

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE SOLOS III

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TÍTULO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE DOSAGEM
SIMPLIFICADO DE SOLO-CIMENTO DA ABCP E O MÉTODO DE DOSAGEM
FÍSICO-QUÍMICO

ORIENTADORA: EDNA CELIE DA CUNHA MACHADO
ALUNO: IVALDO ANTONIO PEREIRA LOPES
MATRÍCULA N° 8921174/9

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
NOVEMBRO DE 1995



Biblioteca Setorial do CDSA. Outubro de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao corpo docente da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Curso de Engenharia Civil, e em particular a professora **EDNA CELIE DA CUNHA MACHADO**, pelo sincero empenho, dedicação e predisposição em atender e me ajudar como orientadora e supervisora do estágio.

Meus agradecimentos também aos funcionários dos laboratórios Solos II e III, pela colaboração prestada durante a realização dos experimentos de laboratório, pelo apoio e atenção dispensada.

RESUMO

Na estabilização de solos determina-se o traço através da dosagem experimental, que requer um tempo significativo para realização de ensaios e exige mão de obra especializada. Em virtude destes inconvenientes surgiu como alternativa o método de dosagem físico-químico, proposto por Chadda (1971), baseado na interação físico-química das partículas, que caracteriza-se pela simplicidade, redução da quantidade de amostra e rapidez do ensaio.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre o método de dosagem experimental da ABCP e o método de dosagem físico-químico de duas amostras de solo, da região paraibana, para uso em solo-cimento. Também serão apresentados os resultados obtidos nas determinações das viscosidades aparente e plástica realizadas na mistura utilizada no método de dosagem físico-química.

ÍNDICE

	PÁGINAS
1.0 - Introdução	1
2.0 - Materiais e Métodos	3
2.1 - Materiais	3
2.1.1 - Solo	3
2.1.2 - Cimento	3
2.1.3 - Água	4
2.2 - Ensaios	4
2.2.1 - Ensaios de Caracterização	4
2.2.1.1 - Análise Granulométrica por Pe- neiramento e Sedimentação-ABNT- 7181 (1984)	4
2.2.1.2 - Compacatação dos Solos - ABNT - NBR 7182 (1984)	5
2.3 - Métodos de Dosagem	5
2.3.1 - Dosagem de Solo-Cimento	5
2.3.1.1 - Descrição da Dosagem Solo-Ci- mento pela Norma Simplificada..	5
2.3.1.2 - Método de Dosagem Simplificado "A"	7
2.3.2 - Método de Dosagem Físico-Química	8
2.3.2.1 - Descrição do Método Físico-Quí- mico de Solo-Cimento, Proposto por Chadda (1971).....	8
2.4 - Determinação da Viscosidade Aparente e Viscosida- de Plástica	9
2.5 - Ensaios Tecnológicos	10
2.5.1 - Resistência à Compressão Simples (RCS)...	10
3.0 - Resultados e Discursões.....	11
3.1 - Ensaios de Caracterização	11
3.1.1 - Análise Granulométrica	11
3.1.2 - Densidade Máxima e Umidade Ótima	12
3.2 - Métodos de Dosagem	12
3.2.1 - Dosagem Solo-Cimento	12
3.2.1.1 - Solo I	12
3.2.1.2 - Solo II	13
3.3 - Viscosidades.....	13
3.3.1 - Solo I	13
3.3.2 - Solo II	14
3.4 - Ensaios Tecnológicos	14
3.4.1 - Resistência à Compressão Simples (RCS) ..	14
4.0 - Conclusão	16
Bibliografia	17
Anexo	18

1.0 - INTRODUÇÃO

A estabilização de solos com aditivos tem sido uma solução técnica e econômica, para a estabilização de solos que "in natura" não poderiam ser empregados em camadas de pavimentação. Dentre esses aditivos, o cimento Portland tem-se tornado um dos mais utilizados, tanto na pavimentação quanto em outras aplicações na engenharia civil.

A estabilização de solos na pavimentação com vários materiais, dentre eles o cimento, deu início também ao estudo de materiais alternativos, tendo como base os bons resultados obtidos na estabilização de solos para a pavimentação. Surgiram então, técnicas, inclusive com mão-de-obra não qualificada, de processos simples utilizando materiais naturais abundantes ou renováveis.

O solo-cimento é um produto endurecido resultante da mistura íntima de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, seguido de uma adequada compactação.

A dosagem do solo-cimento através dos métodos da ABCP requer uma sequência de ensaios realizados com uma determinada mistura de solo, cimento e água, seguida da interação dos resultados por meio de critérios pré-estabelecidos; o resultado final é a determinação da quantidade de cimento, quantidade de água e a massa específica aparente seca a ser alcançada pós-compactação.

O estudo do solo-cimento, começou em 1935 e foi introduzido no Brasil em 1940, com algumas experimentações na pavimentação rodoviária. Em 1941 a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) fez uma adaptação da metodologia de ensaios para a dosagem de solo-cimento da PCA. No entanto os estudos continuaram, com o objetivo de tornar o método mais rápido; até que, em 1952 a ABCP divulgou resultados que deram origem a Norma Simplificada de Dosagem, reduzindo o trabalho pela metade. Ainda assim é uma metodologia trabalhosa, pois necessita determinar a caracterização física do solo e fazer ensaios de compactação, para então, através de abacos, escolher o teor de cimento que será testado através do ensaio de resistência a compressão.

Procurando simplificar a dosagem de solo-cimento, um pesquisador Indiano do Central Road Research Institute de Nova Deli, publicou um trabalho (CHADDA, 1971), mostrando que a interação físico-química entre as partículas dos argilominerais e as do cimento em hidratação, podiam ser utilizadas para a determinação do teor de cimento requerido pela argila ou pelo solo.

O entusiasmo pelo método físico-químico vem da perspectiva de ser uma alternativa rápida, simples e de usar um teor mínimo de cimento necessário para estabilizar o solo.

Este trabalho tem o objetivo de fazer um estudo comparativo entre o Método de dosagem simplificada de Solo-Cimento da ABCP e o método de dosagem físico-químico.

2.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Materiais

Neste ítem, são apresentados os materiais utilizados, bem como os vários ensaios realizados e suas respectivas normas, conforme fluxograma do anexo 1.

2.1.1 - Solo

Foram estudados duas amostras de solo:

SOLO I - Proveniente da localidade Lagoa de Dentro-Campina Grande-Pb.

SOLO II - Rejeito do beneficiamento de Caulins, adquirido da Caulisa, S.A.

2.1.2 - Cimento

O cimento empregado, foi o CPIIF-32, comercializado com a marca ZEBU, adquirido em Campina Grande-Pb.

2.1.3 - Água

Foi utilizada a água fornecida pela CAGEPA (COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DA PARAÍBA), não nociva a hidratação do cimento, visto que é potável.

2.2 - Ensaaios

Foram realizados ensaios de caracterização, dosagem de solo-cimento e determinações das viscosidades aparente e plástica e resistência à compressão simples.

Os solos foram caracterizados através dos ensaios de granulometria pór peneiramento e sedimentação (ABNT-NBR 7181, 1984) e compactação (ABNT-NBR-7182, 1984). Os teores de cimento foram determinados através dos métodos de dosagens da ABCP (ET-35, 1986) e do método de dosagem físico-químico (CHADDA, 1971).

Na mistura usada no ensaio físico-química foram determinadas as viscosidades aparente e plástica (EE-78, 1968).

Nos corpos de provas, de forma cilíndrica foram realizados ensaios de resistência à compressão simples (NBR-7215, 1991).

2.3 - Métodos de Dosagem

2.3.1 - Dosagem de Solo-Cimento

A dosagem de solo-cimento é feita experimentalmente através de diferentes teores de cimento onde são realizadas análises dos resultados. Os resultados indicam o teor de cimento indicado para a estabilização do solo em função de suas características físicas.

