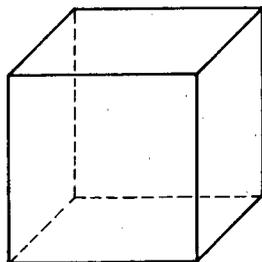
17 TEOR DE UMIDADE %

18 PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO $16 \left(\frac{100}{100+17} \right)$ g/cm³19 MÉDIA g/cm³

20 DENSIDADE DA PARAFINA

POSIÇÃO DO CP NO BLOCO

DESCRIÇÃO DO BLOCO



OPER. _____ VISTO _____

OBSERVAÇÕES

ENSAIO nº

CALC. _____ DATA ____/____/____

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

79

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

8 - DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES MÁXIMAS E MÍNIMAS - MÉTODO LSR-12.

8.1 - Equipamentos.

- Mesa vibratória de aço com tampo vibratório de aço apoiado num coxim de 105 x 105 cm aproximadamente, acionada por vibrador eletromagnético. O vibrador será de tipo semi-silencioso com peso líquido superior a 45 quilos. Deverá ter uma frequência de 3.600 rpm com amplitude variável entre 0,05 e 0,635 mm sob uma carga de 100 libras e é conveniente que funcione com tensão de 230 V.
- Moldes cilíndricos de 2,83 L e 14,2 L de capacidade.
- Camisa guia com conjunto de fixação para cada tamanho de molde. Dois dos três conjuntos de parafusos do conjunto de fixação terão contraporcas.
- Disco de base de sobrecarga de 1/2" de espessura para cada tamanho de molde.
- Peso de sobrecarga para cada tamanho de molde. A pressão total será referente ao peso da sobrecarga mais o prato e será equivalente a 0,141 g/cm³.
- Um pegador para cada prato de sobrecarga.
- Suporte para relógio comparador.
- Relógio comparador de 2" de curso, graduações em 0,001".
- Barra de calibração em metal de 3" x 12" x 1/8".
- Funis de 1/2" e 1" de diâmetros por 6" de comprimento, bico cilíndrico e bordas arredondadas para acoplagem de um cilíndrico alto de carga de 6" x 12".

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

FOLHA

80

- Recipientes metálicos em dois tamanhos: um de aproximadamente 60 x 90 x 10 cm de profundidade e outro de aproximadamente 50 x 50 x 5 cm de profundidade.
- Balança de plataforma de 100 kg de capacidade, com graduações de 5 em 5 g.
- Montacarga ou Talha de corda, correntes ou cabo de aço com, pelo menos, 200 quilos de capacidade.
- Outros equipamentos, inclusive uma pá metálica grande, um pincel, um "timer" indicador de minutos e segundos, uma lâmina metálica de 40 cm de comprimento e um micrômetro de 0 a 1" com precisão de 0,001".

8.2 - Preparo da Amostra e Calibração dos Moldes.

- a) Seleciona-se uma amostra representativa do solo. O peso necessário para ensaio é função de seu \varnothing máx. Assim:

DADOS PARA O ENSAIO			
DIÂMETRO MÁXIMO	PESO NECESSÁRIO AMOSTRA (g)	EQUIPAMENTO PARA EXECUÇÃO DO MÍNIMO	VOLUME MOLDE
3"	45.500	Pá ou colher bem larga	14,2 ℓ
1 1/2"	12.000	Pá	2,83 ℓ
3/4"	12.000	Pá	2,83 ℓ
3/8"	1.200	Funil com bico 1"	2,83 ℓ
4,76mm	1.200	Funil com bico 1/2"	2,83 ℓ

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

81

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

b) Seca-se a amostra do solo em estufa na faixa de 105 a 110°C e passa-se em uma peneira de abertura suficientemente pequena para quebrar todos os torrões da amostra.

8.3 - Calibração dos Moldes.

A calibração dos moldes é feita através da determinação do volume dos moldes por medida direta. Compara-se com os valores obtidos preenchendo os mesmos com água (conforme alíneas a e b abaixo).

Determina-se a leitura inicial do relógio comparador para cálculo do volume como indicado na alínea c.

- a) Volume por medida direta: determina-se a média do diâmetro interno e altura do molde com aproximação de 0,001". Calcula-se o volume do molde de 2,84 L com aproximação de 0,3 cm³ e o de 14,2 L. com aproximação de 3 cm³. Calcula-se também a média da área interna do cilindro em cm².
- b) Volume medido com água: determina-se o peso da água, em gramas, necessário para preencher o molde. Passa-se uma placa de vidro cuidadosamente sobre a superfície do molde de maneira a se ter certeza de que este está completamente preenchido pela água. Determina-se a temperatura desta. Uma fina camada de óleo ou graxa na superfície (borda superior) do molde evita a saída na junta vidro com o topo do molde. Calcula-se o volume do molde, em cm³, multiplicando-se o peso da água nele contida, medido em gramas, pelo volume unitário da água, em cm³/g, àquela temperatura.
- c) Leitura inicial do relógio comparador: determina-se com auxílio do micrômetro a espessura da base da sobrecarga

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

82

e da barra de calibração com aproximação de 0,001". Coloca-se a barra de calibração na direção de um diâmetro do molde e ao longo do eixo do braço-guia. Introduce-se o suporte do braço-guia nos dois furos passantes de modo que a haste do relógio comparador apoie no topo da barra de calibração e paralelo ao eixo do suporte. O suporte do relógio será colocado na mesma posição nos furos passantes a cada vez, por meio de marcas nelas e no suporte. Obtêm-se seis leituras no relógio, três do lado direito e três do lado esquerdo e tira-se a média dessas determinações. Calcula-se a leitura inicial, adicionando-se a espessura do prato de sobrecarga à média das 6 determinações do extensômetro e, do resultado, subtrai-se a espessura da barra de calibração. A leitura inicial é constante para uma particular medida para a referida aferição em conjunto com prato de base da sobrecarga.

8.4 - Método para Obtenção da Densidade Mínima.

Determina-se a densidade relativa mínima (ou densidade relativa zero) (índice de vazios máximo) como segue:

- a) Seleciona-se o aparelho de espalhar o material e o tamanho do molde de acordo com o diâmetro máx. como indicado no item anterior. Pesa-se o molde e anota-se o peso. Usa-se solo seco em estufa.
- b) Coloca-se o solo contendo partículas menores que 3/8" do modo mais solto possível, despejando-o pelo bico com um fluxo constante e ao mesmo tempo tomando-se a precaução de que a queda livre do solo não seja superior a 1". Ao mesmo tempo, move-se o funil em espiral em torno do centro para formar uma camada de solo de espessura uniforme, sem segregação. Preenche-se o molde até

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 83
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

aproximadamente 1" acima do topo e retira-se o excesso com uma passada contínua da lâmina de aço. Se todo o excesso não foi removido será dada mais uma passada contínua da lâmina, mas deve-se tomar muito cuidado durante o despejo do material e raspagem da superfície para evitar sacudir o molde.

- c) Coloca-se o solo contendo partículas maiores que 3/8" com uma colher larga (ou pã) e segura-se o material (com a mão) o mais possível até bem próximo da superfície (evita assim que as partículas maiores rolem). Se for necessário, coloca-se as partículas maiores com a mão. Enche-se o molde até esparramar mais que 1" acima do topo do molde. Com auxílio da lâmina de aço (e dos dedos, quando necessário) nivela-se a superfície do solo com o topo do molde de modo que as pontas do material que aflorarem compensem aproximadamente em volume, os vazios deixados abaixo do topo.
- d) Pesa-se e anota-se o peso do molde + solo.

8.5 - Método para Obtenção da Densidade Máxima.

Determina-se a densidade máxima (densidade relativa 100% ou Índice de vazios mínimo) de dois modos, úmido e seco, como descrito abaixo:

8.5.1 - Método Seco.

- a) Homogeneiza-se a amostra de solo seco em estufa para obter uma distribuição uniforme dos tamanhos de partícula, evitando-se tanto quanto possível a separação.
- b) Acopla-se a camisa guia, conforme folha nº 90, no topo do molde e aperta-se as fixações até que

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

84

as superfícies internas do molde e da camisa estejam alinhadas. Apertam-se as contraporcas dos 2 conjuntos de acoplagem que possuem solto o conjunto de fixação sem contraporcas e remove-se a camisa guia. Pesa-se o molde vazio e anota-se seu peso.

- c) Enche-se o molde com o solo de acordo com o especificado nos itens **b** ou **c** do item anterior (Obs: normalmente o molde cheio para a determinação da densidade mínima pode ser usado na determinação da densidade máxima, sem precisar portanto se encher o molde novamente).
- d) Acopla-se a camisa-guia ao molde e coloca-se o prato de sobrecarga sobre a superfície do solo. Abaixa-se o peso de sobrecarga sobre o prato usando o pegador, no caso de molde, de 14,2 L.
- e) Liga-se o controle de vibrador para amplitude máxima e vibra-se a amostra carregada durante 8 minutos. Remove-se o peso de sobrecarga e camisa-guia do molde. Obtêm-se e anota-se as leituras do extensômetro em dois lados opostos do prato de sobrecarga, tira-se a média e anota-se este valor. Pesa-se o molde + solo, se isto ainda não foi feito na determinação da densidade mínima ou se uma quantidade apreciável de finos do solo perdeu-se durante a vibração. Anota-se o peso.

8.5.2 - Método Úmido.

OBS: Enquanto o método seco é preferido do ponto de vista de segurança de resultados em um período menor de tempo, a mais alta densidade

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 85
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>máxima é conseguida, para alguns solos, no estado saturado. No início de um programa de ensaios de laboratório ou quando há uma mudança radical do material, o ensaio de densidade máxima deverá ser feito de ambos os modos (seco e úmido) para se verificar qual dos dois dá a mais alta densidade. Se é o método úmido que o fornece (com excesso de 1% sobre o seco), ele será seguido nos demais ensaios.</p> <p>a) O método úmido é feito sobre amostras de solo secas em estufa, às quais será adicionada a água; podendo ser também, sobre o solo úmido de campo. Se a água for adicionada ao solo seco, deve-se esperar um período mínimo de encharcamento de meia hora.</p> <p>b) Enche-se o molde de solo úmido por meio de uma colher ou uma pá. Adiciona-se água suficiente para permitir que uma pequena quantidade dela acumule-se livre sobre a superfície durante o preenchimento. A quantia correta de água pode ser estimada pelo cálculo do índice de vazios na densidade máxima que se espera ou por experiência com o solo. Durante o preenchimento do molde e logo após terminá-lo, vibra-se o molde por um tempo total de 6 minutos. Durante este período reduz-se a amplitude da vibração para evitar o borbulhamento excessivo e afofamento do solo, o que pode ocorrer em alguns solos. Durante os minutos finais da vibração, remove-se toda água que aparece sobre a superfície do solo.</p> <p>c) Acopla-se a camisa-guia, o prato de sobrecarga e a sobrecarga como foi descrito no item 8.5.1.</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

FOLHA

86

d) Vibra-se a amostra mais sobrecarga durante 8 minutos. Após o período de vibração remove-se o peso de sobrecarga e a camisa-guia do molde. Obtêm-se e anota-se as leituras do extensômetro em 2 posições opostas do prato de base da sobrecarga. Remove-se cuidadosamente toda a amostra do molde e seca-se-a, até obter-se constância de peso. Pesa-se e anota-se o peso seco da amostra.

