Campus de São Carlos

ESTUDO DOS PARÂMETROS
HIPERBÓLICOS DA CURVA
TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE
SOLOS COMPACTADOS

Gene Stancati

Orientador: Evelyn B. S. Silveira

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

E R R A T A

Na página 7, 5º parágrafo, leia-se:

Na pesquisa aqui apresentada, o objetivo principal foi estudar a variação desses parâmetros em três materiais diferentes sob condições de compactação dinâmica.

Na página 82, 3º parágrafo, leia-se:

Quanto à variação de R_f em função dos parâmetros de compactação, de acordo com Kulhawy e Withiam, 1975, decrece de importância à medida que R_f aumenta. E ainda, que R_f varia inversamente com o parâmetro K ; isto é, enquanto K decresce com acréscimos de umidade, R_f aumenta com ela.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DOS PARÂMETROS
HIPERBÓLICOS DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO
DE SOLOS COMPACTADOS

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036557

GENE STANCATI

ORIENTADORA

Profa. Dra. EVELYNA B. S. SILVEIRA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
TRANSPORTES (ESTRADAS E AEROPORTOS)
SÃO CARLOS - 1978

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos que direta ou indiretamente contribuíram na realização d'êste trabalho.

RESUMO

Analisa-se a variação de parâmetros obtidos da curva tensão-deformação dos solos, interpretada como uma hipérbole, em função dos parâmetros de compactação obtidos da curva de compactação Proctor Normal. Esta análise é feita em três solos típicos.

ABSTRACT

The variation of the parameters obtained by the stress-strain curve of the soils, understood as a hyperbola is analysed in function of the compactation parameters obtained from the Proctor Compactation Curve. This analysis is made with three typical soils.

ÍNDICE

1 - Introdução.....	6
2 - Correlações Hiperbólicas da Curva Tensão-Deformação.....	9
2.1 - Parâmetros Hiperbólicos da Curva Tensão-Deformação.	9
2.2 - Dependência de Tensões.....	14
2.3 - Módulo Tangente.....	16
3 - Programação da Pesquisa.....	18
3.1 - Variáveis a considerar.....	18
3.2 - Parâmetros Estudados.....	19
4 - Características dos Solos Ensaaiados.....	21
4.1 - Determinação do Peso Específico dos Sólidos.....	21
4.2 - Determinação da Curva Granulométrica dos Solos.....	22
4.3 - Determinação dos Limites de Consistência dos Solos	22
4.4 - Classificação dos Solos.....	24
4.5 - Determinação dos Índices Físicos de Compactação : P_e so Específico Seco Máximo e Umidade Ótima.....	26
5 - Método de Execução dos Ensaios.....	28
6 - Resultados e Interpretações dos Ensaios Realizados.....	30
7 - Determinação dos Parâmetros Hiperbólicos.....	42
8 - Variação dos Parâmetros Hiperbólicos com os parâmetros de compactação.....	53
8.1 - Critério Adotado	53
8.2 - Interpretação dos Resultados Obtidos.....	64
9 - Conclusões.....	80
10- Resumo das Conclusões e Recomendações.....	94
11- Bibliografia.....	97

Tabelas

Tabela I.....	101
Tabela II.....	109

Anexos

Anexo 1.....	117
Anexo 2.....	119
Anexo 3.....	122
Anexo 4.....	130
Anexo 5.....	136
Anexo 6.....	140
Anexo 7.....	144

1- INTRODUÇÃO

A precisão dos cálculos na Mecânica dos Solos é função de três fatores: da distribuição dos materiais, das propriedades do solo e do método de cálculo.

O método de cálculo deve cobrir todas as condições do projeto, considerando a geometria e as propriedades, de forma a chegar-se a soluções dotadas de segurança e economia.

A condição fundamental é a associação das propriedades físicas às leis matemáticas.

Com o advento do Método dos Elementos Finitos, tornou-se extremamente importante estabelecer uma modelização do solo tal que o comportamento tensão-deformação do solo fosse representado de forma mais realista.

Funções matemáticas representando o comportamento tensão-deformação através de parábolas; splines; funções tri-paramétricas (Hansen, 1963; Desai, 1971; Richard e Abott, 1975; Desai e Wu, 1976) e hipérboles (Kondner, 1963; Kulhawy e outros, 1969, 1970), tem sido estudadas com êxito.

O principal objetivo de tais estudos é dar informações da curva tensão-deformação não linear; essas curvas ou tendem assintoticamente para o infinito ou atingem uma tensão máxima que depois diminui.

A interpretação hiperbólica da curva tensão-deformação foi estudada por Kondner (1963). A relação tensão-deformação foi então expressa por duas constantes hiperbólicas e a tensão máxima atingida no ensaio, expressa por uma fórmula geral, como um limite matemático, quando as deformações se tornam excessivas.

A partir de dois novos conceitos: 1º) o comportamento hiperbólico da curva tensão-deformação (Kondner, 1963); 2º) a variação linear do logaritmo do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com o logaritmo da Tensão Confinante (Jambu, 1963), os pesquisado-

res Kulhawy e outros (1969) e Duncan e outros (1970), estudaram correlações entre os parâmetros.

A partir daí, a determinação do Módulo de Elasticidade Tangente, de importância fundamental na análise de estabilidade pelo Método de Elementos Finitos por Incrementos, passou a ser feita em função dos novos parâmetros de não linearidade e dependente de tensões.

A importância dessa nova metodologia tornou-se relevante quando esses parâmetros foram analisados para solos compactados (Kulhawy Duncan, Seed, 1969; e Kulhawy, 1975).

Para diversos materiais e, sob diferentes condições de peso específico aparente seco e umidade, os parâmetros de não linearidade, e dependente de tensões, adquirem valores diferentes.

Kulhawy (1975) destacou a importância dessas variações uma vez que, nos maciços, se trabalha sob diferentes condições de compactação; e apresentou uma série de resultados da variação dos parâmetros de não linearidade e dependente de tensões para um silte-argiloso arenoso, quando submetido a compactação por vibração, por amassamento e estática.

Na pesquisa aqui apresentada, o objetivo principal foi estudar a variação desses parâmetros em três materiais diferentes sob condições de compactação por vibração.

Assim, variando as condições de umidade e peso específico aparente seco, foram realizados ensaios triaxiais rápidos em três solos diferentes.

As curvas tensão-deformação obtidas foram interpretadas, pelo modelo não linear hiperbólico, recebendo um tratamento estatístico, a determinação das constantes hiperbólicas de Kondner (e outros).

A relação linear logarítmica entre, Módulos de Elasticidade Tangente Inicial e Tensões Confinantes, foi feita atra

vês de Regressão Linear.

Finalmente, através de Regressões Polinomiais, as variações dos parâmetros não lineares e dependentes de tensões, foram analisados em função das condições de peso específico aparente seco e umidade ótima para os três solos.

Nesta tentativa de contribuir com dados para essa nova metodologia de análise de tensões e deformações do solo, aqui reunimos resultados em função dos materiais e das condições com que conduzimos o trabalho.

2- CORRELAÇÕES HIPERBÓLICAS DA CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO

2.1- Parâmetros Hiperbólicos da Curva Tensão Deformação

O equacionamento da curva tensão-deformação dos solos tem sido uma preocupação constante dos pesquisadores, procurando generalizar o comportamento tensão-deformação numa lei única.

Uma das pesquisas foi feita por Kondner e outros (1963) que através de uma série de trabalhos destacaram a importância de interpretar-se toda curva tensão-deformação e não apenas a tensão de cisalhamento ou ruptura.

Dentro desse espírito, Kondner propôs a interpretação da curva como uma hipérbole, proposta esta, analisada pelo pesquisador em vários trabalhos.

Esse método de representação pode ser melhor entendido se antes forem feitas algumas considerações matemáticas.

Uma hipérbole retangular (como a apresentada na figura 1, página 11) passando pela origem dos eixos, equacionada em função das variáveis x e y , resulta:

$$x^2 - y^2 = c^2 = \text{constante.}$$

Sendo x' e y' as suas assíntotas, a representação em função dessas duas novas variáveis transladadas 45° das anteriores, pode ser:

$$x' \cdot y' = \frac{c^2}{2}$$

Tomando-se dois novos eixos respectivamente: σ paralelo a x' e ϵ paralelo a y' , eixos estes afastados das distâncias α e β respectivamente das assíntotas x' e y' , que poderão ser representadas como:

$$x' = \epsilon + \alpha \quad (\text{equação 1})$$

$$y' = \sigma - \beta \quad (\text{equação 2})$$

Nesse novo sistema de eixos teremos:

$$x' \cdot y' = \frac{c^2}{2} = \text{constante}$$

Por outro lado, teremos pelo produto das equações 1 e 2 que:

$$x'y' = \epsilon\sigma + \alpha\sigma - \epsilon\beta - \alpha\beta = -\alpha\beta$$

As assíntotas referidas aos eixos σ e ϵ serão então representadas por:

$$\epsilon + \alpha = 0$$

$$\sigma - \beta = 0$$

E a equação da hipérbole pode ser escrita em função da equação das assíntotas como:

$$\epsilon\sigma - \beta\epsilon + \alpha\sigma = 0$$

ou ainda $\frac{\epsilon}{\sigma} = a + b\epsilon$ (equação 3)

e $\sigma = \frac{\epsilon}{a+b\epsilon}$ (equação 4)

Onde os parâmetros a e b representam:

$$a = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$b = \frac{1}{\beta}$$

A hipérbole de forma mais objetiva em função apenas dos eixos σ x ϵ , é representada na figura 2, página 13. 11

O eixo σ representa as tensões e o eixo ϵ representa as deformações medidas nos ensaios de resistência ao cisalhamento.