2.3.1.1 - Descrição da Dosagem Solo-Cimento pela Norma Simplificada

Adotou-se dois métodos de dosagem pela Norma Simplificada: o método-A e o método-B de acordo com as características físicas dos solos em estudo.

2.3.1.2 - Método de Dosagem Simplificado "A":

a) Determinar de acordo com o método SC-1 (5), a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima da mistura solo-cimento. O ensaio será realizado com um teor de cimento obtido do seguinte modo:

- estima-se a massa específica aparente seca máxima da mistura por meio da Fig. 1 anexo, em função das porcentagens de silte mais argila e de pedregulho fino mais areia grossa.

- Estima-se o teor de cimento para compactação por meio da Fig. 2 em anexo, em função da porcentagem de silte argila e da massa específica aparente seca máxima, obtida da Fig.1 anexo.

b) Obter o teor de cimento indicado, usando a Fig. 2 em anexo em obtida no ensaio de compactação.

c) Com teor de cimento em massa indicado, molda-se três corpos de prova, de acordo com o método SC-2 (5).

d) Determina-se a resistência a compressão simples dos corpos de prova, após 7 dias de cura, de acordo com o método SC-4 (5).

e) Verifica-se na Fig. 3 anexo, em função da porcentagem de silte mais argila do solo, a resistência média a compressão admissível para a mistura endurecida aos sete dias.

Se a média das resistências obtidas for superior a este mínimo, o teor de cimento indicado será adotado; caso contrário, são necessários então novos ensaios, moldando-se dois corpos de prova; um

com o teor indicado anteriormente na Fig. 2 e o outro com um teor de cimento 2% acima dele.

Estes corpos de prova serão submetidos ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem (método SC-3) (5); as perdas de massa por eles sofridas permitirão determinar o teor de cimento adequado, conforme a Norma Geral de dosagem.

O teor de cimento é finalmente convertido em teor de cimento em volume, como indicação para as operações de campo.

2.3.1.2 - Método de Dosagem Simplificado "B"

a) Determina-se, de acordo com método SC-1 (5), a densidade máxima e a umidade ótima do solo-cimento;

- estima-se a densidade máxima por meio da Fig. 4 em anexo, em função das porcentagens de silte mais argila e de pedregulho fino e pedregulho grosso;

- estima-se o teor de cimento indicado para compactação, usando a Fig. 5 anexo, em função das porcentagens de pedregulho grosso, de silte mais argila e da densidade máxima obtida da Fig. 4 anexo;

b) Obter o teor de cimento indicado, usando a Fig. 5 anexo, em função das porcentagens de pedregulho, silte mais argila e da densidade máxima obtida no ensaio de compactação;

c) Com o teor de cimento indicado, molda-se três corpos de prova, de acordo com o método SC-2 (5);

d) Determina-se a resistência média a compressão dos corpos de prova, de acordo com o método SC-4 (5);

e) Determinar na Fig. 6 anexo, em função das porcentagens de pedregulho grosso e de silte mais argila, a resistência média a compressão mínima admissível para a mistura endurecida (aos sete dias). Se a média das resistências obtidas for superior a este mínimo, então o teor de cimento indicado será adotado.

2.3.2 - Método de Dosagem Físico-Química

2.3.2.1 - Descrição do Método Físico-Químico de Solo-Cimento, proposto por CHADDA (1971)

1) Utiliza-se em média sete provetas de 250 ml marcando-se com % de cimento (0%, 3%, 7% 9%, 11%...);

2) Pesa-se 20g do solo, seco ao ar, destorroado e passado na peneira 10, para cada proveta;

3) Adiciona-se as quantidades de cimento em porcentagens por peso de solo, nas respectivas provetas;

4) Mistura-se o solo e o cimento ainda secos agitando-se as provetas;

5) Coloca-se aproximadamente 50 ml de água destilada e agita-se as provetas até que ocorra a homogeneização completa da mistura;

6) Completa-se o volume para 100ml lavando as paredes das provetas, e coloca-se em repouso absoluto até o dia seguinte;

7) No dia seguinte, agita-se a mistura com o auxílio de um bastão de metal até ficar homogênea (cerca de 30 segundos);

8) Após no mínimo de 2 horas, faz-se a leitura do volume ocupado pelo cimento;

9) No terceiro dia, agita-se novamente as provetas e faz-se a leitura após no mínimo 2 horas;

10) Repete-se esta operação todos os dias até obter-se leituras constantes ou decrescentes;

11) Monta-se uma tabela com as porcentagens de cimento e as leituras de cada dia;

12) Calcula-se a variação volumétrica porcentual do rendimento solo-cimento em relação aquelas do solo puro (0%) para os diversos teores de cimento, escolhendo para o cálculo o maior volume obtido para cada teor;

13) Faz-se o gráfico de $V \times C_i$. O ponto máximo da variação volumétrica correspondente ao teor de cimento requerido para a "satisfação" físico-química do solo.

2.4 - Determinação da Viscosidade Aparente e Viscosidade Plástica

As determinações são feitas nas misturas obtidas após o ensaio de dosagem através do método físico-químico.

OBJETIVO

Este método fixa o modo pelo qual devem ser verificados os requisitos a que deve obedecer a argila para água doce.

NORMAS A CONSULTAR

a) da PETROBÁS:

EE-78 - Argila Ativada para Água Doce

b) da ABNT:

EB-22 - Peneiras de Malhas Quadradas para
Análises Granulométricas de Solos

c) do API:

RP-29 - Standard Field Procedures for Testing Drilling
Fluids

RP-13-B - First Edition November 1962 - Standard Procedures for
Testing Drilling Fluids

2.5 - **Ensaio Tecnológico**

2.5.1 - Resistência à Compressão Simples (RCS)

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, com os solos I e II no proctor normal, segundo ABNT, MB-3360 (1990), curados durante sete dias; e em seguida realizado o ensaio de resistência à compressão simples de acordo com o método da ABNT, MB-3361 (1990) para solo-cimento.

A RCS foi realizada de acordo com o método da ABNT, MB-3361 (1990) com o solo-cimento para os solos I e II.

3.0 - RESULTADOS E DISCURSÕES

3.1 - Ensaio de Caracterização

3.1.1 - Análise Granulométrica

As tabelas 1 e 2 apresentam as análises granulométricas por peneiramento e sedimentação dos solos 1 e 2.

De acordo com os resultados obtidos da análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, e, segundo a classificação unificada, Vargas (1977), os solos tiveram a seguinte classificação:

- Solo I → trata-se de uma areia siltosa com 98% de material passando na peneira ABNT, de nº 10 (abertura de 2mm) e 11% passando na peneira nº 200 com abertura de 0,074mm.

- Solo II → é um solo arenoso, com 77% de material passando na ABNT de nº 10 (abertura 2.0mm) e 13% passando na peneira de nº 200 (abertura 0,074mm).

3.1.2 - Densidade Máxima e Umidade Ótima

Nas tabelas 1 e 2 anexo, podem ser observados os valores das densidades máximas e umidades ótimas de acordo com o gráfico do ensaio de compactação, dos solos-cimento.

O solo I, apresentou uma densidade máxima de 1994g/dm e uma umidade ótima de 8.2%. Já o solo II, apresentou uma densidade máxima menor, 1860g/dm; por outro lado, a umidade ótima foi maior do que a do solo I, 9.4%.

3.2 - **Métodos de Dosagem**

3.2.1 - Dosagem Solo-Cimento

3.2.1.1 - Solo I

De acordo com os resultados obtidos para este solo foi utilizada a Norma Simplificada A.

Como a resistência média dos corpos de prova apresentados na tabela 8, moldados com teor de cimento igual a 8%, foi superior a

resistência mínima, Fig. 3 Método - A, então o teor de cimento indicado para a mistura solo-cimento é 8%.

3.2.1.2 - Solo II

Os resultados obtidos através do método de dosagem solo-cimento, mostraram que este solo deve ser analisado pela Norma Simplificada B.