8.6 - Cálculo dos Métodos de Ensaio.

a) Densidade Mínima: calcula-se a densidade mínima ($\gamma_{\text{mín.}}$) em g/cm^3 , por:

$$\gamma_{\text{mín.}} = \frac{P_s}{V_m}$$

b) Densidade Máxima: calcula-se a $\gamma_{\text{máx.}}$ em g/cm^3 , por:

$$\gamma_{\text{máx.}} = \frac{P_s}{V_a}$$

Onde:

P_s : peso do solo seco em gramas.

V_m : volume obtido por calibração do molde, em cm^3 .

V_a : volume da amostra de solo, $\text{cm}^3 = V_m - (R_i - R_f) \times A$

R_f : leitura final do extensômetro na superfície do prato de sobrecarga após o término do período de vibração, em cm.

R_i : leitura inicial do extensômetro, em cm.

A : área de seção transversal do molde, em cm^2 .

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R,

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

87

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

8.7 - Dados Obtidos.

De forma a reduzir a possibilidade de utilização de resultados inconsistentes, para o cálculo do grau de compactação no campo ou em qualquer ensaio que necessite destes parâmetros, devem ser adotados os seguintes critérios para adoção dos valores das densidades máximas e mínimas.

- a) O valor final e definitivo para a densidade mínima é a mínima das mínimas obtidas, considerando que a diferença entre a maior e a menor das três determinações, não deve ser superior a $0,070 \text{ g/cm}^3$. Os exemplos dados a seguir ilustram claramente os procedimentos a adotar em cada caso:

$$\gamma^{\text{min. 1}} = 1,572 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{min. 2}} = 1,658 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{min. 3}} = 1,627 \text{ g/cm}^3$$

$$1,658 - 1,572 = 0,086 > 0,070 \text{ g/cm}^3.$$

Deve ser desprezado o valor mais afastado da média que, neste exemplo, é o primeiro: $1,572 \text{ g/cm}^3$.

Então, o $\gamma^{\text{min.}}$ a adotar será $1,627 \text{ g/cm}^3$, por ser o menor entre os dois que não foram desprezados.

$$\gamma^{\text{min. 1}} = 1,572 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{min. 2}} = 1,584 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{min. 3}} = 1,658 \text{ g/cm}^3$$

Como no primeiro exemplo do item a, a diferença é de $0,086 \text{ g/cm}^3$, isto é, maior que $0,070 \text{ g/cm}^3$. Neste caso, porém, deverá ser desprezado o 3º valor ($1,658$), que é o mais afastado da média. Então, o $\gamma^{\text{min.}}$ a adotar será

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 88
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

1,572 g/cm³, que é o menor entre os dois que não foram desprezados.

- b) O valor final e definitivo para a densidade máxima é a máxima das máximas obtidas nos métodos seco ou úmido, considerando que a diferença entre a maior e a menor das três determinações, não deve ser superior a 0,070 g/cm³. Os exemplos dados a seguir ilustram claramente os procedimentos a adotar em cada caso:

$$\gamma^{\text{máx. 1}} = 2,384 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{máx. 2}} = 2,279 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{máx. 3}} = 2,271 \text{ g/cm}^3$$

$$2,384 - 2,271 = 0,113 > 0,070 \text{ g/cm}^3$$

O resultado 2,384 deve ser desprezado, adotando-se para γ^{max} o valor 2,279 g/cm³.

$$\gamma^{\text{máx. 1}} = 2,384 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{máx. 2}} = 2,279 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma^{\text{máx. 3}} = 2,369 \text{ g/cm}^3$$

Despreza-se o valor 2,279 g/cm³, adotando-se 2,384 g/cm³ como $\gamma^{\text{máx.}}$ a utilizar no cálculo.

- c) Os resultados encontrados das densidades máximas e mínimas, são enviadas ao campo através da folha "Envio do Resultado ao Campo" conforme folha nº 92.

8.8 - Causas de Erros.

- a) Segregação no material enquanto é depositado no molde.
- b) Na determinação da densidade mínima, a amostra não está

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

89

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

completamente seca e há variação na altura de queda do material.

c) Qualquer vibração causada por impactos.

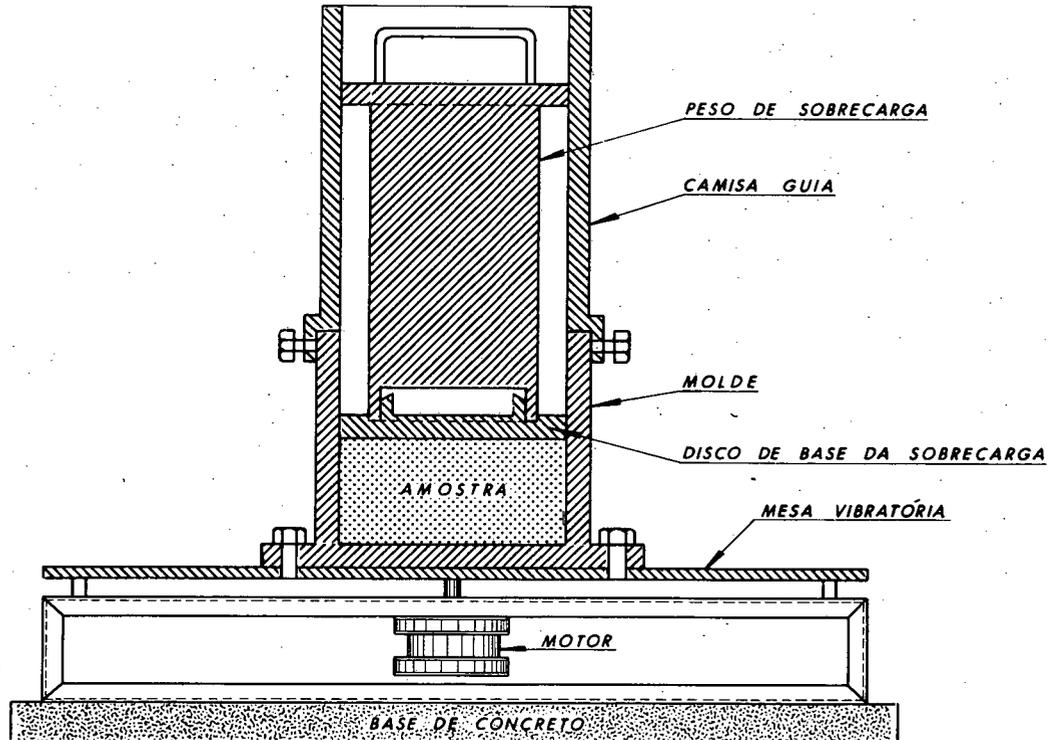
d) Perda de material.

e) Má calibração dos moldes (pesagens, determinação dos volumes).

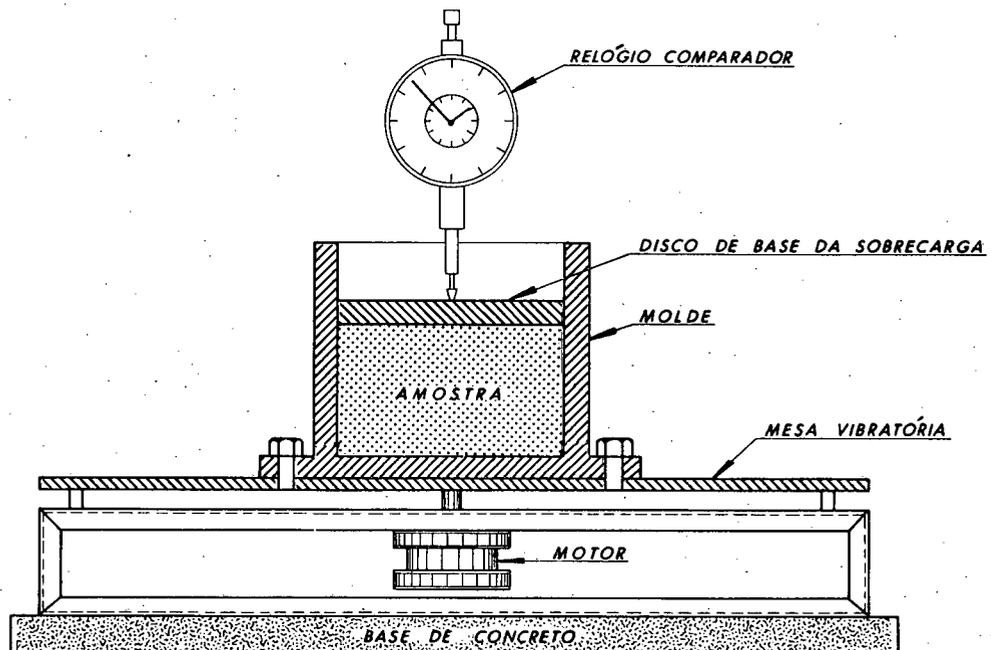
f) Insuficiente amplitude da mesa vibratória.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 90
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

Período de Vibração



Leitura Final



Aparelho para Determinar γ_s Máximo



LABORATÓRIO DE SOLOS
DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES MÁXIMAS
E MÍNIMAS MÉTODO LSR-12

REG. nº _____

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE1/R

POÇO/FURO _____	PROF. _____	AMOSTRA nº _____	LOCAL _____
ESTACA _____	AFASTAMENTO _____	COTA _____	

Ø MÁXIMO _____ mm

DADOS DO EQUIPAMENTO

MOLDE nº _____ DISCO BASE DA SOBRECARGA nº _____
 DISCO BASE DA SOBRECARGA - ESPESSURA _____ cm
 BARRA DE CALIBRAÇÃO - ESPESSURA _____ cm

LEITURAS ESQUERDA _____ cm	MÉDIA DAS LEITURAS ESQUERDA
LEITURAS DIREITA _____ cm	E DIREITA _____ cm

VOLUME DA AMOSTRA (va) = VOLUME DO MOLDE (vm) - (ri - MÉDIA DAS LEITURAS FINAL (rf))
 ri = ESPESSURA DISCO BASE + MÉDIA LEITURAS ESQUERDA E DIREITA - ESPESSURA DAS BARRAS DE CALIBRAÇÃO = _____ cm

DENSIDADE MÍNIMA

DETERMINAÇÃO	UNIDADE	1	2	3	4	5
PESO SECO + PESO DO MOLDE	g					
PESO DO MOLDE	g					
PESO DO SOLO SECO	g					
VOLUME DO MOLDE (vm)	cm ³					
DENSIDADE SECA	g/cm ³					

DENSIDADE SECA MÍNIMA ADOTADA (γ_s mín.)