Num ensaio de Compressão Triaxial com tensão confinante σ_3 , constante, o parâmetro σ representa a diferença de tensões $(\sigma_1 - \sigma_3)$ em (kg/cm^2) e o parâmetro ϵ a deformação específica axial.

Plotando a hipérbole da equação 3 num sistema de eixos $\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$ x ϵ , obtém-se:

Figura 1 - Hipérbole Retangular

Figura 2.- Comportamento Hiperbólico Tensão x Deformação

$$\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)} = a + b \epsilon \quad (\text{equação 5})$$

onde os parâmetros a e b representam respectivamente o intersepto com o eixo $\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$ e, o inverso da tangente do ângulo de inclinação da reta. Figura 3 (a e b) página 13.

O valor limite da tensão pode ser obtido tomando-se o limite da equação 4; e, para um ensaio de compressão triaxial, teremos:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} = \lim_{\epsilon \rightarrow \infty} \sigma = \frac{1}{b}$$

onde $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ representa a diferença de tensões limite teórica. Então, a resistência limite é medida pelo inverso da inclinação da linha reta dada na Figura 3b, página 13, ou seja, a tangente do ângulo de inclinação da reta, tangente λ , dá a resistência limite do solo.

Diferenciando-se a equação 4 em relação às deformações e avaliando a derivada para $\epsilon = 0$

$$\left(\frac{d \sigma}{d \epsilon} \right)_{\epsilon \rightarrow 0} = \frac{1}{a}$$

Então, o inverso do intersepto da linha reta no eixo $\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$ da figura 3b, página 13, é a medida do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i do solo.

A relação entre a diferença de tensões máxima e a diferença de tensões limites é o Índice de Ruptura,

$$R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}$$

onde $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ é a diferença de tensões realmente atingida pelo solo no ensaio. Essa relação dá uma idéia de quão próxima a curva tensão-deformação está da forma hiperbólica.

Cumprе destacar que o desenvolvimento matemático é

Figura 3a - Curva Hiperbólica - Tensão x Deformação

Figura 3b - Curva Tensão x Deformação, Transformada

bastante coerente, porém, é um processo que não é seguido completamente pela natureza (se assim fosse o problema tensão-deformação dos solos já não acarretaria mais discussões). Para contornar tal dificuldade alguns recursos foram usados, como serão vistos nos capítulos 6 e 7.

2.2. Dependência de Tensões

As características da curva tensão-deformação dos solos depende entre outros fatores das tensões confinantes de ensaio. A influência dessas tensões confinantes no comportamento do solo pode ser relacionada aos valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial e essa relação é convenientemente expressa pela fórmula sugerida por Jambu (1963).

$$E_i = K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (\text{equação 6})$$

onde

E_i = Módulo de Elasticidade Tangente Inicial

σ_3 = tensão confinante do ensaio

p_a = pressão atmosférica (usado apenas como fator de correção adimensional, e adotado nêsse trabalho como igual a 1 kg/cm^2)

K = valor numérico

n = valor numérico

Os valores de K e n são associados às idéias de rigidez relativa, e à variação dessa rigidez com σ_3 , respectivamente. Esses valores podem ser determinados plotando-se os valores de E_i e σ_3 em escala bilogarítmica e traçando uma linha reta através dos pontos obtidos, tal como é indicado na figura 4, página 15.

A relação entre a resistência à compressão e a pressão confinante pode ser expressa em termos do Critério de Ruptura

Figura 4 - Variação do Módulo de Elasticidade.

Tangente Inicial (E_i) com a Tensão Confinante (σ_3)

de Mohr-Coulomb como:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}} = \frac{2c \cos \phi + 2\sigma_3 \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (\text{equação 7})$$

onde c e ϕ são os parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, ou seja, a coesão e ângulo de atrito do solo.

As equações 6 e 7 quando combinadas com as relações hiperbólicas, fornecem um meio de relacionar tensões e deformações através dos cinco parâmetros K , n , c , ϕ e R_f .

2.3. Módulo Tangente

As relações não lineares tensão-deformação descritas nos itens anteriores podem ser usadas de forma muito conveniente no método de Elementos Finitos por Incrementos, porque é possível determinar-se a partir dessa relação o valor do Módulo de Elasticidade Tangente em qualquer ponto da curva tensão-deformação. Assumindo σ_3 constante, o Módulo de Elasticidade Tangente pode ser expresso $E_t = \frac{d(\sigma_1 - \sigma_3)}{d\epsilon}$

Diferenciando-se a equação (5) em ϵ teremos:

$$E_t = \frac{a}{(a + b\epsilon)^2}$$

Ou, expressando a e b em função dos parâmetros já definidos, Módulo de Elasticidade Tangente Inicial e Índice de Ruptura, teremos:

$$E_t = \frac{\frac{1}{E_i}}{\left\{ \frac{1}{E_i} + \frac{R_f \epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}} \right\}^2}$$

Nessa equação E_i é expresso em função da deformação (ϵ), mas pode ser também expresso em função de tensões ($\sigma_1 - \sigma_3$), disso resultando:

$$E_t = 1 - R_f \left\{ \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}} \right\}^2 E_i$$

Substituindo $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ dessa expressão pela equação 7 teremos:

$$E_t = 1 - \left\{ \frac{R_f (1 - \text{sen } \emptyset) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \emptyset + 2 \sigma_3 \text{sen } \emptyset} \right\}^2 E_i$$

Substituindo-se E_i dessa expressão pela equação 6 teremos:

$$E_t = \left\{ 1 - \frac{R_f (1 - \text{sen } \emptyset) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \emptyset + 2 \sigma_3 \text{sen } \emptyset} \right\}^2 K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n$$

Essa expressão, na Análise de Elementos Finitos, pode ser empregada ou para tensões efetivas ou para tensões totais.

A utilidade da última equação (Kulhawy, Duncan e Seed, 1969) resulta principalmente porque os parâmetros envolvidos na expressão podem ser determinados através de ensaios de laboratório. O trabalho necessário para determinar-se K , n e R_f , não é muito maior que o necessário para determinar-se c e $\emptyset$. Com esses parâmetros a Análise do Método de Elementos Finitos passa a ter um impulso significativo nas análises de solo.

Nosso trabalho foi o estudo dos parâmetros K , n , R_f e E_i para diferentes condições de compactação, em três solos diferentes.

3- PROGRAMAÇÃO DA PESQUISA

Resumindo as idéias expostas no capítulo anterior, podemos dizer que o modelo hiperbólico não linear de Kondner (1963), associado ao modelo dependente de tensões de Jambu (1963), pode, efetivamente, descrever variações do Módulo de Elasticidade de um solo em função de quaisquer condições de tensão.

Estudos recentes (Kulhawy, 1975) mostraram a grande versatilidade desse modelo, cujos parâmetros admitem grande variabilidade sob diferentes condições de compactação.

As avaliações quantitativas e, principalmente, qualitativas do comportamento tensão-deformação do solo, tornam-se úteis à análise de estabilidade pelo Método dos Elementos Finitos; tal comportamento foi expresso através dos parâmetros K, n, R_f , obtidos também em determinadas condições de umidade e peso específico seco.

3.1. Variáveis a Considerar

Cumprindo o objetivo de apresentar uma análise não só quantitativa, mas, principalmente, qualitativa, a pesquisa foi conduzida de forma a cobrir diferentes casos e várias condições.

Assim sendo, três solos da região de São Carlos de diferentes características foram escolhidos para o estudo.

Nesses três solos, foram compactados 76 séries de três corpos de prova, cada série com a mesma umidade inicial. As umidades iniciais de cada série de três variando em torno das umidades ótimas de cada material.

O grau de compactação de cada série de três corpos de prova foi calculado como a média aritmética dos Graus de compactação de cada um dos corpos de prova.

As ocorrências das diferenças entre Grau de Compactação

máximo e mínimo a cada três corpos de prova e as ocorrências dos desvios padrões em relação ao Grau de compactação médio de três corpos de prova, são mostrados nas figuras 5a e 5b, página 20.

Cada série de três corpos de prova foi submetida a ensaios de Compressão Triaxial Rápidos, com tensões confinantes, constantes $\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$, em cada corpo de prova.

3.2. Parâmetros Estudados

Para cada ensaio de Compressão Triaxial Rápido (para cada corpo de prova rompido), foram determinados os parâmetros: Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i , em kg/cm^2 e o índice de Ruptura, R_f de acordo com a interpretação hiperbólica dada no capítulo 7.

Os Módulos de Elasticidade Tangente Inicial, E_i (kg/cm^2) e as tensões confinantes σ_3 ($0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) lançados em gráficos bilogarítmicos, e interpretados também no capítulo 7, forneceram os parâmetros K e n para cada série de três ensaios (ou três corpos de prova).

Os estudos finais (capítulos 8, 9, 10) dizem respeito às variações dos parâmetros K e n com os parâmetros de compactação (w e GC) de cada solo; dos parâmetros E_i e R_f para cada solo, em função dos parâmetros de compactação (w e GC), considerados ou não as diferentes tensões confinantes σ_3 ($0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) e as variações de parâmetros entre si (E_i , K, n, σ_3), também para cada um dos três solos ensaiados.