Da mesma forma que o solo I, o solo II apresentou resistência média a compressão simples aos 7 dias, dos corpos de prova, moldados com 8% de cimento, superior a resistência à compressão simples mínima, requerida por norma, logo o teor de cimento indicado para a mistura solo-cimento será de 8%.

3.3 - **Viscosidades**

Nas tabelas 7 e 8 anexo, encontram-se os resultados da Viscosidade Aparente e Viscosidade Plástica para o solo I e solo II, respectivamente.

3.3.1 - Solo I

No solo I, a viscosidade aparente variou de 1,25 a 1,5 CP, apresentando um aumento de 17% com a adição de 3% de cimento Portland; com as adições de 5,7,9,11 e 13%, a viscosidade aparente

permaneceu constante. A viscosidade plástica variou de 1,0 a 2,0 CP, apresentando um aumento de 100% com a adição de 3% de cimento portland. Com as adições de 5,7,7,11 e 13%, os valores da viscosidade plástica se mantiveram constantes.

O solo I, sem a adição de cimento apresentou uma viscosidade plástica menor do que a viscosidade aparente. Após a adição de cimento a viscosidade plástica, apresentou um valor superior a viscosidade aparente.

3.3.2 - Solo II

No solo II, a viscosidade aparente e plástica apresentaram uma variação de 1.0 a 2.0, sendo que com 0% de cimento, os valores da viscosidade aparente e plástica foram constantes e iguais a 1,0. Com as adições de 5,7,9,11 e 13% de cimento houve um aumento na viscosidade plástica de 100%. Já a viscosidade aparente, com 5% de cimento sofreu apenas um aumento de 50% em relação as porcentagens 0% e 3% de cimento. Com a adição de 7,9,11 e 13%, a viscosidade aparente foi igual a 2, tendo aumentado de 1,5 com o teor de 5% de cimento, para 2.0 com os teores 7,9,11 e 13% de cimento.

3.4 - **Ensaio Tecnológicos**

3.4.1 - Resistência a Compressão Simples (RCS)

Em função das densidades máximas e das porcentagens de silte + argilas, tanto o solo I quanto o solo II tiveram corpos de prova moldados para a determinação da resistência à compressão simples com um teor de cimento igual a 8%;

Para cada solo foram moldados 3 corpos de prova. Após a moldagem foram colocados na camara úmida para cura, permanecendo por 7 dias. Passado esse período, todos os corpos de prova foram rompidos e determinadas as respectivas resistências a compressão simples, cujos resultados estão na Tabela 9 anexo. Observando os resultados na Tabela 9, podemos ver que o solo I tem resistência a compressão simples superior ao solo II, apesar de ambos os solos terem seus corpos de prova moldados com o mesmo percentual de cimento. Isto talvez ocorra em virtude do solo II apresentar a presença de mica que é um material de baixa resistência.

4.0 - CONCLUSÃO

Através do Método de Dosagem Solo-Cimento da (ABCP), constatou-se que ambos os solos (solo I e solo II) se estabilizaram com teores de cimento de valores iguais a 8% respectivamente. Os corpos de prova moldados com esse teor de cimento apresentaram resistência a compressão simples, após 7 dias de cura na camara úmida, um valor superior a resistência mínima estabelecida, conforme resultados apresentados na Tabela 9 e Fig. 3 - Método A e Fig. 6 - Método B para os solos I e II respectivamente.

De acordo com o Método de Dosagem Físico-Químico, o teor de cimento para a estabilização dos solos I e II foi de 7%, conforme os resultados anexo nas Figuras 7 e 8.

Fazendo uma análise comparativa dos dois métodos, podemos concluir que o Método de dosagem da ABCP apresentou resultados bem próximos ao Método de Dosagem físico-químico. O solo I e II, através Método de Dosagem da ABCP estabilizaram-se com a adição de 8% de cimento-Portland e através do Método Físico-Químico a estabilização foi obtida com a adição de 7% de cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Análise Granulométrica dos Solos, NBR-7181, 1984.
- 2 - A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cimento Portland, Determinação da Resistência à Compressão, NBR - 7215, 1991.
- 3 - A.B.N.T., Associação Brasileira de Normas Técnicas, Solo-Cimento, Ensaio de Compressão Simples de Corpos de Prova Cilíndrico, MB- 3361, 1990.
- 4 - Casanova, F.J. e Cenatt, J.A., Procedimento para a Dosagem Físico-Química do Solo-Cimento, 20ª Reunião Anual de Pavimentação, Sergipe, Aracajú, 1992.
- 5 - ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland, Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios. 3ª ed. atual, São Paulo, 1986. (ET-35).

ANEXOS

E

TABELAS

ANEXO 1

1.1 - Determinação do teor de cimento para a moldagem dos corpos de provas

1.1.1 - Solo I

- Pedregulho fino = 1,6%
- Areia grossa = 31,8%
- Areia fina = 55,4%
- Silte = 6,4%
- Argila = 4,8%

1.1.1.1- Determinação do Método de Dosagem da ABCP Solo-Cimento para o solo I.

% de silte + argila = 11,2%
% de argila = 4,8
a Norma simplificada A.

} então adotou-se

Com } % de pedregulho fino areia grossa = 33,4%
Silte + argila = 11,2% } Fig. 5 - Método

⇒ $D_{\text{máx.}}$ estimada ;= 1915g/dm³

Silte + argila = 11,2%
Com{ $D_{\text{máx}}$ estimada = 1915g/dm³ } Fig. 6 - Método A anexo

Teor de cimento para compactação = 7%

- Do ensaio de compactação $D_{\text{máx}} = 1,994\text{g/cm}^3$
 $H_{\text{ot}} = 8,2\%$

Silte + argila - 11,2%
Com Fig. 6 - Método - anexo ⇒ teor de cimento para a moldagem dos corpos de provas = 8%
 $D_{\text{máx}} = 1,994\text{g/cm}^3$

1.1.2 - Solo II

1.1.2.1 - Determinação do Método de Dosagem da ABCP para o solo II

% de silte + argila = 13%
então adota-se a % de pedregulho grosso = 4,5%
% de pedregulho grosso = 4,5%

Norma Simplificada B.

% pedregulho fino + pedregulho grosso = 21%
Com } Fig. 4 - Método B - anexo ⇒ $D_{\text{máx}}$ estimada = 2000g/m³

Silte + argila = 13%
 $D_{\text{máx}}$ estimada = 2000g/dm³
Com{ Pedregulho grosso = 4,5% ⇒ Fig. 5 - Método B - anexo
Silte + argila = 13%

então o teor de cimento para compactação = 5%

- Do ensaio de compactação $D_{m\acute{a}x} = 1860\text{g}/\text{dm}^3$
 $h_{ot} = 9,4\%$
- Pedregulho grosso = 4,5% (100 - 95,5)
- Pedregulho fino = 16,5% (95,5 - 79)
- Areia grossa = 40% (79 - 39)
- Areia fina = 26% (39 - 13)
- Silte = 9,1%
- Argila = 3,9%

$$D_{m\acute{a}x} = 1860\text{g}/\text{dm}^3$$

Com Pedregulho grosso = 4,5% \Rightarrow Fig. 5 - Método B-Anexo, então o
 Silte + argila = 13%
 teor de cimento para moldagem dos corpos de provas = 8%.