$\gamma_s \text{ MÍNIMA} = \frac{P_s}{V_m} =$ g/cm³

DENSIDADE MÁXIMA

DETERMINAÇÃO	UNIDADE	MÉTODO SECO			MÉTODO ÚMIDO		
		1	2	3	1	2	3
LEITURAS-FINAL - REF. 1	cm						
LEITURAS-FINAL - REF. 2	cm						
LEITURAS-FINAL MÉDIA (rf)	cm						
LEITURA INICIAL (ri)	cm						
ÁREA DO MOLDE (a)	cm ²						
VOLUME DO MOLDE (vm)	cm ³						
VOLUME DA AMOSTRA (va)	cm ³						
PESO SECO + PESO DO MOLDE	g						
PESO DO MOLDE	g						
PESO DO SOLO SECO	g						
DENSIDADE SECA	g/cm ³						

DENSIDADE SECA MÁXIMA ADOTADA (γ_s máx.)

$\gamma_s \text{ MÁXIMA} = \frac{P_s}{V_a} =$ g/cm³

G.C. DESEJADA _____ %	M =	$M = \frac{\gamma_s \text{ MÁX}}{\gamma_s \text{ MÁX} - \gamma_s \text{ MÍN}}$
γ _s DESEJADO _____ g/cm ³		

OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO nº _____
CALC. _____ DATA ____/____/____		

CESP Companhia Energética de São Paulo		LABORATÓRIO DE SOLOS GRAU DE COMPACIDADE ENVIO DO RESULTADO AO CAMPO	
SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R			
POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA
γ MÁXIMA _____ g/cm ³		γ MÍNIMA _____ g/cm ³	
E MÁXIMA _____		E MÍNIMA _____	
M _____			
OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES		ENSAIO n°
CALC. _____ DATA ____/____/____			

CESP Companhia Energética de São Paulo		LABORATÓRIO DE SOLOS GRAU DE COMPACIDADE ENVIO DO RESULTADO AO CAMPO	
SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R			
POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA
γ MÁXIMA _____ g/cm ³		γ MÍNIMA _____ g/cm ³	
E MÁXIMA _____		E MÍNIMA _____	
M _____			
OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES		ENSAIO n°
CALC. _____ DATA ____/____/____			

CESP Companhia Energética de São Paulo		LABORATÓRIO DE SOLOS GRAU DE COMPACIDADE ENVIO DO RESULTADO AO CAMPO	
SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R			
POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA
γ MÁXIMA _____ g/cm ³		γ MÍNIMA _____ g/cm ³	
E MÁXIMA _____		E MÍNIMA _____	
M _____			
OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES		ENSAIO n°
CALC. _____ DATA ____/____/____			

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 94
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

1 - MÉTODO DE COLETA DE AMOSTRAS DEFORMADAS ATRAVÉS DE SONDAGENS A TRADO - MÉTODO LSC-01.

1.1 - Equipamentos.

- Cavadeira tipo trado ($\emptyset = 2'' - 4'' - 6''$, etc).
- Canos galvanizados.
- Cruzetas e luvas galvanizadas
- Tripê com roldana e corda.
- Vidros com tampa plástica
- Sacos plásticos e de lona
- Etiquetas de identificação
- Chaves de grifo
- Trêpanos
- Trenas de 2,0 e 20,0 m.
- Soquete de madeira
- Ponteira pescadora.

1.2 - Execução da Sondagem a Trado.

a) Após a locação topográfica do furo de sondagem, este é iniciado por movimentos rotativos do trado. A sondagem deve observar as seguintes regras:

- O trado e canos de conexão devem manter-se na vertical.
- A coleta de amostras deve ocorrer sempre que houver uma modificação das características visuais do solo ou, pelo menos, de metro em metro.
- A paralisação de furo deve ocorrer quando:
 - atingir-se a profundidade programada.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 95
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

- atingir-se camada impenetrável (lentes grossas de cascalho, concreções limoníticas, rocha).

Nestes casos, deve-se pelos meios disponíveis (trépano, etc) tentar atravessar a camada, quando se tratar de depósitos de finas lentes de cascalho e/ou concreções limoníticas finas.

- Começar a ocorrer desmoronamento das paredes do furo por falta de coesão do solo e/ou porque o nível do lençol freático for elevado, lavando o material que está sendo coletado.

- Após uma profundidade da ordem de 8 a 10 m., utilizar um tripê de aproximadamente 3,0 metros de altura, de modo a facilitar ao operador a retirada do equipamento para limpeza do trado e de modo a evitar manobras de "corte" do cano; estas operações podem causar a perda da amostra ou a queda da tubulação e trado do fundo do furo, sendo necessário, no caso, uso de "pescador".

1.3 - Coleta.

a) O responsável pela sondagem deve anotar na folha (conforme folha nº 99) os seguintes dados:

- Locação e nomenclatura completa, estabelecidas previamente, do furo realizado.
- Descrição visual dos materiais coletados com respectiva profundidade.
- Profundidade onde ocorre o lençol freático.
- Descrição detalhada dos motivos de paralisação do furo.
- Data do início e término da sondagem.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 96
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>- Número de amostras coletadas.</p> <p>- Número de frascos para determinação da umidade retirados.</p> <p>- Condições atmosféricas no dia da retirada (sol, chuva, vento, etc.). Convém ressaltar que deve ser fornecido o maior número possível de informações, mesmo que estas pareçam insignificantes ou repetitivas.</p> <p>b) O responsável pela sondagem deve ainda observar que:</p> <p>- A quantidade de amostra a ser coletada é total, ou seja, ao longo de toda a profundidade do furo.</p> <p>- Dentro de cada saco de amostra coletada e dentro do frasco de determinação de umidade, deve o sondador colocar etiquetas, conforme folha nº 100, com a nomenclatura e locação completa da amostra coletada e a data da coleta.</p> <p>- As etiquetas devem ser protegidas por um envelope de plástico transparente.</p> <p>c) Sempre que a amostra coletada tiver ensaios na umidade natural, os seguintes cuidados devem ser tomados:</p> <p>- Acondicionamento em sacos plásticos opacos fechados por meio de dobras e lacres com fita adesiva (crepe, de preferência).</p> <p>- Acondicionamento dos sacos plásticos transparentes dentro de sacos de lona ou latas de modo a evitar a incidência da luz no solo, o que produz evaporação da água e condensação nas paredes internas dos sacos plásticos.</p> <p>- Evitar empilhar muito estes sacos, pois pode ocorrer ruptura do plástico. Utilizar plástico resistente para que não seja perfurado por grãos angulares.</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 97
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

- Evitar sempre a interrupção temporária do furo de sondagem. Caso seja impossível, tampá-lo, evitando, com isso, ressecamento e ação da chuva. Em caso de interrupção devido chuva, também enleirar material ao redor da boca do furo evitando a penetração de água por enxurradas.

d) A coleta de solos não coesivos é possível até certas profundidades, umedecendo com água o interior do furo de sondagem.

e) Após o término da sondagem, o furo deve ser tampado com tampões especiais (caso se queira medir a variação do N.A.) ou com solo (área de empréstimo) ou argamassa de solo-cimento (aterros compactados ou fundações).

1.4 - Dados Obtidos.

A partir dos dados que constam na caderneta de sondagem, obtém-se um perfil do solo com identificação das camadas atravessadas, (conforme folha nº 99) sua constituição e cor, nível do lençol freático em determinada data, rocha que ocorre no final do furo, lentes de cascalho, etc. A partir das amostras coletadas serão realizados os ensaios programados.

1.5 - Transporte para o Laboratório.

As amostras coletadas devem ser diariamente conduzidas para o depósito de campo, onde serão estocadas pelo tempo mínimo possível. Este depósito deve conter estrados para não permitir contato dos sacos com o chão. Convém lembrar novamente que deve-se evitar pilhas altas de sacos (no máximo 6 sacos). O transporte campo-depósito e depósito-laboratório deve ser feito em veículos leves ou

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 98
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

médios providos de capota, evitando o uso de caminhões em estradas não asfaltadas, cujos solavancos podem causar ruptura de sacos, latas ou caixas.

1.6 - Causas de Erros.

- Locação topográfica.
- Queda de solo do trado no fundo do furo na operação descida/retirada, o que pode falsear a amostra seguinte; recomenda-se cuidado nas manobras.
- Perda de umidade por acondicionamento inadequado; recomenda-se parafinar os frascos, proteger adequadamente os sacos de plástico, acondicionar a amostra logo após a coleta.
- Erro na confecção da etiqueta de identificação, que acarreta duplicidade de algumas amostras e falta de outras (o responsável deve verificar a etiqueta após escrita).
- Mistura de amostra por ruptura dos sacos de acondicionamento (evitar pilhas altas).
- Avaliação errônea do N.A. freático (deve-se esperar a formação e estabilização da lâmina por, no mínimo, 24 horas).
- Danificação de etiquetas não protegidas em razão do tempo de contato com a umidade do solo.
- Erro na profundidade de coleta, caso os canos não sejam constantemente medidos.



Companhia
Energética de
São Paulo

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

LABORATÓRIO DE SOLOS
SONDAGEM A TRADO

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

SONDAGEM A TRADO	
FURO n°	
LOCAL	
AMOSTRA n°	
SACO n°	
PROFUNDIDADE	
ENSAIOS A EXECUTAR	
OPERADOR _____	DATA / /

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 101
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

2 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DA CRAVAÇÃO DO CILINDRO AMOSTRADOR - MÉTODO LSC-02.

2.1 - Equipamentos.

- Cilindros amostradores.
- Haste guia.
- Cabeçote.
- Soquete.
- Estufa capaz de manter temperatura entre 105^oC e 110^oC.
- Balança de sensibilidade 1 g.
- Cápsulas para determinação da umidade.
- Pã e picareta.
- Embalagem que não permitam a perda de umidade (sacos plásticos).
- Régua biselada, espátulas, facas, bandejas e colheres.