Figura 5a - Ocorrências das variações entre o GCmáximo e mínimo a cada 3 corpos de prova

Figura 5b - Ocorrências dos desvios padrões em relação à média do GC de cada 3 corpos de prova

4- CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS ENSAIADOS

De acordo com estudos geológicos da região (Paraguassu, 1968) os três solos ensaiados foram classificados como sedimentitos modernos, gerados em grande parte à custa de material proveniente de duas unidades geológicas: as Formações Bauru e Botucatu.

Esses solos foram denominados respectivamente: Solo Pedreira- solo retirado do manto superficial de um basalto que é explorado como pedreira (daí o nome escolhido para identificação) , manto este classificado como um sedimento moderno, com influência da decomposição basáltica. Solo Creche - solo retirado de terreno da região urbana, onde se localiza a instituição da qual foi adotado o nome; solo este caracterizado por alterações recentes, sob a influência de intemperismos e movimentações próprias de terrenos urbanos. Solo Boçoroca - solo retirado de local onde ocorre o processo erosivo do mesmo nome.

Os três solos foram retirados de taludes e encostas dos terrenos, após a limpeza e desmantamento do local.

Foi mantida a preocupação de amostrar o solo que se apresentasse em condições aparentes as mais uniformes possíveis.

Nesses solos foram realizados, então, os ensaios de caracterização, para classificação e melhor conhecimento dos materiais sob o ponto de vista da Mecânica dos Solos.

4.1. Determinação do Peso Específico dos Sólidos

O peso específico dos sólidos, γ_s (g/cm³), foi determinado pelo processo usual de picnômetro. Além dos cuidados que normalmente devem ser tomados durante a execução do ensaio, procedeu-se a várias determinações (8 Pedreira ; 8 Creche ; 12 Boçoroca) e foi adotado o resultado médio obtido em cada caso. Assim sendo, tivemos:

Solo Pedreira	$\gamma_s = 2,954 \text{ g/cm}^3$
Solo Creche	$\gamma_s = 2,905 \text{ g/cm}^3$
Solo Boçoroca	$\gamma_s = 2,755 \text{ g/cm}^3$

4.2. Determinação da Curva Granulométrica dos Solos

Para determinação da curva de distribuição granulométrica dos três solos estudados, o método usado foi o de Granulometria Conjunta com Peneiramento e Sedimentação, pelo processo de densímetro e o defloculante usado foi o Hexametáfosfato de sódio.

Também neste caso foi executado mais de um ensaio (4 Pedreira ; 3 Creche ; 4 Boçoroca) e escolhido o melhor resultado, como representativo, da distribuição granulométrica de cada solo.

Essas curvas estão representadas na figura 6, página 23, e delas resultou a classificação granulométrica dos três solos.

Pedreira - argila areno-siltosa vermelho escuro

Creche - argila areno-siltosa vermelho médio

Boçoroca - areia argilosa pouco siltosa marron
 médio

4.3. Determinação dos Limites de Consistência dos Solos

Nos três solos foram executados os ensaios de Limites de Liquidez e Plasticidade.

Também neste caso, com uma exceção, foram feitas várias determinações no mesmo solo.

Para a determinação do Limite de Liquidez, foram lançados os pontos dos ensaios feitos (2 Pedreira ; 3 Creche ; 1

Figura 6 - Curvas Granulométricas dos 3 Solos

Boçoroca) em gráfico, Figura 7 (umidade x logaritmo do número de golpes), página 25, e a melhor reta passando por esses pontos. Os resultados encontrados foram:

Pedreira LL = 68%

Creche LL = 51%

Boçoroca LL = 31%

Na determinação do Limite de Plasticidade, as médias aritméticas das umidades de diversos ensaios (2 Pedreira ; 3 Creche ; 1 Boçoroca) forneceram:

Pedreira LP = 38%

Creche LP = 32%

Boçoroca LP = 15%

Tendo em mãos esses resultados, foram determinados os Índices de Plasticidade:

Pedreira IP = 30%

Creche IP = 19%

Boçoroca IP = 16%

4.4. Classificação dos solos

Com base nas curvas granulométricas, no sistema Unificado de Classificação dos Solos, segundo Casagrande, e outros ensaios realizados durante o desenvolvimento da pesquisa, os solos foram classificados como:

PEDREIRA - Grupo CH - argilas inorgânicas de alta plasticidade, baixa permeabilidade quando indeformado e impermeável quando compactado. Resistência seca alta e muito alta; dureza alta. Comportamento homogêneo.

CRECHE - Grupo CL/CH (condições limites -LL x IP, praticamente sobre a linha A) - argilas inorgânicas de plasticidade variável, baixa permeabilidade quando indeformado e impermeável quando compactado. Resistência seca de média a alta, dureza média a alta. Comportamento heterogêneo.

Δ Solo Pedreiro
 $\times$ " Creche
 $\circ$ " Boçoroca

Figura 7 - Determinação dos limites de liquidez
 dos solos Pedreiro, Creche e Boçoroca

BOÇOROCA- Grupo SC - areias argilosas, medianamente permeáveis quando indeformadas e baixa permeabilidade quando compactadas. Comportamento homogêneo.

4.5. Determinação dos Índices Físicos de Compactação Peso Específico Seco Máximo e Umidade Ótima.

Tendo como objetivo principal analisar os parâmetros hiperbólicos associados aos parâmetros dependentes das tensões em função de diferentes condições de compactação, os principais elementos a orientarem a pesquisa, evidentemente, foram as condições de Peso Específico Seco Máximo e Umidade Ótima de Compactação.

Para a determinação de tais índices físicos, foram realizados ensaios Proctor Normal, com reuso do solo, pelos métodos usuais de laboratório. Das curvas obtidas (Figura 8, página 27) foram considerados os seguintes índices:

PEDREIRA - Peso Específico Aparente Seco Máximo, $\gamma_d \text{ máx} = 1,435 \text{ g/cm}^3$

Umidade Ótima $w_{ot} = 33 \%$

CRECHE - Peso Específico Aparente Seco Máximo, $\gamma_d \text{ máx} = 1,630 \text{ g/cm}^3$

Umidade Ótima $w_{ot} = 26 \%$

BOÇOROCA - Peso Específico Aparente Seco Máximo, $\gamma_d \text{ máx} = 1,880 \text{ g/cm}^3$

Umidade Ótima $w_{ot} = 15 \%$

Figura 8 - Curvas de Compactação dos Solos Pedreira, Creche e Boçoroca

5. MÉTODO DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Com os valores dos Pesos Específicos Aparentes Secos Máximos ($\gamma_{d,m\acute{a}x}$) e Umidades Ótimas (w_{ot}), iniciou-se a fase de programação e execução dos ensaios da pesquisa.

Adotado um procedimento uniforme, foram executados ensaios de Compressão Triaxial Rápido em 228 corpos de prova (105 Pedreira, 69 Creche, 54 Boçoroca). Todos os ensaios foram executados a uma velocidade de deformação axial de 0,0253 mm/seg.

As deformações foram tomadas a intervalos de 0,2% até 3,2% daí a intervalos de 0,4% até 10,4% e daí a intervalos de 0,8% até 20% de deformação do corpo de prova.

Este critério usado, apoiou-se em investigações e pesquisas (Seed, Mitchel, Chan, 1960) que, inclusive, discutem a necessidade de, ao escolher-se o critério de ruptura em solos compactados, ser especificada a deformação correspondente, uma vez que a cada projeto se aplicam diferentes limites de deformação.

Nos ensaios realizados, a ruptura, na maioria das vezes era atingida antes da deformação de 20%.

Estes ensaios foram elaborados em corpos de provas de 5 cm de diâmetro e 12,5 cm de altura, em média; compactados em cinco camadas por processo dinâmico. A compactação foi feita em molde apropriado, de onde os corpos de prova eram retirados e imediatamente ensaiados.

O procedimento, em relação ao preparo do solo para compactação, foi também sempre uniforme, com determinação prévia da umidade natural, acréscimo do volume da água necessária para se atingir a umidade dentro dos intervalos de variação em torno da ótima, homogeneização do solo com a água e determinação dessa umidade logo antes da compactação, com três cápsulas. Preparado o solo, três corpos de prova foram compactados e em cada um deles executados os ensaios de Compressão Triaxial com tensões confinantes: 0,5;

1,5 ; 3,0 kg/cm², respectivamente. Após a ruptura, foram determinadas as unidades finais de cada corpo de prova também com três cápsulas para cada corpo de prova, notando-se em geral um secamento do material.

Antes do ensaio, cada corpo de prova foi medido e pesado, determinando-se os pesos específicos aparentes secos em função da umidade inicial obtida antes da compactação dos três corpos de prova.

Foram considerados, para efeitos de cálculo para os três corpos de prova rompidos a 0,5 ; 1,5 ; 3,0 kg/cm², uma umidade (a inicial) e um Grau de Compactação (a média aritmética dos três Graus de Compactação de cada um dos corpos de prova).