2 - CÁLCULO DOS MATERIAIS PARA MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVAS

- Dados:

a) Cilindro

$$h = 12,4\text{cm}$$

$$\phi = 10\text{cm}$$

$$A_c = 78,2\text{cm}^2$$

$$V_c = 973,4\text{cm}^3$$

b) Soquete

$$h_s = 30\text{cm}$$

$$P_s = 2,48\text{kg}$$

c) Energia $E_c = \text{proctor Normal} = 5,6 \text{ kg} \times \frac{\text{cm}}{\text{cm}^3}$
 $N_c = 3 \text{ camadas}$

d) N° de golpes = $\frac{E \times V_c}{h_s \times P_s \times N_c} = 25 \text{ golpes.}$

2.1 - Solo I

2.1.1 - Cálculo da Massa de Solo (M_s)

$$M_s = D_{\text{máx}} \times V_c = 1,994 \times 973,4 \Rightarrow M_s = 1941\text{g}$$

$$M_{\text{st}} = M_s + \text{perdas} = 1941 + 300 = 2241\text{g}$$

2.1.2 - Massa para 1 Corpo de Prova (M)

$$M = M_s + (1+h_i) = 2241 (1 + 0,006) \cong 2254,4\text{g}$$

2.1.3 - Cálculo da Massa de Cimento (M_c)

$$M_c = M_{\text{st}} \times \% \text{ cimento} \Rightarrow M_c = 2241 \times \frac{8}{100} = 179,3\text{g}$$

2.1.4 - Quantidade de Água (M_a)

$$M_a = M_{\text{st}} \left(\frac{h_{\text{ot}} + h_i}{100} \right) = 2241 \times \left(\frac{8,2 - 0,6}{100} \right) = 170,3\text{g}$$

2.2 - SOLO II

2.2.1 - Esculo da Massa de Solo (M_s)

$$M_s = 1,86 \times 973,4 \Rightarrow M_s = 1811g$$

$$M_{st} = 1811 + \text{perdas} = 1811 + 300 \Rightarrow M_{st} = 211g$$

2.2.2 - Determinação da Massa para 1 Corpo de Prova (M)

$$M = M_s + (1 + h_i) = 2111 (1 + 0,004) \cong 211g$$

2.2.3 - Cálculo da Massa de Cimento (M_c)

$$M_c = M_{st} \times \% \text{ cimento} = 2111 \times \frac{8}{100} \Rightarrow M_c 16g$$

2.2.4 - Quantidade de Água (M_a)

$$M_a = M_{st} \left(\frac{h_{ot} - h_i}{100} \right) = 2111 \left(\frac{9,4 - 0,4}{100} \right)$$

$$M_g = 190 \text{ g}$$

TABELA 01 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO DE SOLOS I

TABELA - 01

UFPb-CCT-DEC-ATECEL LABORATÓRIO DE SOLOS		RODOVIA/TRECHO:	INTERESSADO:
ABNT-NBR-7181/84	ÁREA GEOTECNIA	PROCED: SL-JAZ-AT-ETC SOLO I	LOCALIZ.: FURO-EST-LADO
GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO		OPERADOR:	INÍCIO:
		CÁLCULO:	TÉRMINO: VISTO:

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO DA GRANULOMETRIA	
CÁPSULA Nº	AS-21	AG-136	Pedregulho: acima de 4,8mm	0,00 %
MASSA BRUTA ÚMIDA (g)	178,5	226,8	Areia grossa: 4,8 a 0,84mm	17 %
MASSA BRUTA SECA (g)	177,2	224,6	Areia média: 0,84 a 0,25mm	32 %
TARA DA CÁPSULA (g)	49,5	51,9	Areia fina: 0,25 a 0,05mm	41 %
MASSA DE ÁGUA (g)	1,30	2,20	Silte + Argila: abaixo de 0,05mm	10 %
MASSA DO SOLO SECO (g)	127,70	22,40	Total	100 %
UMIDADE (%)	1,02	0,99	Retido entre 2,0 e 0,074mm	80,61 %
UMIDADE MÉDIA (%)	1,00		Argila < que 0,005mm	4,8 %

DADOS		
M_t = Massa total da amostra seca = <u>990,25g</u>		h = Umidade higroscópica do material passando na peneira de 2,00mm = <u>1%</u>
M_f = Massa da amostra seca ao ar = <u>1000g</u>		N = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,00mm = <u>98%</u>
M_s = Massa do material seco retido na peneira de 2,0mm = <u>15,52g</u>		δ = Massa específica dos grãos do solo em g/cm ³ = <u>2,61%</u>
M_h = Massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou a sedimentação = <u>100g</u>		

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL			
Peneira (mm)	Material retido		% que passa da amostra total (Q)	Peneira (mm)	Material retido		% que passa da amostra total (Q)
	Massa (g)	M_i (g)			Massa (g)	M_i (g)	
50				1,2	5,23	5,23	93,00
38				0,6	18,94	24,17	74,08
25,4				0,42	7,51	31,68	66,64
19,1				0,25	15,72	47,40	51,08
9,5				0,15	25,05	72,45	26,29
4,8	-	-	100	0,074	7,56	80,01	17,82
2,0	15,52	15,52	98,43				

SEDIMENTAÇÃO

Proveta Nº			Densímetro Nº					
Data	Hora observada	tempo decorrido (min)	L	Temperatura °C	L_d	a	Diâmetro (mm)	% da amostra total Q_i
1/6/95	8:50	0,5	1,012	26	1,004	18,76	0,078	12,84
1/6/95	8:51	1,0	1,001	26	1,004	18,60	0,056	11,23
1/6/95	8:52	2,0	1,010	26	1,004	18,00	0,039	9,63
1/6/95	8:54	4,0	1,009	26	1,004	18,30	0,028	8,20
1/6/95	8:58	8,0	1,008	26	1,004	18,40	0,020	6,42
1/6/95	9:05	15,0	1,008	26	1,004	18,40	0,014	6,42
1/6/95	9:20	30,0	1,008	26	1,004	18,40	0,010	6,42
1/6/95	9:50	60,0	1,007	26	1,004	18,70	0,007	4,81
1/6/95	10:50	120,0	1,007	26	1,004	18,70	0,005	4,81
1/6/95	12:50	240,0	1,006	27	1,004	19,00	0,004	3,21
1/6/95	16:50	480,0	1,006	26,5	1,004	19,00	0,003	3,21
1/6/95	8:50	1440,0	1,006	25	1,004	19,00	0,001	3,21

TABELA 02 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO DO SOLO II

TABELA - 02

UFP6-CCT-DEC-ATECEL LABORATÓRIO DE SOLOS		RODOVIA/TRECHO:	INTERESSADO:
ABNT-NBR-7181/84	ÁREA GEOTECNIA	PROCED: SU-JAZ-AT-ETC SOLO II	LOCALIZ.: FURO-EST-LADO
GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO		OPERADOR:	INÍCIO:
		CÁLCULO:	TÉRMINO: VISTO:

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO DA GRANULOMETRIA	
CÁPSULA Nº	AG007	AG 041	Pedregul: acima de 4,8mm	2,00
MASSA BRUTA ÚMIDA (g)	161,00	184,9	Areia grossa: 4,8 a 0,84mm	43,00
MASSA BRUTA SECA (g)	160,00	183,4	Areia média: 0,84 a 0,25mm	22,00
TARA DA CÁPSULA (g)	53,00	55,50	Areia fina: 0,25 a 0,05mm	18,00
MASSA DE ÁGUA (g)	1,00	1,50	Silte + Argila: abaixo de 0,05mm	12,00
MASSA DO SOLO SECO (g)	107,00	127,90	Total	100,00
UMIDADE (%)	0,93	1,17	Retido entre 2,0 e 0,074mm	59,00
UMIDADE MÉDIA (%)	1,05		Argila < que 0,005mm	3,90

DADOS		h = Umidade higroscópica do material passando na peneira de 2,00mm = <u>1,05</u>
M_t = Massa total da amostra seca = <u>992,16g</u>		N = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,00mm = <u>79</u>
M_f = Massa da amostra seca ao ar = <u>1000g</u>		δ = Massa específica dos grãos do solo em g/cm ³ <u>2,60</u>
M_r = Massa do material seco retido na peneira de 2,0mm = <u>208,33g</u>		
M_A = Massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou a sedimentação = <u>100g</u>		