2.2 - Calibração do Cilindro Amostrador.

a) Antes de utilizar, medir a altura (h), o diâmetro interno (d_i), o externo (d_e) e o diâmetro da boca (d_b) com uma precisão de 0,1 cm no mínimo três vezes e, através da média das leituras, calcular o volume, razão das áreas e rebaixamento interno.

b) Calcular o volume do cilindro amostrador com precisão de 0,1 cm³, pela fórmula:

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

c) Determinar o peso do cilindro amostrador com precisão de 1 g.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 102
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>d) Calcular a razão das áreas do cilindro amostrador com precisão de 1%, pela fórmula: $(d_e^2 - d_i^2) / d_i^2$; esta razão nunca deve ser maior que 15%.</p> <p>e) Calcular a razão de rebaixamento interno do cilindro amostrador com precisão de 0,1%, pela fórmula: $(d_i - d_b) / d_b$; esta razão nunca deve ser maior que 0,5%.</p> <p>f) O cálculo do volume, razão das áreas e de rebaixamento interno deverá ser feito sempre que houver mudança do cilindro amostrador padrão.</p> <p>2.3 - Execução do Ensaio.</p> <p>a) Num local escolhido aleatoriamente (ou local previamente escolhido), (ensaio de Atendimento), antes de cravar o cilindro, tornar o local o mais regular possível, retirando as irregularidades deixadas pelas patas do rolo e após isto anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 105) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, o local, estaca, afastamento do eixo (Montante ou Jusante) nome do técnico que executará o ensaio e a data da sua realização.</p> <p>b) O cilindro amostrador deve ser cravado, até que apareça a superfície regularizada em torno de 3 a 5 mm acima da parte superior do cilindro.</p> <p>c) Escavar-se ao lado de tal maneira, que não venha afetar a condição de amostragem do cilindro, retirá-lo e confiná-lo numa embalagem que não permita a perda de umidade.</p> <p>d) No laboratório, é pesado e registrado seu peso. A seguir é retirada a amostra de dentro do cilindro amostrador.</p>		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 103
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

Esta é cortada ao meio de onde é retirada, com a ponta da espátula, amostra para determinação da umidade.

2.4 - Cálculo do Ensaio.

a) Calcula-se a densidade "in situ" úmida em g/cm³, por:

$$\gamma \text{ "in situ" úmida} = \frac{(P_h + t) - (t)}{V_c} \quad e$$

$$\gamma \text{ "in situ" seco} = \frac{\gamma \text{ "in situ" úmida}}{100 + h_c} \times 100, \text{ onde:}$$

P_h : peso da amostra úmida.

V_c : volume do cilindro amostrador.

h_c : teor de umidade médio da amostra retirada do meio da amostra do cilindro amostrador.

t : tara do cilindro amostrador.

2.5 - Causas de Erros.

- Calibração errada; a determinação do volume e do peso deve ser efetuada semanalmente, pois o cilindro apresenta desgaste com o uso ou deformações nas paredes devido a eventuais impactos.
- O mal nivelamento da superfície, onde vai ser cravado.
- O arrasamento do topo ou da base deve ser bem feito, pois, em caso contrário criará vazios na amostra.
- Erro de pesagem.
- Troca das calibrações, confundindo a numeração dos cilindros.

<i>RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL</i>		<i>FOLHA</i> 104
<i>OBRA:</i>	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
<i>ASSUNTO:</i>	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>f) Retirada da amostra para determinação do teor de umidade, sempre do meio da amostra raspando com a ponta da espátula no sentido topo-base. Nunca utilizar as mãos para coletar amostra.</p>		



Companhia
Energética de
São Paulo

LABORATÓRIO DE SOLOS
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU"
CRAVAÇÃO DO CILINDRO MÉTODO LSC-02

REG. nº

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

LOCAL	ESTACA
AFASTAMENTO	COTA

DENSIDADES				
ENSAIO n°				
CILINDRO AMOSTRADOR n°				
1-VOLUME DO AMOSTRADOR cm ³				
2-PESO ÚMIDO + AMOSTRADOR g				
3-TARA DO AMOSTRADOR g				
4-PESO ÚMIDO (2) - (3) g				
5-PESO ESPECÍFICO ÚMIDO (4) + (1) g/cm ³				
6-PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO g/cm ³				
7-PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÉDIO g/cm ³				

UMIDADES								
CÁPSULA n°								
PESO ÚMIDO + TARA g								
PESO SECO + TARA g								
PESO DA ÁGUA g								
TARA DA CÁPSULA g								
PESO SECO g								
TEOR DE UMIDADE %								
TEOR DE UMIDADE MÉDIO %								

OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO n°
CALC. _____ DATA ____/____/____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 106
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

3 - MÉTODO DE CONTROLE DE COMPACTAÇÃO - MÉTODO LSC-03.

3.1 - Equipamentos.

A relação de equipamentos é a mesma do item 5.1 do "Ensaio de Compactação na Energia de Prōctor Normal - Método LSR-08" e do item 2.1 de "Determinação de Densidade "In situ" através da Cravação do Cilindro Amostrador - Método LSC-02".

3.2 - Preparação da Amostra.

- a) Com material coletado entre os dois cilindros de cravação provenientes da praça de compactação, toma-se aproximadamente 4,0 kg de material, destorroa-se manualmente a amostra, coloca numa bandeja e em seguida seca-se (colchão de areia ou ventilador), até que sua umidade atinja valor em torno do primeiro ponto (3,0 a 4,0% abaixo da umidade ótima).
- b) Após a secagem da amostra destorroa-se (no almofariz, na bandeja) até não existir torrões maiores que 4,8 mm (peneira nº 4).
- c) Peneira-se na peneira nº 4 ASTM (4,8 mm) todo o material, destorroando-se manualmente algum torrão de solo que porventura ainda exista.
- d) Pesa-se 3.300 g de material para a realização de ensaio.

3.3 - Execução do Ensaio.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 114) "secagem pela estufa de raios infravermelhos" e em uma segunda folha de ensaio, "secagem pela estufa convencional", (conforme folha nº 114). Nas duas anota-se número de ensaio, número da amostra, local de

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 107
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

extração, número, tara e volume do molde de compactação, número e tara das cápsulas para determinação do teor de umidade, energia de compactação, nome do técnico e data de sua realização.

b) Juntar o molde ao colarinho, fixá-los a base e colocar o conjunto sobre o cepo de compactação.

c) Com auxílio da concha metálica, colocar no cilindro uma quantia de solo tal que, após a aplicação da energia de compactação, a camada compactada ocupe apenas 1/3 de seu volume.

d) Compactar o solo com 25 golpes do soquete compactador (de 2500 g e altura de queda de 30,5 cm) uniformemente distribuídos na superfície do solo, tomando cuidados especiais para manter o soquete na posição vertical, evitando que o ato de levantar o soquete implique em altura de queda superior a 30,5 cm.

e) Após a aplicação dos 25 golpes, escarificar a superfície compactada com sulcos de aproximadamente 3 mm, com auxílio de uma faca ou espátula.

f) Repetir **c**, **d** e **e** até completar 3 camadas compactadas.

g) Remover o molde da base e separá-lo do colarinho; colocá-lo com a base sobre balcão plano e rasar seu topo com a faca biselada, removendo o excesso de material que ficou na região onde estava o colarinho. Nota-se que este excesso deve ser mínimo, de modo a não modificar o volume compactado e, com isso, a energia de compactação. Caso haja falta de solo no molde, a sequência de **b** a **g** deve ser repetida.

h) Após arrasamento do molde em seu topo, pesá-lo na balança analítica de 5,0 ou 10,0 kg com aproximação de

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 108
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

1,0 g e anotar o valor na linha Peso Úmido + Tara da coluna do 1º ponto.

- i) Obtido o peso úmido do solo, extrair a amostra do molde com auxílio do extrator realejo ou hidráulico.
- j) Cortar a amostra ao meio e das partes internas das duas metades, coletar 4 cápsulas com aproximadamente 60 g de solo úmido para determinação do teor de umidade, sendo 2 cápsulas para estufa convencional e 2 cápsulas para estufa infravermelhos. Anotar os dados de umidade obtidos na folha de ensaios referentes (infravermelho e estufa convencional) ao 1º ponto.
- k) Destorroar a amostra compactada e com o auxílio de desempenadeira metálica, misturá-la ao resto da amostra e reduzi-la a torrões os menores possíveis. Adicionar uma quantidade constante de água (50 ou 60 g) de modo a que o solo atinja um teor de umidade de 1,5 a 2,0% acima. Homogeneizar a amostra.
- l) Repetir os itens de b a k mais quatro vezes.

Observações: Para os demais pontos, coleta-se apenas 2 cápsulas, sendo uma para determinação da umidade pela estufa convencional e uma pela de raios infravermelho.

3.4 - Cálculo do Ensaio.

Para cada ensaio de controle de compactação, serão traçadas 3 curvas de compactação, que serão:

3.4.1 - Curva de Compactação Teórica.

- a) Peso específico úmido (γ_h) é definido em cada ponto por:

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 109
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

$$\gamma_h = \frac{\text{Peso úmido de solo}}{\text{Volume do molde}} = \frac{P_h}{V}$$

b) Peso específico aparente seco (γ_s):

O peso específico aparente seco (γ_s) referente ao 1º ponto da curva será calculado por:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{100+h} \times 100$$

γ_h : peso específico úmido do 1º ponto

h : teor de umidade (média das 2 cápsulas) correspondentes ao 1º ponto, obtido pela estufa infravermelho em (%).

Através do acréscimo de água de um ponto para outro e o conhecimento prévio do material, tem-se um valor de diferença de umidade Δx entre um ponto e outro da curva. Com o valor de umidade do 1º ponto, determinado pela estufa de raios infravermelho e o valor de Δx , calcula-se as umidades (\bar{h}) dos 2º, 3º, 4º e 5º pontos.

$$h_{2^\circ} = h_1 + \Delta x \quad h_{3^\circ} = h_1 + 2 \Delta x$$

$$h_{4^\circ} = h_1 + 3 \Delta x \quad h_{5^\circ} = h_1 + 4 \Delta x$$

Com os valores de umidade calculados e os valores de pesos específicos úmidos correspondentes a cada ponto, calcula-se os pesos específicos aparentes secos (γ_s) da seguinte forma:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{100+\bar{h}} \times 100, \text{ sendo:}$$

γ_h : peso específico úmido.

\bar{h} : umidade calculadas em (%).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

110

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- c) Com os dados de umidade e peso específico aparente seco obtidos, plota-se no gráfico (conforme folha nº 114) onde se tem na abscissa a escala de variação de umidade (%), previamente estabelecida para o ensaio e nas ordenadas a escala de variação do peso específico aparente seco (γ/cm^3), previamente estabelecido para o ensaio.
- d) Após determinação dos pontos no gráfico, traça-se a curva de compactação.
- e) Pelo pico da curva, traça-se uma paralela a abscissa e onde essa encontra a ordenada, lê-se, nessa escala, o peso específico aparente seco máximo ($\gamma_s \text{ máx}$) teórico; traçando-se uma paralela a ordenada, onde encontra a abscissa, lê-se, nessa escala, o teor de umidade ótima (hot) teórico.

3.4.2 - Curva de Compactação Infravermelho.

- a) Peso específico úmido (γ_h) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_h = \frac{\text{peso úmido de solo}}{\text{volume do molde}} = \frac{P_h}{V}$$

- b) Peso específico aparente seco (γ_s) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{100+h} \times 100, \quad \text{onde:}$$

γ_h : peso específico úmido obtido em cada ponto

h: teor de umidade correspondente de cada ponto, obtido pela estufa de raios infravermelho, já expresso em porcentagem.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 111
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- c) Com os dados de umidade e peso específico aparente seco obtidos, plota-se no mesmo gráfico da curva de compactação teórica (conforme folha nº114), adotando-se a mesma escala utilizada.
- d) O pico da curva de "compactação infravermelho" fornece o peso específico aparente seco máximo $(\gamma_s \text{ máx})_{\text{infra}}$ e o teor de umidade ótima $(h_{\text{ót}})_{\text{infra}}$.