As variações do Grau de Compactação (adotada a média dos três corpos de prova) e as variações da umidade em relação à ótima, foram para os três solos:

- Solo Pedreira
- Grau de Compactação máximo atingido 98,9 %
- Grau de Compactação mínimo atingido 86,1 %

A variação em torno da umidade ótima:

$$w_{ot} - 5,3 \% \leq w \leq w_{ot} + 8,8 \%$$

- Solo Creche
- Grau de Compactação Máximo atingido 100,0 %
- Grau de Compactação Mínimo atingido 89,4 %

A variação em torno da umidade ótima:

$$w_{ot} - 4,2\% \leq w \leq w_{ot} + 3,7\%$$

- Solo Boçoroca
- Grau de Compactação Máximo atingido 98,8 %
- Grau de Compactação Mínimo atingido 91,9 %

A variação em torno da umidade ótima:

$$w_{ot} - 4,6\% \leq w \leq w_{ot} + 2,6\%$$

6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES DOS ENSAIOS REALIZADOS

As diferenças de tensões $(\sigma_1 - \sigma_3)$, em kg/cm^2 , as deformações específicas ϵ , em porcentagens, e o parâmetro $\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$ em cm^2/kg foram calculados (a partir das leituras de deformações do corpo de prova e das deformações da mola usada na Prensa de ensaio) através do computador, com programa elaborado para tal. Um exemplo desses resultados é apresentado no Anexo 1, que é uma transposição direta da listagem de resultados obtidos e processados.

Os gráficos

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm^2) x ϵ (%) e

$\frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$ (cm^2/kg) x ϵ (%) foram obtidos pelo sistema Plotter-Fortran e alguns de tais gráficos estão nas figuras 9a e 9b, 10a e 10b e 11a e 11b, páginas 31, 32, 33. Nessas figuras, as curvas estão representadas como o foram pelo Sistema Plotter-Fortran; apenas se procedeu a uma redução de tamanho para melhor apresentação. De posse de tais gráficos para os 228 ensaios, foi iniciada a fase de análise visual dos resultados obtidos.

Essa fase de trabalho confirmou uma situação pela qual já passaram todos aqueles que estudam o comportamento tensão-deformação do solo: o comportamento tensão-deformação de um solo não pode ser completamente teorizado, como uma curva expressa através de uma fórmula matemática.

Daí as inúmeras tentativas que se tem feito no campo, nem sempre serem bem sucedidas, mas que aperfeiçoam mais e mais as aproximações. Essas aproximações são justificáveis, uma vez que o material em questão, sendo elemento da natureza, de forma alguma admite que correlações definidas entre propriedades possam ser tabeladas, para uso automático em aplicações práticas.

Sendo assim, a análise visual anteriormente mencionada conduziu os estudos a uma metodologia de interpretação condizente

TRIAXIAL RAPIDO 52A

TENSÃO (kg/cm²)

Figura 9a - Curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm²) x ϵ (%) do Solo Pedreira

TRIAXIAL RAPIDO 52A

DEF / TENSÃO (100 x cm²/kg)

Figura 9b - Curva $\left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)$ (cm²/kg) x ϵ (%) do Solo Pedreira

TRIAXIAL RAPIDO 146

TENSÃO (kg/cm²)

Figura 10a - Curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm²) x ϵ (%) do Solo Creche

TRIAXIAL RAPIDO 146

DEF / TENSÃO (100 x cm²/kg)

Figura 10b - Curva $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})$ em (cm²/kg) x ϵ (%) do Solo Creche

TRIAxIAL RAPIDO 100

TENSÃO (kg/cm²)

Figura IIa - Curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm²) x ϵ (%) do Solo Boçoroca

TRIAxIAL RAPIDO 100

DEF. / TENSÃO (100 x cm²/kg)

Figura IIb - Curva $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})$ (cm²/kg) x ϵ (%) do Solo Boçoroca

com a de outros autores (Kulhawy, Duncan, Seed, 1969 ; Duncan e Chang, 1970) no sentido de admitir-se uma teoria, e, a seguir interpretar-se os resultados de ensaios de acordo com essa teoria, obtendo-se daí os parâmetros correspondentes, bem como a aderência desses resultados de ensaios à teoria admitida.

Básicamente, as curvas tensão-deformação dos ensaios deram origem a curvas $\frac{\text{deformação}}{\text{tensão}}$ x deformação como as dos tipos apresentadas nas figuras 12, 13, 14 e 15, páginas 35, 36, 37, 38.

As curvas da figura 12, página 35, foram, na sua grande maioria, observadas nos três tipos de solo. A curva da figura 13, página 36, apresentou-se em um ensaio do solo Pedreira e em apenas alguns ensaios do Solo Creche. A curva da figura 14, página 37, apresentou-se num ensaio do solo Pedreira, e em alguns ensaios do solo Creche e do solo Boçoroca.

A curva da figura 15, página 38, apresentou-se em vários ensaios do solo Pedreira, e em alguns ensaios do solo Creche.

Esses diferentes comportamentos das curvas tensão-deformação já haviam sido citados por outros autores (Kondner, 1963; Kulhawy, Duncan, Seed, 1969) com excessão do comportamento ilustrado na figura 13, página 36, que foi observado na pesquisa em questão e em ensaios realizados em outros trabalhos desenvolvidos nesta Escola, (Souto Silveira, 1964).

Essas diferenças podem ser justificadas pelas diversas condições de umidades e estados de compactação, bem como pelo comportamento não linear, que nos propomos estudar. Esse comportamento, como pode ser verificado, não é totalmente equacionável em função hiperbólica e essa tendência pode ser melhor constatada nos solos mais deformáveis (solos mais argilosos, Pedreira) do que nos solos menos deformáveis (solos mais arenosos, Boçoroca).

Os solos mais deformáveis quando compactados apresentam curvaturas mais acentuadas que a hipérbole, no início da curva tensão-deformação. O solo Creche, classificado como um solo ar

Figura 12 - Curvas Tensão x Deformação real e transformada do Ensaio 34 do Solo Creche

DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA / DIFERENÇA DE TENSÕES

Figura 13 - Curvas Tensão x Deformação real e transformada do Ensaio 25 do Solo Creche

Figura 14 - Curvas Tensão x Deformação real e transformada do Ensaio 114 do Solo Boçoroca

Figura 15 - Curvas Tensão x Deformação real e transformada
 do Ensaio 77-A do Solo Pedreira

giloso, se caracterizou durante toda a pesquisa como um solo heterogêneo, cujos resultados foram intermediários entre os dois outros.

A primeira interpretação dos dados foi, então, inicialmente considerando todos os pontos observados, desde o início de cada ensaio até a ruptura.

Traçar a reta de variáveis $\frac{\text{deformação}}{\text{tensão}}$ x deformação, com os casos apresentados, seria dar uma interpretação subjetiva a cada ensaio. Não só devido ao grande número de ensaios, que dificultariam a uniformidade da interpretação pessoal, mas também como justificativa mais científica das conclusões, foi adotado um critério estatístico: o estudo da Regressão Linear para os pares de valores $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})$ (cm^2/kg) x ϵ .

Para tal estudo foi elaborado um programa de computador a fim de fornecer os coeficientes A e B da regressão $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}) = A + B \epsilon$, as variáveis $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})$ (cm^2/kg) e ϵ , e parâmetros estatísticos de análise, ou seja, Variâncias, Desvios Padrões, Coeficientes de Correlação, Coeficientes de Significância, Intervalos de Confiança de A e B e os desvios das regressões:

$$\left\{ \left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} \right)_{\text{obs}} - \left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} \right)_{\text{calc}} \right\} / \text{desvio padrão}$$

Nessa primeira interpretação procurou-se um apoio matemático, uma vez que o exame visual não satisfazia completamente a condição de não linearidade dos pares $\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}$ (cm^2/kg) e ϵ . Entretanto a sucessão de desvios negativos no mesmo sentido para valores altos e baixos de ϵ e de desvios positivos num mesmo sentido para valores intermediários de ϵ , diminuiu a possibilidade de apoio matemático a tal procedimento. No Anexo 2, é apresentado um exemplo de cálculo.

De antemão, era sabido (e isso é ainda campo aberto na pesquisa tensão-deformação do solo) que as condições de contorno desse problema se encontravam no início da curva tensão-deformação.

Tentando coordenar essas interpretações com os dados obtidos nessa pesquisa, iniciamos um novo estudo matemático das curvas.

Nova análise estatística de Regressões Lineares foi feita partindo agora, não dos pares de valores iniciais, mas, sim, considerando:

1º) Os pares de valores $\left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)$ (cm^2/kg) x ϵ , a partir da condição onde tivesse sido atingido o valor de:

$0,30 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ até $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$, na curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm^2) x ϵ (%), onde $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ vem a ser diferença de tensões máxima, atingida na ruptura.

2º) Os pares de valores $\left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)$ (cm^2/kg) x ϵ , a partir da condição onde tivesse sido atingido o valor:

$0,50 \times (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ até $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$, na curva $(\sigma_1 - \sigma_2)$ (kg/cm^2) x ϵ (%).

3º) Os pares de valores $\left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)$ (cm^2/kg) x ϵ , a partir da condição onde tivesse sido atingido o valor $0,70 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ até $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$, na curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm^2) x ϵ (%).

Também nesse caso, os cálculos foram feitos através de computador com fornecimento dos parâmetros estatísticos.

Essa nova tentativa não se mostrou, contudo, satisfatória, mesmo cobrindo falhas da anterior.

Deparamos, nesse caso, com limitações pré-fixadas da curva $\left(\frac{\text{deformação}}{\text{tensão}} \times \text{deformação}\right)$, e antes mesmo dos resultados conclusivos, já se sentia o comportamento particular de cada solo.

Assim sendo, por exemplo, porcentagens altas da tensão de ruptura, no solo Boçoroca, eram atingidas a baixas deformações, ocorrendo o oposto no solo Pedreira.

Esse comportamento distinto, associado a diferentes condições de umidade e compactação do solo, criou a impossibilidade de demarcação dos trechos, na interpretação da análise estatística.