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL			
Peneira (mm)	Material retido		% que passa de amostra total (Q _t)	Peneira (mm)	Material retido		% que passa de amostra total (Q _t)
	Massa (g)	M _t (g)			Massa (g)	M _t (g)	
50				1,2	20,25	20,25	63
38				0,6	23,07	43,32	44
25,4				0,42	6,59	49,91	39
19,1				0,25	8,72	58,63	32
9,5	15,86	15,86	98,00	0,15	11,55	70,18	23
4,8	28,80	44,66	95,50	0,074	3,62	73,80	20
2,0	163,67	208,33	79,00				

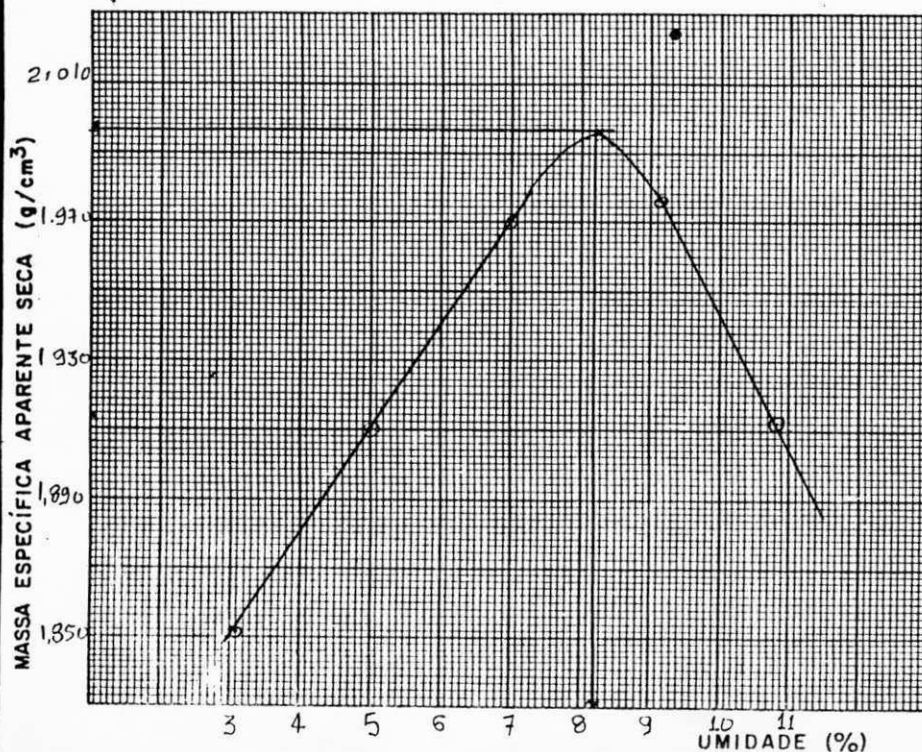
SEDIMENTAÇÃO

Proveta Nº		Densímetro Nº						
Data	Hora observada	tempo decorrido (min)	L	Temperatura °C	L _d	a	Diâmetro (mm)	% da amostra total Q _t
1/6/95	9:12	0,5	1,015	26	1,004	17,80	0,077	14,30
1/6/95	9:13	1,0	1,014	26	1,004	18,00	0,055	13,00
1/6/95	9:14	2,0	1,013	26	1,004	17,40	0,038	11,70
1/6/95	9:16	4,0	1,011	26	1,004	17,80	0,027	9,10
1/6/95	9:20	8,0	1,010	26	1,004	18,00	0,019	7,80
1/6/95	9:27	15,0	1,009	26	1,004	18,20	0,014	6,49
1/6/95	9:42	30,0	1,008	26	1,004	14,40	0,010	5,19
1/6/95	10:12	60,0	1,008	26	1,004	18,40	0,007	5,19
1/6/95	11:12	120,0	1,007	26	1,004	18,60	0,005	3,90
1/6/95	13:12	240,0	1,007	26	1,004	18,60	0,004	3,90
1/6/95	17:12	480,0	1,006	26,5	1,004	19,00	0,003	2,59
2/6/96	9:12	1440,0	1,006	25	1,004	19,00	0,001	2,59

TABELA 03 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA E UMIDADE ÓTIMA

RODOVIA / TRECHO		INTERESSADO: PESQUISA		REGISTRO Nº	
PROCED.: SL - JAZ - AT. - ETC.		LOCALIZ.: FURO - EST. - LADO	PROFUND. - cm		$\gamma_{m\acute{a}x}$ 1,994 g/cm ²
CLASSIFICAÇÃO VISUAL DO SOLO: SOLO I					
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº	GOLPES / CAMADA 25
CÁPSULA Nº	254	30			
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	119,8	108,6	VOLUME DO MOLDE	1005,28 cm ³	Nº DE CAMADAS 03
PESO BRUTO SECO (g)	119,2	108,0	PESO DO MOLDE	2400,00 g	
TARA DA CÁPSULA (g)	14,4	7,8	PESO DO SOQUETE	-- g	
PESO DA ÁGUA (g)	0,60	0,6	ESPESS. DO DISCO	-- cm	
PESO DO SOLO SECO (g)	104,8	100,2			
UMIDADE (%)	0,60	0,60			
UMIDADE MÉDIA (%)		0,60			

PONTO	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENSIDADE DO SOLO SECO
				CÁPSULA Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO BRUTO SECO	PESO DA CÁPSULA	PESO DA ÁGUA	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE		
-	g	g	g/cm ³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm ³
1	4319	1919	1,009	331	102,9	100,5	13,4	2,4	87,1	2,8	3,4	1,852
				067	121,5	118,4	14,6	3,5	103,8	3,4		
2	4416	2016	2,005	585	93,0	89,2	13,4	3,8	75,8	5,0	5,0	1,910
				353	91,5	87,8	13,7	3,7	74,1	5,0		
3	4520	2120	2,109	17	105,1	99,2	16,9	5,9	82,3	7,2	7,0	1,971
				51	100,4	94,5	7,6	5,9	86,9	6,8		
4	4566	2166	2,166	674	97,2	89,6	7,5	7,6	82,1	9,3	9,1	1,975
				519	104,3	96,9	14,0	7,4	82,9	8,9		
5	4529	2129	2,118	115	109,5	100,3	14,1	9,2	86,2	10,7	10,8	1,912
				157	122,8	112,1	13,2	10,7	98,9	10,8		
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ÍNICIO:
12/09/1995

TÉRMINO:
13/9/95

OPERADOR:
Ivaldo e Mano

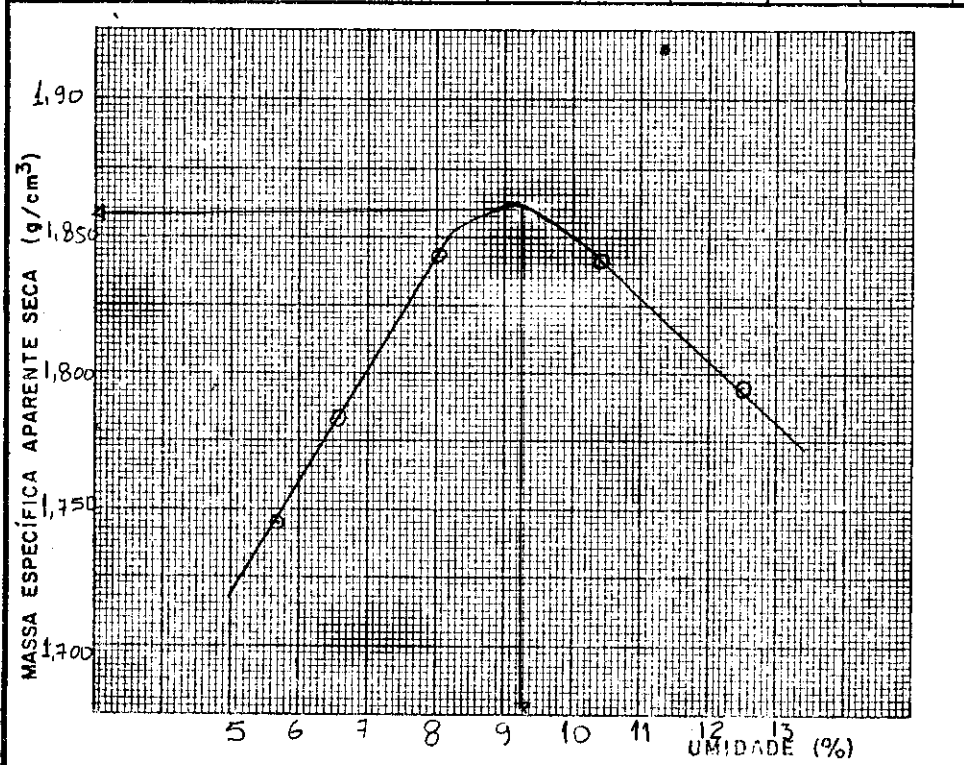
CÁLCULO:
Ivaldo

VISTO:
Jeconias

TABELA 04 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA E DENSIDADE ÓTIMA