3.4.3 - Curva de Compactação Real.

- a) Peso específico úmido (γ_h) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_h = \frac{\text{Peso úmido do solo}}{\text{Volume do molde}} = \frac{P_h}{V}$$

- b) Peso específico aparente seco (γ_s) é definido em cada ponto por:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{100 + h} \times 100, \text{ onde:}$$

- γ_h : peso específico úmido obtido em cada ponto
 h : teor de umidade correspondente de cada ponto, obtido pela estufa convencional, já expresso em porcentagem.

- c) Com os dados de umidade e peso específico aparente seco obtidos, plota-se no gráfico (conforme folha nº114), adotando-se a mesma escala utilizada para as curvas de compactação teórica e infravermelho.
- d) O pico da curva de compactação real fornece o peso específico aparente seco máximo $(\gamma_s \text{ máx})_{\text{real}}$ e o teor de umidade ótima $(h_{\text{ót}})_{\text{real}}$.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 112
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

3.5 - Cálculo dos Parâmetros de Compactação.

3.5.1 - Cálculo do grau de compactação (G.C.).

Com os resultados obtidos no método "Determinação da Densidade in situ através do Cilindro Amostrador - Método LSC-02" e com o peso específico aparente seco máximo, calcula-se o grau de compactação através da fórmula:

$$G.C. = \frac{\gamma_s \text{ in situ}}{\gamma_s \text{ max}} \times 100, \text{ onde:}$$

G.C. : grau de compactação

$\gamma_s \text{ in situ}$: peso específico aparente seco obtido no Método LSC-02

$\gamma_s \text{ max}$: peso específico aparente seco máximo.

Se:

$$\gamma_s \text{ max} = \begin{cases} (\gamma_s \text{ max}) \text{ teórico} \Rightarrow (G.C.) \text{ teórico} \\ (\gamma_s \text{ max}) \text{ infra} \Rightarrow (G.C.) \text{ infra} \\ (\gamma_s \text{ max}) \text{ real} \Rightarrow (G.C.) \text{ real} \end{cases}$$

"GC teórico" é o que liberará a camada amostrada.

3.5.2 - Cálculo de Desvio de Umidade (Δh).

Com a umidade obtida no método "Determinação de Densidade in situ através do Cilindro Amostrador - Método LSC-02" e com o teor de umidade ótima, calcula-se o desvio de umidade através da fórmula:

$$\Delta h = h - h_{ot} \text{ onde:}$$

Δh : desvio de umidade

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 113
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

h : umidade obtido pelo Método LSC-02

hot : teor de umidade ótima.

$$\text{hot} : \left\{ \begin{array}{l} (\text{hot}) \text{ te\~{o}rico} \Rightarrow (\Delta h) \text{ te\~{o}rico} \\ (\text{hot}) \text{ infra} \Rightarrow (\Delta h) \text{ infra} \\ (\text{hot}) \text{ real} \Rightarrow (\Delta h) \text{ real} \end{array} \right.$$

" Δh te\~{o}rico" e o que liberar\~{a} a camada amostrada

3.6 - Causas de Erros.

As causas de erros s\~{a}o as mesmas do item 5.5 do "Ensaio de Compacta\~{c}\~{a}o - M\~{e}todo LSR-08" e item 2.5 do "Determina\~{c}\~{a}o de Densidade "in situ" atrav\~{e}s da Crava\~{c}\~{a}o do Cilindro Amostrador - M\~{e}todo LSC-02".



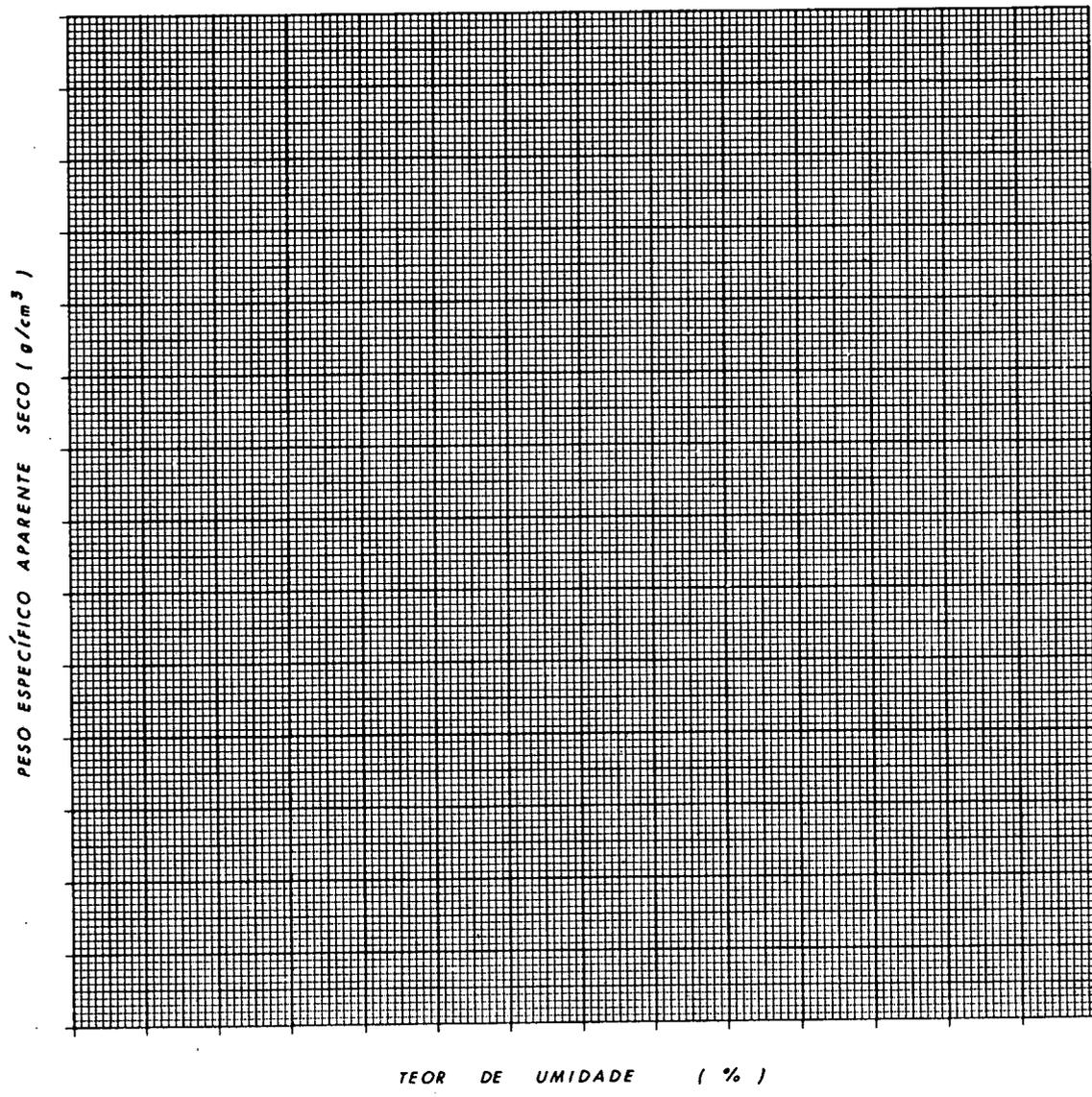
**LABORATÓRIO DE SOLOS
CONTROLE DE COMPACTAÇÃO
MÉTODOS LSC-03**

REG. 109

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE1/R

POÇO / FURO	PROF.	AMOSTRA	LOCAL
ESTACA		AFASTAMENTO	COTA

DETERMINAÇÕES		1	2	3	4	5	6
UNIDADES	CÁPSULA n°						
	PESO ÚMIDO + TARA g						
	PESO SECO + TARA g						
	PESO DA ÁGUA g						
	TARA DA CÁPSULA g						
	PESO SECO g						
	UMIDADE %						
DENSIDADES	VOLUME DO CILINDRO cm						
	AMOSTRA ÚMIDA + TARA g						
	TARA DO CILINDRO g						
	AMOSTRA ÚMIDA g						
	PESO ESPECÍFICO ÚMIDO g/cm						
	PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO g/cm						
CILINDRO n°							
PESO ESPECÍFICO APAR. SECO DO ATERRO g/cm							
COMPACTAÇÃO							



EQUIPAMENTO	
n° DE PASSADAS	
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁXIMO	
PESO ESP. APAR. SECO DO ATERRO	
GRAU DE COMPACTAÇÃO	
UMIDADE DO ATERRO	
UMIDADE ÓTIMA	
DESVIO DE UMIDADE	
EMPRÉSTIMO	
FAIXA	
LIBERADO	
SIM	NÃO

OPER. _____ VISTO _____	OBSERVAÇÕES	ENSAIO n°
CALC. _____ DATA / / _____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 115
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>4 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO FRASCO DE AREIA - MÉTODO LSC-04.</p> <p>4.1 - Equipamentos.</p> <ul style="list-style-type: none">- Frasco de vidro, metálico ou de plástico, com 3,5 litros de capacidade, dotado de gargalo rosqueado e funil provido de registro e de rosca para se atarrachar ao frasco.- Bandeja quadrada de alumínio com cerca de 30 cm de lado, com bordos de 2,5 cm de altura, com orifício circular no centro, dotado de rebaixo para apoio do funil acima referido.- Colher.- Balança com capacidade de 10 kg sensível a 1 g.- Talhadeira de aço com 30 cm de comprimento.- Martelo de 1 kg.- Recipiente que permita guardar amostra sem perda de umidade, antes de sua pesagem.- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C.- Balança com a capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g.- Areia seca. Quando for utilizada para determinação da densidade "in situ" de solos coesivos, usar a areia que passa na peneira nº 10 e fica retida na peneira nº 30. Quando for utilizada para determinação da densidade "in situ" do material granular do filtro, usar a areia que passa na peneira nº 4 e fica retida na peneira nº 10, com massa específica aparente já determinada, conforme item 4.3.		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

116

4.2 - Determinação do peso da areia correspondente ao volume do funil e do rebaixo do orifício na bandeja.

- a) Monta-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, e pesa-se (P_1).
- b) Instala-se o conjunto frasco + funil sobre a bandeja e esta sobre uma superfície plana; abre-se o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco; fecha-se o registro, retira-se o conjunto frasco + funil e pesa-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco com a areia restante (P_2).
- c) O peso da areia deslocada, que encheu o volume do funil e do rebaixo do orifício da bandeja, será:

$$P_3 = P_1 - P_2$$

4.3 - Determinação da densidade específica aparente da areia *f*a.