No Anexo 3 são fornecidos exemplos de cálculo do processo descrito acima.

Estudiosos do problema (Kulhawy, Duncan, Seed, 1969), para diminuir o grau de subjetividade envolvido no aspecto de interpretação do ensaio, adotaram certo procedimento para os dados, na curva ($\frac{\text{deformação}}{\text{tensão}}$ x deformação).

Nosso estudo, procurou então complementar o já feito por esses pesquisadores, adotado como aproximação bastante boa da curva tensão-deformação, considerando-a uma hipérbole, traçada com apoio em três pontos: a origem e os pontos onde 70% e 95% da resistência é mobilizada. Isto é acompanhado pela escolha da linha reta, na representação transformada, coincidindo com os dados reais correspondentes aos pontos 70% e 95% da resistência mobilizada.

Os resultados obtidos nos dois primeiros processos de cálculo, bem como o procedimento comprovadamente satisfatório, não são em pesquisas como em aplicações práticas feitas por outros autores, (Kulhawy, Duncan, Seed, 1969; Duncan, Chang, 1970), conduziu-nos a uma terceira tentativa, que cobriu as diferenças das duas anteriores. Foi então o critério adotado para a determinação dos parâmetros A e B da curva $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}) = A + B \epsilon$.

7. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIPERBÓLICOS

Dados os pares de valores, diferenças de tensões $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm^2) e deformações específicas ϵ (%), transformados nos pares de valores $\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}$ (cm^2/kg) e ϵ , consideramos a regressão linear dos pares de pontos $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})$ (cm^2/kg) x ϵ compreendidos entre $0,70 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ e $0,95 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ da curva $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm^2) x ϵ (%); onde $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ é a tensão de ruptura atingida no ensaio.

Obtida a regressão linear desses pares de pontos, isto é, $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}) = A + B \epsilon$, (onde $\epsilon / (\sigma_1 - \sigma_3)$, foi considerada a variável dependente, ϵ , a variável independente, e A e B coeficientes da regressão), foi calculada $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{calc}} = A + B \epsilon_{\text{obs}}$, onde ϵ_{obs} é o valor da deformação específica observada no ensaio para a tensão $(\sigma_1 - \sigma_3)$ imediatamente inferior a $0,70 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$. Em seguida o processo verifica se:

$$(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{calc}} - \text{desvio} < (\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{obs}} < (\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{calc}} + \text{desvio}$$

onde $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{obs}}$ é o valor da variável dependente da observada no ensaio, correspondente aos pares $(\sigma_1 - \sigma_3)$ x ϵ , observados.

Ocorrida a desigualdade, uma nova regressão era calculada com $n+1$ pontos, incluindo-se a essa nova regressão o par $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{obs}}$ e ϵ_{obs} , além dos n pares compreendidos entre $0,70 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ e $0,95 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$, ou seja o par de valores $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{obs}}$ e ϵ_{obs} imediatamente inferior aos n já tomados.

Nova regressão era assim obtida $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}) = A' + B' \epsilon$, para $n+1$ pontos.

Esse processo de análise é iterativo e prossegue até atingir o primeiro par $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{obs}}$ e ϵ_{obs} do ensaio, ou até ocorrerem as desigualdades:

$$(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{obs}} > (\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3})_{\text{calc}} + \text{desvio ou}$$

$$\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)_{\text{obs}} < \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)_{\text{calc}} - \text{desvio, quando então ele se encerra.}$$

O desvio de regressão, d , foi considerado para:

99% de confiança, $d = 2,57 \times$ desvio padrão de cada nova regressão calculada.

97,5% de confiança, $d = 2,24 \times$ desvio padrão de cada nova regressão calculada.

95% de confiança, $d = 1,96 \times$ desvio padrão de cada nova regressão calculada.

Esses cálculos e os testes de desigualdades também foram feitos por computador. No Anexo 4 são apresentados exemplos dessa última análise.

Neste último processo, além das medidas estatísticas que já se vinham realizando em todas as regressões, foram calculados, os valores percentuais das tensões $(\sigma_1 - \sigma_3)$ alcançadas pela regressão, em função da tensão máxima do processo iterativo, ao incluir pares de pontos, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{obs}} \times \varepsilon_{\text{obs}}$, que os novos desvios calculados permitiam.

Foi feita uma análise comparativa entre os coeficientes A e B das regressões $\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right) = A + B \varepsilon$, obtidos em cada ensaio, considerando os três graus de confiança entre esses coeficientes e os obtidos da regressão que levou em conta os pares de valores $\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right) \times \varepsilon$ desde o início do ensaio até a ruptura, que foi o primeiro critério de análise da curva, adotado, visto no capítulo 6.

Não só esta análise comparativa, mas a lógica estatística bem como a bagagem das pesquisas consultadas, citadas, permitiu confiança no critério de escolha. Assim sendo, os coeficientes A e B admitidos como representativos da regressão foram aqueles que consideraram os n pares de pontos compreendidos entre $0,95 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ e $0,70 (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$ mais os pares de pontos admitidos dentro do intervalo: $\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)_{\text{calc}} \pm 1,96 d$, ou seja, os pares de pontos cuja

regressão admitiu um comportamento linear, com 95% de confiança.

A Tabela I, página 101, fornece os ensaios realizados (caracterizados por números de identificação), os pesos específicos aparentes secos, γ_d , em (g/cm^3) de cada corpo de prova, as umidades iniciais, w_i em (%) de três corpos de prova; o Grau de Compactação (G.C.médio) de três corpos de prova, em (%); as tensões máximas de ruptura atingidas no ensaio $\sigma_{\text{máx}}$, em (kg/cm^2); as tensões confinantes σ_3 em (kg/cm^2) e que foram mantidas constantes no decorrer de cada ensaio; os coeficientes A e B representativos da regressão linear $\left(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}\right) = A + B \epsilon$, e a porcentagem de tensão com relação à máxima, % $\sigma_{\text{máx}}$, alcançada pela regressão, no processo iterativo. Queremos observar que, dependendo das condições de compactação e do solo, altas porcentagens da tensão máxima são atingidas a baixas deformações, ou seja, o par de pontos tensão-deformação correspondente ao início do ensaio, é muitas vezes uma tensão porcentualmente alta em relação à de ruptura.

Os parâmetros A e B obtidos através da regressão linear, passaram a representar os parâmetros:

E_i (kg/cm^2) = $\frac{1}{A}$ e σ_{ult} (kg/cm^2) = $\frac{1}{B}$ respectivamente o Módulo de Elasticidade Tangente Inicial e a Tensão Limite Teórica ou Diferença de Tensões Teórica, ($\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$).

A fase seguinte do trabalho, consistiu em lançar em gráfico bilogarítmico os parâmetros E_i (kg/cm^2) para cada três corpos de prova rompidos a tensões diferentes, baseada na relação linear:

$$\log E_i = \log K p_a + n \log \frac{\sigma_3}{p_a}$$

e considerando $p_a = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2$:

$$\log E_i = \log K + n \log \sigma_3$$

Novamente subtraindo-se à interpretação subjetiva, e com a facilidade do uso do computador, a determinação dos parâmetros K e n se fez através do cálculo estatístico de Regressão Li-

near, com programação elaborada para tal fim.

Os parâmetros estatísticos: Coeficiente de Correlação (medida de ajuste da linha dos mínimos quadrados), Coeficiente de Significância (medida da significância das variáveis entre si) com 95% de confiança, e os desvios padrões da regressão, justificaram plenamente os parâmetros E_i , adotados e sua correspondência com σ_3 através dos gráficos bilogarítmicos.

O Anexo 5, apresenta cálculos e exemplo de resultados.

A Tabela II, página 109, apresenta os ensaios, as umidades iniciais e os Graus de Compactação, médios de três corpos de prova, como na Tabela I e, ainda, o Módulo de Elasticidade Tangente Inicial (em kg/cm^2) calculado como $E_i = \frac{1}{A}$; a tensão limite teórica atingida no ensaio, em (kg/cm^2), calculada como $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ult}} = \frac{1}{B}$, a razão de ruptura R_f , calculada como $R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ult}}}$ e os coeficientes K e n calculados através da regressão linear $\log E_i = \log K + n \log \sigma_3$.

Nas figuras 16 a 21, páginas 47 a 52, estão apresentados, em escalas bilogarítmicas, os valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial (obtidos pelo processo de Regressão Linear, com 95% de confiança) e as Tensões Confinantes usadas nos ensaios.

As figuras 16 e 17, páginas 47 e 48, apresentam os resultados obtidos para o solo Pedreira; 18 e 19, páginas 49 e 50, para o solo Creche; e 20 e 21, páginas 51 e 52, para o solo Boçoroca.

Nessas figuras, cada reta resultante da regressão linear apresenta, nas extremidades, a mesma legenda usada para os três pontos lançados em função dos pares de valores E_i e σ_3 , de cada corpo de prova.

Nessa condição é possível notar um movimento dos grupos de retas que apresentam: 1º) um aumento dos valores de E_i com os aumentos de σ_3 , à umidades altas (acima da ótima), ou seja $n > 0$; 2º) uma uniformidade de valores de E_i com o aumento de σ_3 ,

para umidades próximas da ótima, onde $n \approx 0$, e 39) uma diminuição de valores de E_1 com o aumento de σ_3 , à umidades baixas (abaixo da ótima), ou seja $n < 0$.