RODOVIA / TRECHO		INTERESSADO: PESQUISA		REGISTRO Nº	
PROCED.: SL - JAZ - AT. - ETC.		LOCALIZ.: FURO - EST. - LADO	PROFUND. - cm		$\gamma_{s\text{máx}}$ <u>1,860 g/cm³</u> $h_{ót.}$ <u>9,4 %</u>
CLASSIFICAÇÃO VISUAL DO SOLO: SOLO II					
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE Nº		GOLPES / CAMADA 25
CÁPSULA Nº		51 13	VOLUME DO MOLDE		
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	84,1	78,6	1006,28 cm ³		Nº DE CAMADAS 03
PESO BRUTO SECO (g)	84,0	78,2	PESO DO MOLDE		
TARA DA CÁPSULA (g)	7,5	13,2	2400 g		
PESO DA ÁGUA (g)	0,10	0,40	PESO DO SOQUETE		ESPESS. DO DISCO ESPAÇADOR
PESO DO SOLO SECO (g)	76,5	65,0	g		
UMIDADE (%)	0,13	0,62	cm		
UMIDADE MÉDIA (%)		0,40			

PONTO Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENSIDADE DO SOLO SECO	
				CÁPSULA Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO BRUTO SECO	PESO DA CÁPSULA	PESO DA ÁGUA	PESO DO SOLO SECO	UMIDADE			
1	g	g	g/cm ³	-	g	g	g	g	g	g	%	%	g/cm ³
1	4254	1854	1,844	284	90,5	86,4	13,6	4,1	72,8	5,63	5,7	1,745	
				098	71,3	68,1	13,4	3,2	54,7	5,85			
2	4305	1905	1,895	161	86,2	81,6	13,8	4,6	67,8	6,78	6,5	1,779	
				109	84,8	80,3	7,4	4,5	72,9	6,17			
3	4401	2001	1,991	32	64,0	59,4	15,5	4,6	43,9	10,48	8,0	1,844	
				17	70,3	66,3	16,5	4,0	49,8	8,0			
4	4443	2043	2,032	10	90,1	82,6	13,4	7,5	69,2	10,8	10,5	1,839	
				31	76,0	69,6	7,5	6,4	62,1	10,3			
5	4400	2000	1,989	353	80,7	72,9	13,2	7,8	59,4	13,13	12,5	1,768	
				585	73,4	67,0	12,8	6,4	54,2	11,8			
6													



INÍCIO:
30/08/1995

TÉRMINO:
31/08/1995

OPERADOR:
Ivaldo e Lele

CÁLCULO:
Ivaldo

VISTO:
Jeconias

UFRPE - CCT - DEQ - ATECEL LABORATÓRIO DE SOLOS	COMPACTAÇÃO	
	ABNT - NBR -	ÁREA GEOTECNIA

TABELA 5 Solo I - Análise do Método Físico-Químico

% DE CIMENTO EM PESO	LEITURAS DIÁRIAS DO VOLUME SEDIMENTAÇÃO (CM ³) (PROVETA DE 250 ML)							VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	(%)
0%	12,5	13	13	14	15	15	15	0
3%	29	42	46	49	50	49	49	233
5%	30	42,5	45	47,5	49,5	49	49	230
7%	35	48	51	53	54	54	54	260
9%	32	42	44	47	47	47	47	213
11%	33	46	48	51	51	51	51	240
13%	32	44	45	47	47	47	47	213

Cálculo da variação volumétrica (ΔV):

$$\Delta V = \frac{V(\%CI) - V(0\%)}{V(0\%)} \times 100, \text{ onde } \% CI = \% \text{ de cimento adicionado ao solo.}$$

1 - Para $V = 0\% \Rightarrow \Delta V = 0\%$

2 - Para $V = 3\% \Rightarrow \Delta V = \frac{50-15}{15} \times 100 = 233$

3 - Para $V = 5\% \Rightarrow \Delta V = \frac{50,7-15}{15} \times 100 = 237$

4 - Para $V = 7\% \Rightarrow \Delta V = \frac{54-15}{15} \times 100 = 260$

5 - Para $V = 9\% \Rightarrow \Delta V = \frac{47-15}{15} \times 100 = 213$

$$6 - \text{Para } V = 11\% \Rightarrow \Delta V = \frac{51-15}{15} \times 100 = 240$$

$$7 - \text{Para } V = 13\% \Rightarrow \Delta V = \frac{47-15}{15} \times 100 = 213$$

TABELA 6 - SOLO II - ANALISE DO MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO

% DE CIMENTO EM PESO	LEITURAS DIÁRIAS DO VOLUME SEDIMENTAÇÃO (CM ³) (PROVETA DE 250 ML)							VARIACÃO VOLUMÉTRICA (%)
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	
0%	25	25	25	25	25	25	25	0
3%	47	55	56	55	54	54	54	124
5%	45	53	55	55	53	53	53	120
7%	45	54	57	56	56	56	56	128
9%	44	53	55	55	55	55	55	120
11%	50	52	51	50	50	50	50	108
13%	40	50	51	50	50	50	50	104

Cálculo da variação volumétrica (ΔV):

$$\Delta V = \frac{V(\%CI) - V(0\%)}{V(0\%)} \times 100, \text{ onde } \% CI = \% \text{ de cimento adicionado ao solo.}$$

1 - Para $V = 0\% \Rightarrow \Delta V = 0\%$

2 - Para $V = 3\% \Rightarrow \Delta V = \frac{56-25}{25} \times 100 = 124\%$

3 - Para $V = 5\% \Rightarrow \Delta V = \frac{55-25}{25} \times 100 = 120\%$

4 - Para $V = 7\% \Rightarrow \Delta V = \frac{57-25}{25} \times 100 = 128\%$

5 - Para $V = 9\% \Rightarrow \Delta V = \frac{55-25}{25} \times 100 = 120\%$

$$6 - \text{Para } V = 11\% \Rightarrow \Delta V = \frac{52-25}{25} \times 100 = 108\%$$

$$7 - \text{Para } V = 13\% \Rightarrow \Delta V = \frac{51-25}{25} \times 100 = 104\%$$

TABELA 7 - Solo I

Determinação da Viscosidade Plástica e Aparente da Mistura utilizada no Método de Dosagem físico químico.