- a) Monta-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, e pesa-se (P_4).
- b) Coloca-se o conjunto frasco + funil sobre a bandeja e esta sobre o bordo de um cilindro, com volume V conhecido, tendo 10 a 15 cm de altura e diâmetro igual ou menor do que o orifício circular da bandeja; abre-se o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco e fecha-se o registro; retira-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco com a areia restante, pesando-o (P_5).
- c) O peso da areia que encheu o cilindro será:

$$P_6 = P_4 - P_5 - P_3$$

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

117

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

onde:

 P_3 : é o valor obtido conforme o item 4.2.

d) A massa específica aparente da areia será:

$$\gamma_a = \frac{P_6}{V}$$

onde:

 γ_a : massa específica aparente da areia (g/cm³). P_6 : valor obtido na alínea c (g). V : volume do cilindro (cm³).

4.4 - Execução do Ensaio.

- a) O local escolhido aleatoriamente, ou outro local previamente escolhido, (ensaio de Atendimento) tornando-o tanto quanto possível plano e horizontal. Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 120) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local do ensaio, nome do técnico que executará o ensaio e data da sua realização.
- b) Coloca-se a bandeja nessa superfície e faz-se uma cavidade cilíndrica, em caso solo coesivo. Em caso de material granular faz-se uma cavidade de forma tronco-cônica, limitada pelo orifício central da bandeja.
- c) Recolhe-se na bandeja o solo extraído da cavidade, pesando-o (P_h).
- d) Tomam-se, imediatamente, cerca de 70 g deste solo para determinação da umidade (h).
- e) Pesa-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

FOLHA

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

118

cheio de areia, (P_7).

- f) Instala-se o conjunto frasco + funil, de modo que o funil fique apoiado no rebaixo do orifício da bandeja. Abre-se o registro do frasco, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fecha-se o registro, retira-se o conjunto frasco + funil, pesando o conjunto com a areia que nele restar (P_8).

4.5 - Cálculo do Ensaio.

- a) Peso da areia deslocada (P_9) determina-se pela diferença:

$$P_9 = P_7 - P_8$$

- b) Peso da areia que enche a cavidade no solo ($P_{h^{10}}$) determina-se pela diferença entre o peso da areia deslocada (P_9) e o peso da areia determinado conforme o item 4.2 (P_3):

$$P_{10} = P_9 - P_3$$

- c) A densidade "in situ" úmida γ_h obtém-se pela fórmula:

$$\gamma_h = \gamma_{\text{areia}} \frac{P_h}{P_{10}}$$

γ_{areia} = massa específica aparente da areia

- d) A densidade "in situ" seca (γ_s) obtém-se pela fórmula:

$$\gamma_s = \gamma_h \frac{100}{100+h}$$

h : umidade em (%)

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 119
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>4.6 - Causas de Erros.</p> <ul style="list-style-type: none">- Areia úmida, mal calibrada e a determinação da densidade específica aparente da areia.- Determinação dos pesos relativo ao volume do funil, do rebaixo do orifício na bandeja, da areia deslocada e que preenche a cavidade do solo.		



Companhia
Energética de
São Paulo

LABORATÓRIO DE SOLOS
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU"
ATRAVÉS DO FRASCO DE AREIA MÉTODO LSC-04

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

DADOS DE CAMPO		
LOCAL:		
CAMADA REPRESENTADA	COMPRIMENTO	
	LARGURA	
	ESPESSURA	
AREIA	TIPO	
EQUIPAMENTO		nº PASSADAS
LOCAÇÃO	ESTACA	
	AFASTAMENTO	
	COTA	

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO FURO	
INICIAL FRASCO (P7)	g
FINAL FRASCO (P8)	g
AREIA UTILIZADA (P9)	g
AREIA NO FUNIL (P3)	g
AREIA NO FURO (P10)	g
DENSIDADE DA AREIA	g/cm ³
VOLUME DO FURO	cm ³

TEOR DE UMIDADE	CÁPSULA	
ÚMIDO + TARA	g	
SECO + TARA	g	
ÁGUA	g	
TARA	g	
SECO	g	
TEOR DE UMIDADE	%	
TEOR DE UMIDADE MÉDIO		

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA E MÍNIMA	
ENSAIO DE REFERÊNCIA	nº
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÁX.	g/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÍN.	g/cm ³
$\frac{\gamma_s \text{ MÁX.}}{\gamma_s \text{ MÁX.} - \gamma_s \text{ MÍN.}} = M$	

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU"	
PESO ÚMIDO	g
VOLUME DO FURO	cm ³
DENSIDADE ÚMIDA	g/cm ³
DENSIDADE SECA	g/cm ³

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE COMPACIDADE	
$GC = \frac{\gamma_s \text{ MÁX.}}{\gamma_s \text{ MÁX.} - \gamma_s \text{ MÍN.}} \left(1 - \frac{\gamma_s \text{ MÍN.}}{\gamma_s \text{ IN SITU}} \right)$	
$GC = M \left(1 - \frac{\gamma_s \text{ MÍN.}}{\gamma_s \text{ IN SITU}} \right)$	
GC =	%

OBSERVAÇÕES

OPERADOR _____	TURNO _____	DATA ____/____/____	ENSAIO nº _____
CALCULISTA _____	VISTO _____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 121
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>5 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO DENSOMETER - MÉTODO LSC-05.</p> <p>5.1 - Equipamentos.</p> <ul style="list-style-type: none">- "Aparattus Washington Densometer".- Chave de boca inglesa.- Martelo de borracha.- Balão padrão.- Óleo solúvel.- Estufa capaz de manter temperatura entre 105°C e 110°C.- Balança com sensibilidade de 1 g.- Saco plástico.- Cápsulas para determinação da umidade.- Rêgua biselada, espátulas, facas, bandejas e colheres. <p>5.2 - Instruções para montagem inicial do "Aparattus".</p> <p>a) Remover o anel de vedação (conforme folha nº 128) (D-43) da cabeça usando a chave especial para anel de vedação (D-82). Remover o tampão do cilindro (D-32), abrir o "plug" sangrador (D-13), remover o conjunto do pistão (D-20) do cilindro. Colocar o cabo do cilindro (D-34) sobre o cilindro e apertá-lo.</p> <p>b) Baixar o tubo flexível de sucção (D-45-46) conectado à luva cônica (D-44) para dentro de um novo balão e colocar o gargalo do balão sobre a luva até a saliência do gargalo do balão ficar ao nível do pé da luva cônica. Dobrar o balão vazio através da abertura da cabeça até assentar firmemente.</p>		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 122
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>c) Com a cabeça presa à base para transporte (D-70) colocar o anel de vedação da luva cônica na posição e apertar com chave especial, forçando a luva cônica para a posição final.</p> <p>d) Colocar a bucha da cabeça (D-42) na porca de ligação e conectar o cilindro principal da cabeça com impulso sobre a ligação utilizando o martelo. (Cobrir o interior do cilindro com pequena camada de óleo solúvel não diluído).</p> <p>e) Com o "DENSOMETER" preso à base para transporte e removido o pistão, abrir a válvula principal (D-37) e encher com mistura de óleo solúvel e água, aproximadamente uma parte de óleo para quinze partes de água, até o líquido elevar-se cerca de 15 cm. ($\approx 6''$) no cilindro. Agitar suavemente para facilitar a passagem de bolhas de ar pelo balão. Fechar a válvula principal.</p> <p>f) Cobrir a parte superior da parede do cilindro e os anéis circulares do pistão (D-23) com óleo solúvel não diluído. Introduzir o pistão, abrir o "plug" sangrador e empurrar para baixo através do tampão da haste (com o "plug" de ventilação do tampão aberto), até o líquido sair pelo "plug" sangrador. Fechar o "plug" sangrador com a haste (D-11) introduzida, abrir a válvula principal, e levantar o pistão transferindo o líquido do balão para o cilindro. Deixar aproximadamente 1,5 l. do fluído no balão e fechar a válvula principal.</p> <p>g) Remover o pistão, puxando-o para cima, com o "plug" sangrador aberto, ajustar o nível do fluído, até 5 cm (2") do topo e recolocar o pistão. Sangrar o ar, como acima, cobrir o topo do pistão com cerca de 1 cm (1/2") de líquido, fechar o "plug" sangrador, e recolocar o</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

123

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

tampão e a haste. Nota de método alternativo de enchimento: O nível do líquido pode ser ajustado sem remoção do pistão, tirando o líquido através da mangueira conectada à válvula de recarga (D-36).

- h) Abrir a válvula principal e inflar o balão na base para transporte diversas vezes para assegurar a remoção de todas as bolhas de ar do balão. Depois do último teste, fechar a válvula e dar um forte puxão no pistão para expulsar ar do líquido no cilindro.
- i) Abrir o "plug" sangrador e pressionar o pistão para baixo até o líquido sair pelo "plug" aberto. Apertar o "plug" sangrador. O aparelho está agora isento de ar e pronto para o uso.
O "plug" de ventilação no tampão (D-32) deve estar aberto sempre que o pistão estiver sendo operado.

5.3 - Instruções para Substituição do Balão.

- a) Remover o conjunto cabeça (D-40) do conjunto do cilindro completo (D-30) na ligação (D-39), tirando a ligação com o martelo de borracha.
- b) Retirar o balão velho e remover o tubo flexível (D-45,46) desparafusando-o da luva cônica (D-44).
Introduzir o "plug" rijo (D-88) no lugar e soltar a luva cônica com batidas sobre o "plug". (O "plug" rijo é uma ferramenta acessória fornecida para remover a luva cônica da cabeça quando se retira o balão).
- c) Seguir os procedimentos numerados de b a i do item 5.2 para montagem inicial.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 124
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>5.4 - Determinação da Densidade de Campo.</p> <p>a) Num local escolhido aleatoriamente no filtro da barragem de terra, ou outro local previamente escolhido (ensaio de Atendimento), tornando-o tanto quanto possível plano e horizontal, anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 130) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local de ensaio, nome do técnico que executará o ensaio e data da sua realização.</p> <p>b) Colocar o DENSOMETER sobre o suporte com anel e aperte-o na posição. Mantê-lo firmemente em posição, abrir a válvula principal e aplicar uma leve pressão na haste calibrada. Deve ser usada somente uma pressão suficiente para permitir que o pistão desça com uma velocidade média constante. Quando o balão encher os anéis e a cabeça, será sentido um pequeno golpe. Mantendo uma leve pressão no puxador fazer a leitura na haste no topo do tampão do cilindro. Repetir levantando e abaixando o pistão aproximadamente 25 cm para certificar-se de que não haja ar incluído e o aparelho está funcionando corretamente.</p> <p>c) Retirar o líquido do balão levantando-se o pistão, fechar a válvula principal, remover o DENSOMETER e colocá-lo na base de transporte com o balão parcialmente cheio de líquido.</p> <p>d) Remover o anel calibrado do suporte e, tendo cuidado para não mover o suporte, cavar o furo da forma rotineira. Conservar todo o material num saco plástico para evitar a perda de umidade.</p> <p>A dimensão do furo deve ser de acordo com a abertura do suporte.</p>		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 125
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

e) Após feito o furo, retirar os anéis calibrados com volume equivalente ao do furo e prender o DENSOMETER. Repetir a etapa (b) e registrar a leitura como "Leitura Final (4)".