Foram levados em conta, todos os ensaios realizados, inclusive nas condições de alta umidade dos solos argilosos, com plastificação muito acentuada, uma vez que os erros podem ser cobertos pelos recursos estatísticos. A confirmação dêsse parecer já se fez notar nesse primeiro agrupamento de resultados, numa análise geral dos mesmos.

No solo Boçoroca, a transição menos acentuada de comportamento, que nos outros dois solos, tanto para umidades maiores bem como e principalmente umidades menores que a ótima, pode ser justificada porque nos solos mais argilosos em média essa diferença atingiu 4% e, no solo mais arenoso, ela permaneceu em torno de 2,5%.

Além disso, no solo Boçoroca o grau de compactação tem uma influência tão ou quase tão acentuada que a umidade. O que não ocorre nos dois outros solos, mais argilosos, onde as maiores variações de valores dos parâmetros são devidas às variações de umidade. Ou seja, quanto maiores as diferenças de umidade em torno da ótima, mais visível é a variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_1 com a Tensão confinante, σ_3 .

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	41,8	86,1
*	37,4	85,2
O	37,3	90,4
$\square$	35,4	95,5
$\circ$	35,1	94,7
$\blacksquare$	35,0	94,4
X	34,6	94,8
∇	34,5	96,7
$\oplus$	34,2	89,7

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	33,9	90,1
*	33,8	89,6
O	33,6	93,3
$\square$	33,5	95,1
$\circ$	33,5	90,1
$\blacksquare$	33,2	97,4
X	33,0	96,0
∇	32,8	98,9
$\oplus$	32,8	95,2

Figura 16 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Pedreira

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	32,7	94,3
*	31,9	90,4
o	31,7	98,3
$\square$	31,4	94,5
$\emptyset$	31,3	92,5
$\blacksquare$	31,1	94,4
x	31,1	91,3
∇	30,8	90,0
$\odot$	30,6	99,2

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	30,6	98,8
*	30,4	94,6
o	30,0	94,8
$\square$	29,8	97,4
$\emptyset$	29,0	96,2
$\blacksquare$	28,7	95,5
x	28,5	96,4
∇	28,3	94,6

Figura 17 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Pedreira

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	29,7	93,1
*	28,2	89,6
○	27,5	94,4
□	27,3	98,5
◊	27,2	95,6
■	27,2	96,5

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	27,1	95,2
*	26,7	92,8
○	26,3	92,7
□	26,3	94,3
◊	26,2	89,4
■	25,9	90,6

Figura 18 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Creche

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	25,6	93,6
*	24,8	93,9
O	24,8	100,0
□	24,4	90,0
0	23,7	91,4
■	23,6	98,9

Legenda

	w (%)	GC (%)
Δ	23,2	91,0
*	22,8	97,5
O	22,8	91,5
□	22,2	100,0
0	21,8	96,4

Figura 19 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Creche

Figura 20 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Boçoroca

Figura 21 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial com a Tensão Confinante - Solo Boçoroca

8. VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIPERBÓLICOS COM OS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO

8.1. Critério adotado

O estado da arte na Aplicação do Método dos Elementos Finitos leva claramente à necessidade de definição dos parâmetros dos solos sempre acompanhados de uma faixa de variação, onde deve-se investigar a influência desta variação nos resultados dos cálculos.

Daí decorrem as dificuldades de definição de equações reológicas de estado, dos parâmetros reológicos, e a importância do desenvolvimento dos estudos nesse sentido.

Com esse objetivo foi conduzida a fase final da pesquisa: desenvolver estudos sobre a variação dos parâmetros hiperbólicos sob diferentes condições de compactação para os três solos.

Exporemos o procedimento neste capítulo e as conclusões serão deixadas para os posteriores.

Com os parâmetros K , n , R_f , E_1 , obtidos, pelo processo descrito no capítulo anterior, iniciou-se o traçado dos gráficos, ou seja para cada solo, foram lançados:

1º) Os valores dos GC(%) obtidos em função dos pares $K \times w$ (%).

Os valores das w (%) obtidas em função dos pares $K \times GC$ (%).

Os valores de K obtidos em função dos pares GC (%) $\times w$ (%).

A título ilustrativo, estão apresentados, nas figuras: 22a, página 54, valores dos Graus de Compactação para os pares K e w (umidade) de cada terno de ensaios ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$); 22b página 54, valores de w (umidade) para os pares K e GC (grau

Figura 22a - Valores dos GC(%) em função dos pares de parâmetros K e w(%) - Solo Pedreira

Figura 22b - Valores das w(%) em função dos pares de parâmetros K e GC(%) - Solo Pedreira

de compactação), também de cada terno de ensaios ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$). Nos dois casos, tratam-se de dados obtidos de ensaios do solo Pedreira; o mesmo esquema foi usado para os solos Creche e Boçoroca, que deixamos de ilustrar.

A distribuição dos valores de K obtidos em função dos pares GC (grau de compactação) e w (umidade), foram utilizados para interpretação.

2º) OS valores de GC (%) obtidos em função dos pares n x w (%).

Os valores de w (%) obtidos em função dos pares n x GC (%).

Os valores de n obtidos em função dos pares GC (%) x w (%).

A título ilustrativo estão apresentados, nas figuras: 23a, página 56, valores dos GC (grau de compactação) para os pares, n e w (umidade), de cada terno de ensaios ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$);

23b, página 56, valores das w (umidade) para os pares n e GC (grau de compactação), e também para cada terno de ensaios ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$).

Igualmente nessas figuras tratam-se de valores obtidos do solo Pedreira, e o mesmo esquema foi usado para os solos Creche e Boçoroca, que não estão ilustrados; e a interpretação, foi da distribuição de n em função dos pares GC (grau de compactação) x w (umidade).

3º) Para cada uma das três tensões confinantes σ_3 , foram lançados:

Os valores de GC (%) obtidos em função dos pares R_f x w (%).

Os valores de w (%) obtidos em função dos pares R_f x GC (%).

Os valores de R_f obtidos em função dos pares

GC (%) x w (%)

Figura 23a - Valores dos $GC(\%)$ em função dos pares de parâmetros n e $w(\%)$
Solo Pedreira

Figura 23b - Valores das $w(\%)$ em função dos pares de parâmetros n e $GC(\%)$ - Solo Pedreira

49) Considerando todos os valores de R_f , independente das tensões confinantes, σ_3 , foram lançados:

Os valores de GC (%) obtidos em função dos pares $R_f \times w(\%)$.

Os valores de $w(\%)$ obtidos em função dos pares $R_f \times GC(\%)$.

Os valores de R_f obtidos em função dos pares $GC(\%) \times w(\%)$.

A título ilustrativo estão apresentados:

na figura 24, página 58, valores do GC (grau de compactação) obtidos em função dos pares $R_f \times w$ (umidade), considerando-se cada uma das três tensões confinantes separadamente; e os valores obtidos, independente das tensões confinantes,

na figura 25, página 59, valores de w (umidade) obtidos em função dos pares, $R_f \times GC$ (grau de compactação), considerando-se cada uma das três tensões confinantes separadamente, e os valores obtidos independente das tensões confinantes.

Esses valores foram obtidos do solo Creche e procedimento análogo foi feito nos solos Pedreira e Boçoroca, que não estão ilustrados.

A interpretação, como nos casos anteriores, foi feita considerando-se a distribuição dos valores de R_f obtidos em função dos pares GC e $w(\%)$.

59) Para cada uma das três tensões confinantes σ_3 , foram lançadas ainda:

Os valores dos GC (%) obtidos em função dos pares: $E_i \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times w(\%)$.

Os valores dos $w(\%)$ obtidos em função dos pares: $E_i \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times GC(\%)$.

Os valores de $E_i \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ obtidos em função dos pares: $GC(\%) \times w(\%)$.

69) Considerando-se todos os valores de R_f , inde

UMIDADE w (%)

$\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$

UMIDADE w (%)

$\sigma_3 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

UMIDADE w (%)

$\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$

UMIDADE w (%)

$\sigma_3 = 5.0 \text{ kg/cm}^2$

Figura 24 - Valores dos GC(%) em função dos pares de parâmetros R_f e w (%) considerando as tensões confinantes diferentes separadamente e simultaneamente - Solo Creche

Figura 25 - Valores das $w(\%)$ em função dos pares de parâmetros R_f e $GC(\%)$ considerando as tensões confinantes diferentes separadamente e simultaneamente - Solo Creche

pendente das tensões confinantes, σ_3 :

Os valores dos GC (%) obtidos em função dos pares: E_i (kg/cm^2) x w (%).

Os valores das w (%) obtidos em função dos pares: E_i (kg/cm^2) x GC (%).

Os valores de E_i (kg/cm^2) obtidos em função dos pares: GC (%) x w (%).

Na figura 26, página 61, estão apresentados valores do Grau de Compactação, GC (%), em função dos pares Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i (kg/cm^2) e umidade, w (%) para cada uma das tensões confinantes ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) usadas nos ensaios.

Na figura 27, página 62, estão apresentados valores de umidade, w (%), em função dos pares Módulo de Elasticidade Tangente Inicial E_i (kg/cm^2) e Grau de Compactação, GC(%), para cada uma das tensões confinantes ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) usadas nos ensaios.

Na figura 28a, página 63, estão apresentados os valores dos Graus de Compactação, GC (%), obtidos para os pares Módulo de Elasticidade Tangente Inicial E_i (kg/cm^2) e umidade w (%), independente das tensões confinantes de ensaio.

Na figura 28 b, página 63, estão apresentados valores das umidades w(%), em função dos pares, Módulo de Elasticidade Tangente Inicial E_i (kg/cm^2) e Graus de Compactação GC (%) , independente das tensões confinantes, σ_3 .