% C _i	%	3%	5%	7%	9%	11%	13%
L - 600	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
L - 300	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
V.A.	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
V.P.	1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

$$V.A. = \text{Viscosidade Aparente} = \frac{L - 600}{2}$$

$$V.P. = \text{Viscosidade Plastica} = L - 600 - L - 300$$

$$C_i = \text{Cimento}$$

TABELA 8 - Solo II

Determinação da Viscosidade Plástica e Aparente

% C _i	0%	3%	5%	7%	9%	11%	13%
L - 600	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0
L - 300	1,	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
V.A.	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
V.P.	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0

TABELA 9 - Resistência à Compressão Simples

PROCEDÊNCIA DO SOLO	CARGAS (Kgf)			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kgf/cm ²)			
	P ₁	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R _M
I	3200	2460	3680	40,76	31,33	46,90	39,66
II	2000	1980	2080	25,5	25,2	26,5	25,70

$$A_c = 78,5 \text{ cm}^2$$

$$R_1 = \frac{P_1}{A_c} ; R_2 = \frac{P_2}{A_c} ; R_3 = \frac{P_3}{A_c}$$

$$R_M = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

- Solo I ⇒ Resistência média (R_n) = R_M = 39,66 kgf/cm² > R_{mín.}

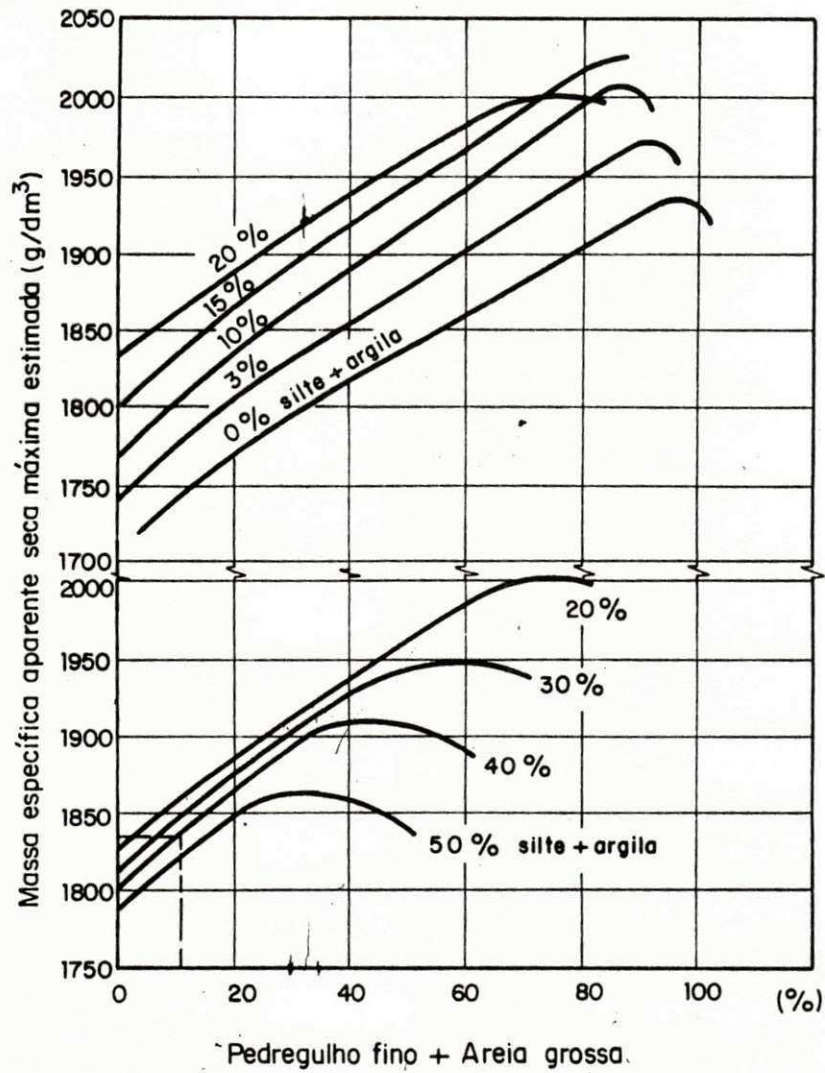


FIGURA 1 - MÉTODO A - Massa específica aparente seca máxima estimada

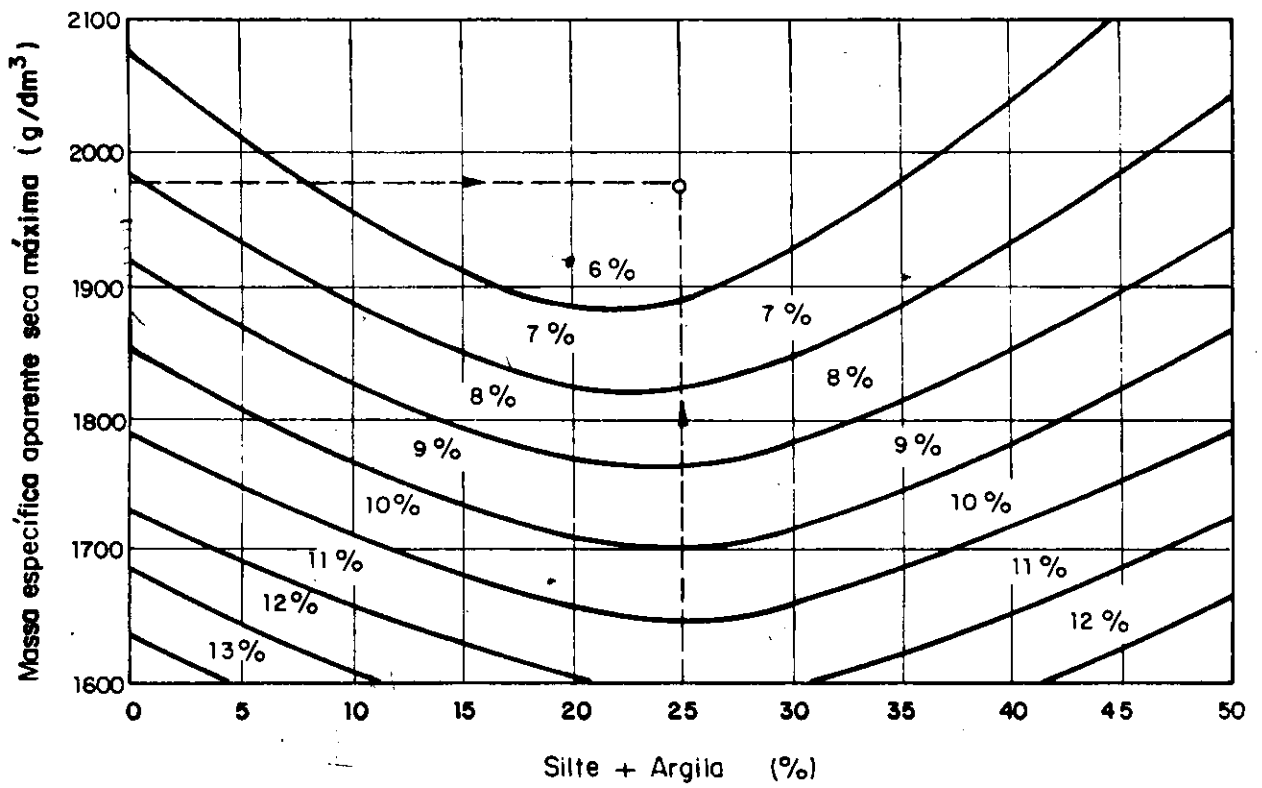


FIGURA 2 - MÉTODO A - Teor de cimento em massa indicado

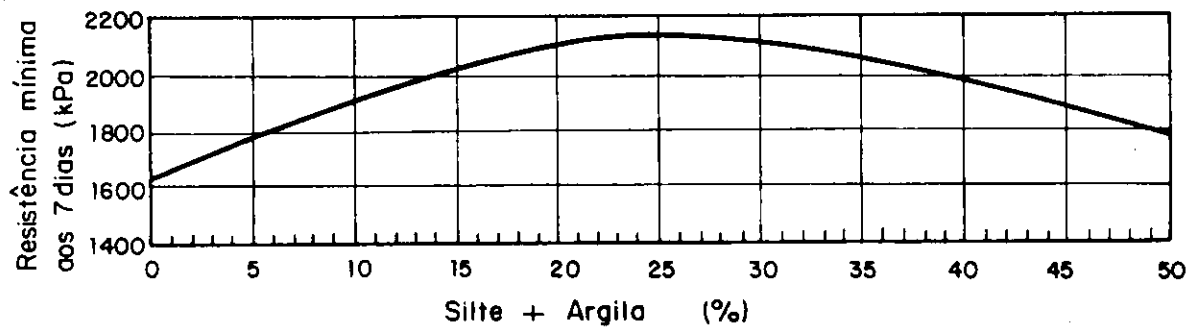


FIGURA 3 - MÉTODO A - Resistência à compressão mínima admissível dos corpos de prova aos 7 dias