Repetir a etapa (c).

f) Registrar o volume dos anéis retirados (equivalentes ao volume do furo) como "Constante do Anel (c)". Determinar o volume do furo pela seguinte fórmula:

(Leitura final (4) + Constante do Anel (c) - Leitura inicial (b) = Volume do buraco em pés cúbicos (CUFT)

Corrige-se o volume do furo em cm³ através da fórmula
correção do volume = V (CUFT) - 28.322 = Volume corrigido (cm³).

g) Pesar o solo úmido retirado do buraco e calcular a densidade úmida:

$\frac{\text{Peso do solo úmido (g)}}{\text{Volume do buraco (cm}^3\text{)}} = \text{Densidade "in situ" úmida.}$

h) Do solo úmido retirar duas amostras para determinação da umidade.

i) A seguir, calcular a densidade "in situ" seca:

$$\gamma \text{ "in situ" seco} = \frac{\gamma h}{1 + h}$$

5.5 - Causas de Erros.

- O operador deverá ler cuidadosamente todas as instruções e ficar completamente familiarizado com a operação do "aparatus".
- Evitar sujeira, areia ou outro material abrasivo estranho dentro do sistema hidráulico para evitar riscar o cilindro.

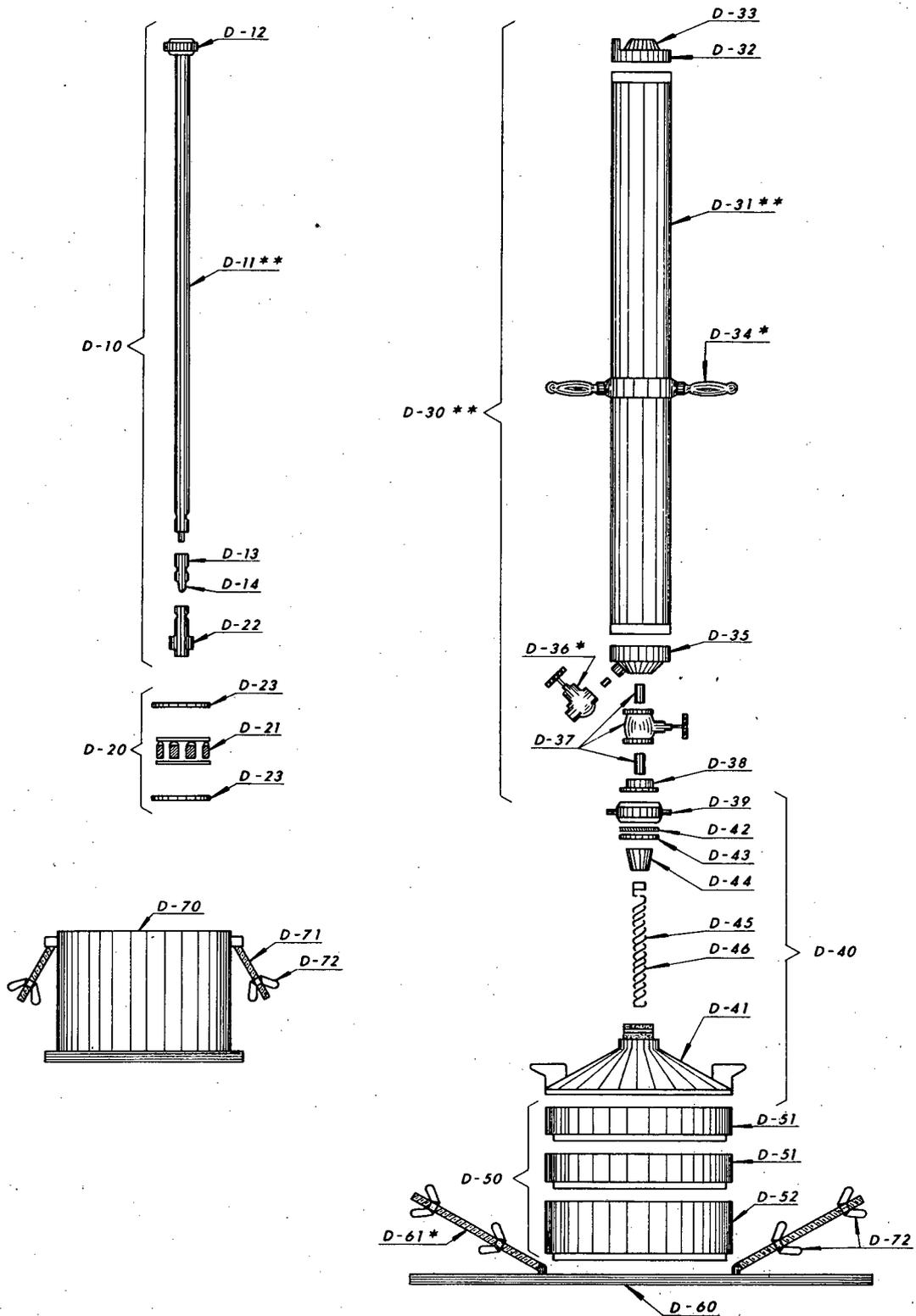
RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 126
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>- Manter a base para transporte e outras partes limpas.</p> <p>- É essencial o uso do óleo solúvel e necessária a lubrificação do cilindro.</p> <p>- Manter sempre líquido suficiente no topo do pistão durante a operação, de modo a cobri-lo completamente com aproximadamente 1 cm (1/2") de líquido.</p> <p>- Se as leituras falharem repetidamente num volume constante:</p> <p>a) Pode haver bolhas de ar no líquido, se está sendo usado líquido novo. Fechar a válvula principal e dar um puxão no pistão. Sangrar e verificar para uma leitura constante.</p> <p>b) Verificar o topo do pistão. Se houver perda de líquido, substituir o líquido, expulsar o ar e tentar novamente. Se houver perda de líquido novamente, remover o pistão, limpar e substituir os anéis circulares. Inspeccionar se não há arranhões na parede do cilindro. Cobrir os novos anéis circulares e parte superior da parede do cilindro com óleo solúvel não diluído antes da instalação.</p> <p>c) Se permanecer líquido no topo do pistão, e entrar ar no sistema, verificar se o balão possui algum pequeno furo. Se o balão estiver bom, inspeccionar as juntas vedantes, quanto ao aperto e vazamentos. Se as juntas estiverem apertadas, inspeccionar e renovar as juntas na válvula da haste.</p> <p>d) Depois de longo uso, o líquido perde muito de seu valor como lubrificante. Se o pistão, não mover livremente, adicionar mais óleo solúvel ao líquido.</p>	

<i>RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL</i>	FOLHA 127
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>e) Todos os rebaixos de encaixe da cabeça, anéis e suporte são cuidadosamente fabricados e devem ser mantidos sempre limpos. Antes de colocar os anéis sobre o suporte ou a cabeça sobre os anéis, certificar-se de que estes rebaixos estão limpos. Se as bordas estiverem amassadas, limar as rebarbas e pontos rugosos.</p> <p>f) Se alguma vez houver dificuldade para desinflar o balão deve ser verificado se o tubo flexível (mola) e a capa de nylon estão danificados. Deformação excessiva da mola ou encolhimento do tecido pode causar a ruína do tubo e restringir o esvaziamento do balão.</p> <p>g) A haste calibrada deve ser tirada para conveniência e proteção do DENSOMETER, durante o transporte e pode ser facilmente recolocada quando necessária para operação.</p>	

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 128
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

DESENHO ESQUEMÁTICO PARA MODELOS #15 e #30



Aparelho Washington Dens - O - Meter

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO

FOLHA

129

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

WASHINGTON - DENS-O-METER

NÚMERO PEÇA	N O M E N C L A T U R A	NÚMERO PEÇA	N O M E N C L A T U R A
** D-10	Conjunto da Haste Calibrada, completo	D-38	Bucha de Ligação
** D-11	Haste Calibrada	D-39	Porca de Ligação
D-12	Puxador	D-40	Conjunto da Cabeça, completo
D-13	Plug Sangrador	D-41	Cabeça
D-14	Anel Circular, Plug Sangrador	D-42	Gaxeta da Cabeça
D-20	Conjunto do Pistão, completo	D-43	Anél de Vedação
** D-21	Pistão	D-44	Luva Cônica
D-22	Haste Pistão	D-45	Tubo Flexível descoberto
D-23	Anel Circular, Pistão (necessita 2)	D-46	Capa, Tubo Flexível
** D-30	Conjunto do Cilindro, completo	** D-50	Anéis Calibrados, Jogo de três
** D-31	Cilindro	* D-51	Anel Calibrado, 0,05 pés cúbicos
D-32	Tampão do Cilindro, Topo e Plug de Ventilação	D-52	Anel Calibrado, 0,10 pés cúbicos
D-33	Anel Circular, Cilindro, Tampão	D-60	Suporte completo
* D-34	Cabo do Cilindro	** D-6i	Parafuso Móvel, suporte com acessórios
D-35	Tampão do Cilindro, Base	D-70	Base para Transporte, completa
* D-36	Válvula de Recarga, Nipple e Plug	D-71	Parafuso Móvel, Base para Transporte
D-37	Válvula Principal e dois Nipples	D-72	Porca Borboleta

ACESSÓRIOS (NÃO MOSTRADO)

NÚMERO PEÇA	N O M E N C L A T U R A	NÚMERO PEÇA	N O M E N C L A T U R A
D-80	Caixa de Ferramentas	D-85	Martelo de Borracha
* D-81	Mangueira para recarga com acessórios	D-86	Balão de dez cada
D-82	Chave, Anel Vedante	D-87	Óleo Solúvel (um quarto e um litro)
D-83	Chave de Boca, dois de cada	D-88	"Plug" Rijo
D-84	Chave Inglesa		

OBSERVAÇÃO:

- Anéis circulares sobressalentes como segue:
um de cada D-14, D-33; dois de cada D-23.
- Gaxetas da cabeça sobressalentes, dois de cada D-42.
- * Não incluído no modelo 15
- ** É necessário o número do modelo e da série para pedir estas partes.