Os dados usados para ilustração dos valores obtidos de E_i (figuras 26, 27, 28a, 28b, páginas 61, 62, 63), foram do solo Boçoroca; o mesmo procedimento foi feito para os solos Pedreira e Creche, que deixamos de ilustrar.

A interpretação desses parâmetros foi feita também baseada na distribuição dos valores de E_i (kg/cm^2) em função dos pares Grau de Compactação, GC (%) e umidade w(%).

Figura 26 - Valores dos GC(%) em função dos pares de parâmetros E_i (kg/cm²) e w (%) considerando cada tensão confinante $\sigma_3 = 0,5; 1,5; 3,0$ kg/cm² - Solo Boçoroca

Figura 27 - Valores das $w(\%)$ em função dos pares de parâmetros $E_i(\text{kg/cm}^2)$ e $GC(\%)$ considerando cada tensão confinante $\sigma_3 = 0.5; 1.5; 3.0 \text{ kg/cm}^2$ - Solo Boçoroca

FIG.28a - VALORES DOS GC(%) EM FUNÇÃO DOS PARES E_i (kg/cm²) e w(%) SOLO BOÇOROCA

FIG.28b - VALORES DAS w(%) EM FUNÇÃO DOS PARES E_i (kg/cm²) e GC(%) SOLO BOÇOROCA

8.2. Interpretação dos Resultados Obtidos

A tentativa de ao simples exame visual, lançar curvas de variação dos parâmetros K , n , R_f , E_i em função dos pares $GC(\%)$ x $w(\%)$ mostrou-se viável, porém, com esse procedimento, as leis matemáticas das variações dos parâmetros não seriam determinadas.

Evitando posteriores discussões em torno da subjetividade do método, novamente voltamo-nos para o recurso matemático e impessoal da análise estatística e considerando os parâmetros K , n , R_f , E_i como variáveis dependentes; e a umidade $w(\%)$ e o Grau de Compactação $GC(\%)$, ou peso específico aparente seco, $\gamma_d(g/cm^3)$ como variáveis independentes, cerca de 120 regressões do 1º, 2º, 3º e 4º graus foram estudadas. No Anexo 6 apresentamos exemplo do processo.

O critério seletivo das leis de variação dos parâmetros hiperbólicos em função dos parâmetros de compactação foi baseado, não só no coeficiente de significância de cada regressão, como na análise visual da distribuição de valores.

Esse conjunto de análise se tornou necessária porque, mais de um polinômio apresentou alto grau de significância e convinha ser feita uma escolha da melhor lei de variação, se bem que esta, quase invariavelmente, caísse sobre o polinômio, que maior coeficiente de significância apresentasse.

Na figura 29, página 65, estão apresentados os valores do parâmetro K em função dos pares: Grau de Compactação, $GC(\%)$ x umidade, $w(\%)$, e as leis de variação, determinadas através das regressões polinomiais estatísticas para os três solos.

As leis de variação obtidas foram as mesmas, apresentando curvas que mudam gradativamente para cada um deles. No solo Pedreira (o mais argiloso), a variação praticamente independe do G.C., dependência essa que passa a ser ligeiramente significativa

$$K = -2509,8 + 4227,6 Y_D - 1318,5 Y_D^2 - 15,4 w Y_D$$

Solo Pedreira - $\gamma_{Dm\acute{a}x} = 1,435 \text{ g/cm}^3$

$$K = -18311 + 24678,8 Y_D - 6778,5 Y_D^2 - 81,7 w Y_D$$

Solo Creche - $\gamma_{Dm\acute{a}x} = 1,630 \text{ g/cm}^3$

$$K = -397394,5 + 442814,3 Y_D - 121388,4 Y_D^2 - 172,6 w Y_D$$

Solo Boçoroca - $\gamma_{Dm\acute{a}x} = 1,880 \text{ g/cm}^3$

Figura 29 - Variação do parâmetro K em função dos pares GC(%) e w(%)

no solo arenoso. No solo Pedreira, a variação dos valores de K se dão no sentido crescente, à medida que as umidades diminuem.

O valor de K é crescente com o decréscimo de umidade também no solo Creche e Boçoroca; mas, aí, o comportamento do parâmetro passa a depender mais do G.C., à medida que a granulometria aumenta.

Na figura 30, página 67, estão apresentadas a distribuição do parâmetro n em função dos pares: Grau de Compactação, GC (%) x umidade w (%), e as leis de variação determinadas através das regressões polinomiais estatísticas, para os três solos.

A variação do parâmetro n apresentou condições distintas para os solos argilosos e arenoso.

Nos solos mais argilosos (Pedreira e Creche) o valor de n é zero próximo da umidade ótima; é negativo a umidades mais baixas que a ótima; e é positivo a umidades mais altas que a ótima.

O grau de compactação também parece influir pouco no valor de n, nesses dois solos.

No solo Boçoroca, os valores de n dependem tanto do grau de compactação quanto da umidade, e os valores positivos atingidos são em muito maior número que os negativos.

Os valores do parâmetro R_f obtidos em função dos pares, Grau de Compactação GC (%) e umidade w (%), e as leis de variação determinadas através das regressões polinomiais estatísticas, considerando as três tensões confinantes ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) separadamente e sem considerar as tensões confinantes, estão apresentados nas Figuras 31, página 71, para o solo Pedreira; figura 32, página 72, para o solo Creche; e Figura 33, página 73 para o solo Boçoroca.

O parâmetro $R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ult}}}$, segundo os estudiosos no assunto (Kulhawy, Duncan, Seed, 1969; Kulhawy, 1975) varia de 0 a 1 e é uma medida do grau de não linearidade da curva tensão-

$$n = 39,8 - 1,293w - 34,9Y_D + 1,099wY_D$$

Solo Pedreira - $Y_{D\text{máx}} = 1,435 \text{ g/cm}^3$

$$n = -6,233 + 0,263Y_D - 0,0668wY_D^2$$

Solo Creche - $Y_{D\text{máx}} = 1,630 \text{ g/cm}^3$

$$n = -1,853 - 0,587w + 0,406wY_D^2$$

Solo Boçoroca - $Y_{D\text{máx}} = 1,880 \text{ g/cm}^3$

Figura 30 - Variação do parâmetro $n(x10^3)$ em função dos pares GC(%) e w(%)

deformação; altos valores de R_f indicam um alto grau de não linearidade e vice-versa.

A solução adotada nesse trabalho para determinação dos coeficientes A e B, através de Regressão Linear dos pontos $(\frac{\epsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}) \times \epsilon$, obtidos a partir dos valores de ensaio permitiram que os parâmetros R_f obtidos fossem sempre valores elevados.

De uma maneira geral, pode-se notar a influência tanto da umidade como do grau de compactação, na variação do parâmetro R_f .

É interessante observar que as variações do parâmetro, estão condicionados também às variações das diferentes tensões confinantes.

Para o solo Pedreira, figura 31, página 71, com $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$ o valor de R_f aumentou com os decréscimos de umidade e acréscimos do Grau de Compactação e inverteu o comportamento para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$. Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$, os valores de R_f oscilam entre valores altos, variáveis com o grau de compactação e a umidade.

Quando considerada a variação do parâmetro R_f independente das tensões σ_3 , essa depende muito mais do grau de compactação que da umidade, em consequência das variações das três condições, a tensões diferentes, expostas acima.

Para o solo Creche, figura 32, página 72, com $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$ o valor do parâmetro decresce com o aumento da umidade; invertendo esse comportamento para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$, à semelhança do solo Pedreira, figura 31, página 71. Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$ os valores de R_f aumentam em função da umidade e do Grau de Compactação, simultaneamente.

Para o solo Creche, figura 32, página 72, levando em conta os valores de R_f , obtidos independente das tensões confinantes, o parâmetro aumenta com a umidade, sofrendo pouca influência do grau de compactação.

Para o solo arenoso, figura 33, página 73 , o parâmetro R_f , aumenta com a umidade exceto quando o corpo de prova foi submetido à tensão confinante $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$, quando, então, a variação passou a depender quase que apenas do grau de compactação.

Para esse solo, figura 33, página 73 , o parâmetro R_f sofre maior influência da umidade e aumenta com ela, quando se consideram os valores obtidos independentes de σ_3 .

Os resultados obtidos, considerando essa última condição, é de uma maneira geral consequente das variações consideradas para as três tensões separadamente; ou sejam as condições predominantes nas três tensões separadamente são aquelas que correspondem à independente das tensões σ_3 .

Os valores do parâmetro E_i obtidos, em função dos pares, grau de compactação GC (%) e umidade w (%), e as leis de variação determinadas através das regressões polinomiais estatísticas, considerando as três tensões confinantes ($\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$) separadamente e os valores de E_i , obtidos independentes das tensões σ_3 estão apresentadas nas figuras 34, página 74 , para o solo Pedreira; Figura 35, página 75 , para o solo Creche; e figura 36, página 76 , para o solo Boçoroca.

Para os solos argiloso, figuras 34 e 35, páginas , a influência da umidade é muito maior que do grau de compactação, na variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, e apenas quando a tensão confinante de ensaio é de $3,0 \text{ kg/cm}^2$ há influência notável, do grau de compactação.

De maneira geral esse parâmetro aumenta com o decréscimo da umidade.