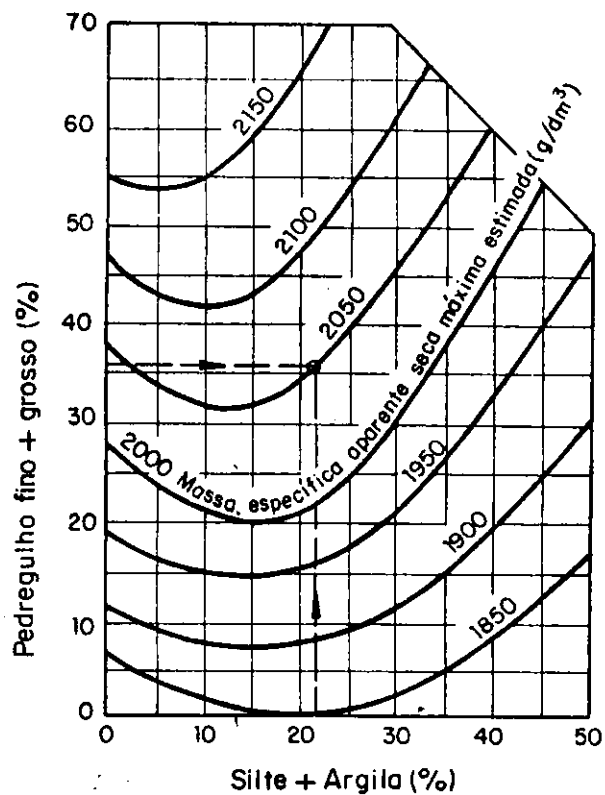


FIGURA 4 - MÉTODO B - Massa específica aparente seca máxima estimada

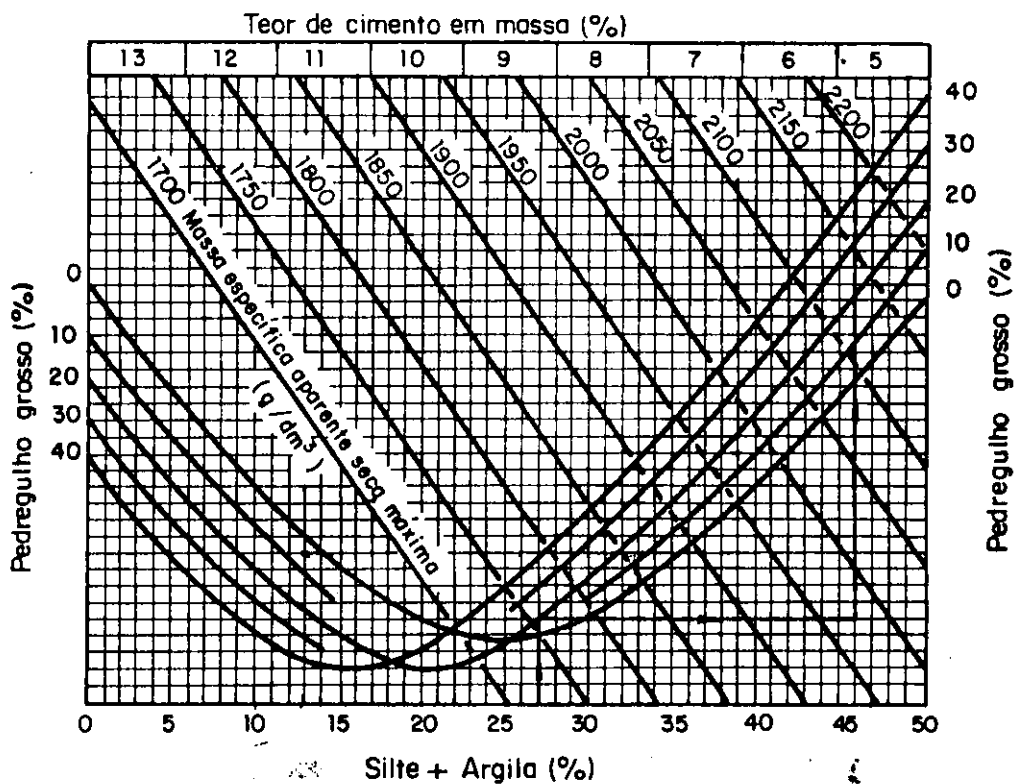


FIGURA 5 - MÉTODO B - Teor de cimento em massa indicado

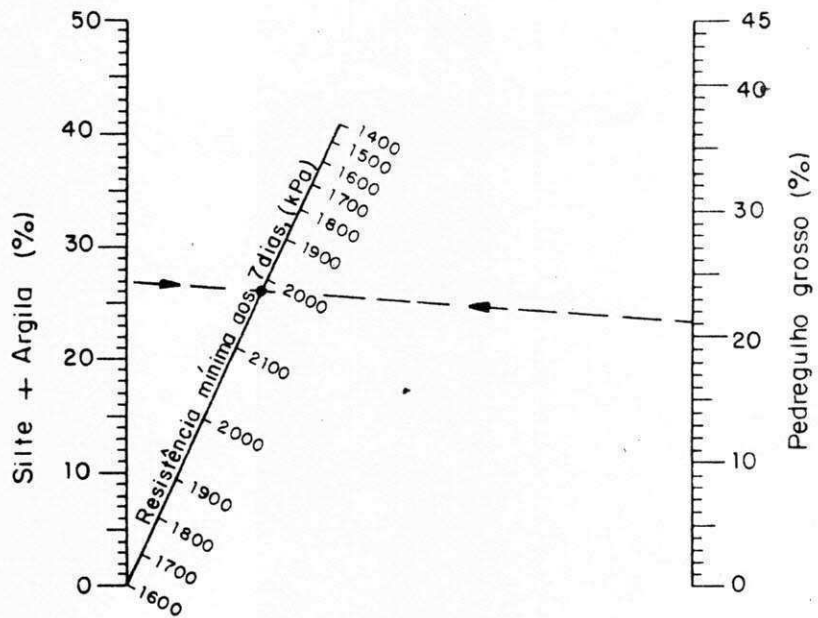


FIGURA 6 - MÉTODO B- Resistência à compressão mínima admissível dos corpos de prova, aos 7 dias

FIGURA 7

Varição Volumétrica X Teor de Cimento do Solo II

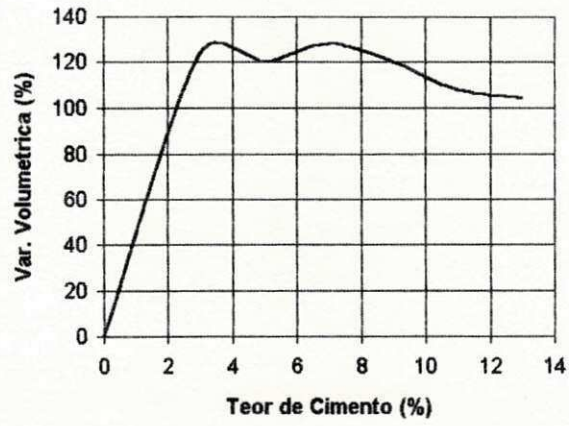


FIGURA 8

Varição Volumétrica X Teor de Cimento do Solo I