Companhia
Energética de
São Paulo

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EEI/R

LABORATÓRIO DE SOLOS
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU"
ATRAVÉS DO DENSOMETER MÉTODO LSC-05

DADOS DE CAMPO		
LOCAL:		
CAMADA REPRESENTADA	COMPRIMENTO	
	LARGURA	
	ESPESSURA	
AREIA	TIPO	
EQUIPAMENTO		n.º PASSADAS
LOCAÇÃO	ESTACA	
	AFASTAMENTO	
	COTA	

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO FURO	
LEITURA FINAL (A)	
CONSTANTE DO ANEL (C)	
LEITURA FINAL + CONSTANTE	
LEITURA INICIAL (B)	
VOLUME DO FURO = A + C - B (CUFT)	
CORREÇÃO DO VOLUME = V (CUFT) - 28,322	
VOLUME CORRIGIDO - cm ³	

TEOR DE UMIDADE	CÁPSULA	
ÚMIDO + TARA	g	
SECO + TARA	g	
ÁGUA	g	
TARA	g	
SECO	g	
TEOR DE UMIDADE	%	
TEOR DE UMIDADE MÉDIO		

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA E MÍNIMA	
ENSAIO DE REFERÊNCIA	n.º
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÁX. g/cm ³	
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÍN. g/cm ³	
$\frac{\gamma_s \text{ MÁX.}}{\gamma_s \text{ MÁX.} - \gamma_s \text{ MÍN.}} = M$	

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU"	
PESO ÚMIDO	g
VOLUME DO FURO	cm ³
DENSIDADE ÚMIDA	g/cm ³
DENSIDADE SECA	g/cm ³

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE COMPACIDADE	
$GC = \frac{\gamma_s \text{ MÁX.}}{\gamma_s \text{ MÁX.} - \gamma_s \text{ MÍN.}} \left(1 - \frac{\gamma_s \text{ MÍN.}}{\gamma_s \text{ IN SITU}} \right)$	
$GC = M \left(1 - \frac{\gamma_s \text{ MÍN.}}{\gamma_s \text{ IN SITU}} \right)$	
GC =	%

OBSERVAÇÕES

OPERADOR _____	TURNO _____	DATA ____/____/____	ENSAIO n.º _____
CALCULISTA _____	VISTO _____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

FOLHA

OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R

131

ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO
DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

6 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" ATRAVÉS DO VOLUME DE ÁGUA - MÉTODO LSC-06.

6.1 - Equipamentos.

- Esquadrias metálicas de 1,4 x 1,4 m e de 1,0 x 1,0 m.
- Nível da bolha.
- Régua.
- Pã, picareta, espátula e colher.
- Tambores e recipientes calibrados, buretas.
- Bandejas.
- Balança que permita pesar 200 kg com precisão de 1 kg.
- Cápsulas para determinação da umidade.
- Estufa capaz de manter temperatura entre 105°C e 110°C.
- Folha de plástico.
- Folha de lona.

6.2 - Execução do Ensaio.

- a) Num local escolhido aleatoriamente, ou outro local previamente escolhido (ensaio de Atendimento), torná-lo tanto quanto possível plano e horizontal. Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 134) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local do ensaio, nome do técnico que executará o ensaio e data da sua realização.
- b) Assentar a esquadria metálica e com a ajuda do nível de bolha e régua, acertar toda a superfície interna à esquadria, removendo todo o material excedente, de maneira a fazer que toda a sua superfície fique plana e nivelada.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 132
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

- c) Com o auxílio das espátulas, começa-se a retirada do material no centro da superfície interna da esquadria, até a superfície da camada subjacente, devendo este material ser colocado em bandejas ou numa folha de lona posicionada ao lado do furo.
- d) Em seguida colocar a folha de plástico dentro da escavação. Colocar água dentro da escavação até atingir o plano horizontal determinado pelo topo da camada amostrada. O volume de água colocado é controlado pelos tambores e recipientes calibrados.
- e) O material escavado é pesado e determinado o seu peso (P). O volume de água (V) é determinado pela somatória do consumo de água utilizada através dos tambores, recipientes calibrados e também de buretas.
- f) Retira-se duas amostras para determinação do teor de umidade, do material passado na peneira nº 4 (4,76 mm).

OBS - Utiliza-se a folha de ensaio (conforme folha nº 51), na execução do ensaio em campo, quando for compilar todos parâmetros deve-se utilizar a folha de ensaio referente aos Métodos LSR-07, LSC-06 e LSC-07 (conforme folha nº 134).

6.3 - Cálculo do Ensaio.

- a) Calcula-se a densidade "in situ" seca em g/cm³, da seguinte maneira:

$$\gamma \text{ "in situ" seco} = \frac{P_t}{V_t}$$

P_t : peso do material > peneira nº 4 + peso seco do material < peneira nº 4.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 133
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<p>peso seco do material < peneira nº 4 =</p> $= \frac{\text{Peso úmido do material < peneira nº 4}}{1 + \text{umidade do material < peneira nº 4}}$ <p>V_t : volume total de água.</p> <p>6.4 - Causas de Erros.</p> <ul style="list-style-type: none">- Não estar o local bem nivelado.- Não deixar a superfície interna a esquadria, com o mínimo de saliências internas.- Erro na pesagem.- Erro no controle do consumo de água.	



Companhia
Energética de
São Paulo

LABORATÓRIO DE SOLOS
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DO VOLUME
DE ÁGUA - MÉTODOS LSR-07, LSC-06, LSC-07

SEÇÃO OBRAS DE TERRA - EE1/R

LOCAL			n° PASSADAS				
ESTACA		AFASTAMENTO		COTA			
ESPESSURA DA CAMADA (cm)	ZONA			EQUIPAMENTO DE COMPACTAÇÃO	PESO TOTAL DA AMOSTRA (g)	PESO DO MATERIAL RETIDO # n° 4	VOLUME DO FURO (cm³)
	TF	TG	E				

RETIDO NA PENEIRA	1ª PESAGEM	2ª PESAGEM	3ª PESAGEM	4ª PESAGEM	5ª PESAGEM	6ª PESAGEM	TOTAL RETIDO NA PENEIRA
40"							
24"							
12"							
9"							
6"							
4"							
3"							
1 1/2"							
1"							
3/4"							
1/2"							
3/8"							
# n° 4							
MATERIAL < #4							

QUANTIDADE DE TAMBORES UTILIZADOS _____

CAPACIDADE DE CADA TAMBOR UTILIZADO (l) TAMBOR n° _____ 1 2 3 4 5

QUANTIDADE DE RECIPIENTES UTILIZADOS _____

CAPACIDADE DE CADA RECIPIENTE UTILIZADO (l) RECIPIENTE n° _____ 1 2 3 4 5

(I)	CAPACIDADE (l)	x	n° DE RECIPIENTES	+	FRAÇÃO (l)	=	VOLUME DOS RECIPIENTES (l)
-----	----------------	---	-------------------	---	------------	---	----------------------------

(II)	CAPACIDADE (l)	x	n° DE TAMBORES	=	VOLUME TOTAL DOS TAMBORES (l)
------	----------------	---	----------------	---	-------------------------------

(I)	+	(II)	=	VOLUME DO FURO (cm³)
-----	---	------	---	----------------------

OBSERVAÇÕES

OPERADOR _____	TURNO _____	DATA ____/____/____	ENSAIO n° _____
CALCULISTA _____	VISTO _____		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 135
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

7 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MATERIAL GROSSO DAS TRANSIÇÕES E ENROCAMENTO - MÉTODO LSC-07.

7.1 - Equipamentos .

- Balança que permita pesar 200 kg com precisão de 1 kg.
- Gabaritos com diâmetros 24", 12", 9", 6" e 4".
- Peneiras com abertura de 3", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" e nº 4.
- Bandejas.
- Folha de lona.
- Dispositivos para pesagem do material graúdo.

7.2 - Execução do Ensaio.

- a) Anotar na folha de ensaio (conforme folha nº 134) todos os dados que identifiquem a amostra e o ensaio, tais como: número da amostra e ensaio, local de ensaio, nome do técnico que executará o ensaio e data da sua realização.
- b) Na determinação da densidade "in situ" do enrocamento e transições, após a remoção de todo o material do furo de amostragem, colocá-lo sobre a folha de lona posicionada ao lado do ponto de ensaio, inicia no mesmo local o ensaio de granulometria pelo gabarito de maior abertura, fazendo passar um fragmento rochoso.
- c) Se o fragmento de rocha não passar, depositar numa bandeja e assim sucessivamente até considerar que não existem amostras representativas daquele diâmetro.
- d) Com o material "não passante" por aquele diâmetro, considerá-lo retido na referida malha e o seu peso

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 136
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

(retido) será determinado por pesagem sucessivas, caso seja uma grande quantidade de material retido.

- e) Esta sequência de (c) a (e) é obedecida utilizando o gabarito seguinte de menor diâmetro. Isto é feito sucessivamente até encontrar um diâmetro qual já possa ser executado o peneiramento.
- f) Executar o peneiramento manualmente até que todas as partículas com diâmetro menor que a abertura de cada peneira já tenham passado por elas e registrar o peso de material retido em cada peneira na folha de ensaio. Fazer isto sucessivamente até a peneira nº 4.
- g) Anota-se o peso do material passante na peneira nº 4 e envia-se, junto com folha de ensaio (conforme folha nº 134) para o laboratório completar o ensaio.

7.3 - Cálculo do Ensaio.

- a) Calcula-se a porcentagem de peso retido nas várias peneiras até nº 4, da seguinte maneira:

$$Q_n = \frac{\text{Peso retido}}{\text{Peso total da amostra}} \times 100$$

n : porcentagem de material retido na peneira de abertura N.

- b) Com o material passante na peneira nº 4, completa-se os ensaios segundo os métodos - LSR-07 e LSC-06.

7.4 - Causas de Erros.

- Não há representatividade e quantidade de material necessário para execução do ensaio (conforme item 3.3.2- Preparação da amostra para análise granulométrica).

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 137
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	
<ul style="list-style-type: none">- Falta de controle das pesagens ou erro de leitura.- Falta de nivelamentos da balança.- Tempo de peneiramento manual insuficiente.		

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL		FOLHA 138
OBRA:	BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO:	MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO	

B I B L I O G R A F I A

- Normas de ensaios do Laboratório Central de Engenharia Civil-CESP
- Normas da A.B.N.T.
- Handbook of American Society for Testing and Materials
- Engineer Manual - Em 1110-2-1906 - Laboratory Soils Testing
- Earth Manual - Bureau of Reclamation
- Special Procedures for Testing Soil and Rock for Engineering Purposes - ASTM - STP-479.

RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL	FOLHA 139
OBRA: BARRAGEM TRÊS IRMÃOS - EEI/R	
ASSUNTO: MÉTODOS DE ENSAIO PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO	

DE UMA BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO

ESTE TRABALHO FOI PREPARADO NA RESIDÊNCIA DE TRÊS IRMÃOS E CANAL

TRABALHARAM NA ELABORAÇÃO DESTE RELATÓRIO

Sérgio Gehre Ferreira - EEIP
Silson Ferreira Peixoto - EEIP
Erlon Batista Nogueira - EEIP
Osterno Antonio de Souza - EEIP
Ronivaldo Sebastião Tiago - EEIP

IMPRESSO NO SETOR DE ARTES GRÁFICAS - CESP - SÃO PAULO