Para solo arenoso, figura 36, página 76 , a influência do grau de compactação é quase tão importante quanto a umidade, principalmente a tensões confinantes maiores que 1 kg/cm^2 ($\sigma_3 = 1,5 \text{ e } 3,0 \text{ kg/cm}^2$). O parâmetro E_i sofre acréscimos, com o decréscimo da umidade, e aumento do grau de compactação, simulta-

neamente.

Nos três solos, os resultados obtidos independente das tensões σ_3 , variam em função das condições que predominam para as três tensões, separadamente.

Ou seja, para os solos argilosos, figuras 34 e 35, páginas 74 e 75, o parâmetro E_i cresce com o decréscimo da umidade, sofrendo pouca influência do grau de compactação. No solo Boçoroca, arenoso, figura 36, página 76, o parâmetro E_i , aumenta com o decréscimo da umidade e o aumento do grau de compactação, simultaneamente.

Em paralelo à análise de variação dos parâmetros K , n , R_f , E_i , foi feito também um estudo sobre a variação dos parâmetros entre si. Foram lançados em gráficos os valores obtidos para

$\frac{E_i}{K p_a}$ em função de n , para cada tensão confinante σ_3 (0,5 ; 1,5 ; 3,0 kg/cm²) e estudadas as leis de variação desses parâmetros.

Nas figuras 37, 38, 39, páginas 77, 78 e 79, respectivamente, para os solos Pedreira, Creche, Boçoroca) estão apresentadas as distribuições dos pontos obtidos, bem como as leis de variação determinadas pelo processo de regressão polinomial estatística. No Anexo 7 se encontram os resultados de cálculos dessas regressões estudadas.

$$R_f = -15,12 + 22,4 Y_d - 76,5 Y_d^2 - 0,0002 w^2 Y_d^2$$

$$R_f = 26,7972 - 0,79009 w - 19,4544 Y_d + 0,59183 w Y_d$$

$$R_f = -7,549 + 11,198 Y_d - 3,993 Y_d^2 + 0,000276 w^2 Y_d^2$$

$$R_f = -9,05436 + 13,5826 Y_d - 4,67122 Y_d^2 + 0,000032 w^2 Y_d^2$$

Figura 31 - Valores dos parâmetros $R_f \times 10^3$ em função dos pares GC(%) x w(%) - Solo Pedreira, $Y_{d \text{ máx}} = 1,435 \text{ g/cm}^3$

Para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Rf = -1,1682 - 0,00593 w Y_D$$

Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Rf = 0,2761 + 0,01089 w + 0,5985 Y_D$$

Para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

$$Rf = -16,0295 + 21,1989 Y_D - 6,734 Y_D^2 + 0,000187 w^2 Y_D^2$$

$$Rf = 0,657 + 0,007 w Y_D$$

Figura 32 - Valores dos parâmetros $Rf \times 10^3$ em função dos pares $GC(\%) \times w(\%)$ - Solo Creche, $Y_{D\text{máx}} = 1,630 \text{ g/cm}^3$

Para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

$$R_f = 9,7707 - 9,0807 Y_d - 2,2411 Y_d^2 + 0,000334 w^2 Y_d^2$$

Para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = 1769,65 + 248,123Y_d - 181,348Y_d^2 - 49,290w$$

Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = 379,05 - 6,584wY_d$$

Para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = -8101,89 + 10989,08Y_d - 3750,63Y_d^2 + 7,007w$$

$$Ei = -3067,2 + 5246,6Y_d - 1835,4Y_d^2 - 16,64w$$

Figura 34 - Valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, Ei (kg/cm²) em função dos poros GC(%) x w(%) Solo Pedreira, $Y_{d\text{máx}} = 1,435 \text{ g/cm}^3$

Para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

$$E_i = -34245,55 + 50676,27Y_d - 15779,96Y_d^2 - 229,055w$$

Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

$$E_i = -1605,40 + 22159,28Y_d - 6508,57Y_d^2 - 85,812w$$

Para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

$$E_i = 3414,29 - 234,87w + 2,921w^2Y_d$$

$$E_i = 26302,4 + 3640,2Y_d - 11152,9Y_d^2 - 108,6w$$

Figura 35 - Variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i (kg/cm²) em função dos pares GC(%) x w(%)
Solo Creche, $Y_{d \text{ máx}} = 1,630 \text{ g/cm}^3$

Para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = -258014,7 + 297210,5 Y_d - 83261,07 Y_d^2 - 388,337 w$$

Para $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = -427652,7 + 473629,1 Y_d - 129307,5 Y_d^2 - 250,172 w$$

Para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

$$Ei = -395192,7 + 430664,6 Y_d - 115743,3 Y_d^2 - 190,95 w$$

$$Ei = -360319,9 + 400538,5 Y_d - 109447,6 Y_d^2 - 276,5 w$$

Figura 36 - Valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, $Ei(\text{kg/cm}^2)$ em função dos pares $GC(\%) \times w(\%)$
Solo Boçoroca, $Y_{d\text{máx}} = 1,880 \text{ g/cm}^3$

Figura 37 - Distribuição dos pares $Ei/Kpa \times n$ para as 3 Tensões Confinantes - Solo Pedreira

Figura 38 - Distribuição dos pares $Ei/Kpa \times n$ para as 3 Tensões Confinantes - Solo Creche

Figura 39 - Distribuição dos pares $E_i/Kpa \times n$ para as 3 Tensões Confinantes - Solo Boçoroca

9. CONCLUSÕES

Com relação a variação dos parâmetros entre si, (figuras 37, 38, 39, páginas 77, 78 e 79) pode-se observar, de maneira geral, para os três solos que:

- para $\sigma_3 > 1 \text{ kg/cm}^2$, os valores de $\frac{E_i}{K p_a}$ crescem quando os valores de n aumentam algêbricamente e
- para $\sigma_3 < 1 \text{ kg/cm}^2$, os valores de $\frac{E_i}{K p_a}$ decrescem, com os valores de n , crescendo algêbricamente.

Pode-se notar uma distribuição bastante nítida dos pontos para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$, nos três solos, figuras 37, 38, 39, páginas 77, 78 e 79.

Para $\sigma_3 > 1,0 \text{ kg/cm}^2$ e $n > 0$ a distribuição, porém, é nítida, apenas para os solos Pedreira e Creche, figuras 37 e 38, páginas 77 e 78.

Esse comportamento já podia ser notado na distribuição das retas $\log E_i = \log K + n \log \sigma_3$, coerente nos solos Pedreira e Creche, contudo difusa no solo Boçoroca.

Nas figuras 40 e 49, páginas 84 a 93, estão indicadas as variações dos parâmetros hiperbólicos com os parâmetros de compactação para os três solos estudados. Para maior facilidade de interpretação, estão também indicadas, nessas figuras, as curvas dos ensaios de compactação Proctor Normal, de cada um dos solos considerados.

O parâmetro K , figura 40, página 84, é menor nos solos argilosos que nos solos arenosos e decresce com o aumento da umidade.

Nos solos argilosos, o parâmetro K , praticamente varia apenas em função da umidade; no solo arenoso, o parâmetro K sofre certa influência do Grau de Compactação, além da influência da umidade.

A variação do parâmetro n , na figura 41, página 85 é bastante distinta quando se trata dos solos argilosos ou arenoso.

Para os primeiros, solos Pedreira e Creche, o parâmetro n é zero, em umidades próximas da ótima e apresenta valores positivos acima da umidade ótima e valores negativos abaixo da umidade ótima.

Isso demonstra o acréscimo dos valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i , com a tensão confinante σ_3 , à umidades acima da ótima e decréscimo de E_i com σ_3 , para umidades abaixo da ótima.

Essa conclusão sobre o parâmetro n não foi totalmente inesperada, uma vez que no trabalho de Kulhawy, Duncan e Seed, 1969, há uma citação de comportamento semelhante para uma argila silto-sa.

No solo arenoso, Boçoroca, o parâmetro n sofreu a influência tanto do grau de compactação como da umidade. Os valores de n sendo, em sua grande maioria, positivos, indicam a variação do parâmetro E_i crescente com a tensão confinante, e parece aumentar com o grau de compactação e umidade, simultaneamente.

Para valores baixos de umidades e de graus de compactação, o Módulo de Elasticidade Tangente Inicial é quase constante, independente das tensões confinantes, σ_3 , ou seja $n = 0$.

Uma consideração a ser feita com relação a variação do parâmetro n , aqui, é a de que o solo arenoso, quando bem compactado e próximo das condições de saturação assume um comportamento mais semelhante ao dos solos argilosos.

Outra consideração, conclusiva, é a de que o tamanho das partículas determinou comportamentos bastante diferentes para os solos estudados, a umidades baixas.

Para o parâmetro R_f (figuras 42, 43, 44, 45, páginas 86, 87, 88, 89) de uma maneira geral os valores encontrados foram altos.

De acordo com a bibliografia (Kulhawy, Duncan e Seed, 1969; Kulhawy e Withiam, 1975) são considerados valores altos $R_f > 0,75$.

Sendo o Índice de Ruptura, $R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{ult}}}$ um valor indicativo de quão hiperbólica é a curva tensão-deformação, a metodologia usada nesse trabalho parece ter conduzido a bons resultados.

Quanto à variação de R_f em função dos parâmetros de compactação, de acordo com Kulhawy e Withiam, 1975, cresce de importância à medida que R_f aumenta. E ainda, que R_f varia inversamente com o parâmetro K ; isto é, enquanto K decresce com acréscimos de umidade, R_f aumenta com ela.

Mediante tais considerações podemos destacar que, poucos foram os valores de $R_f < 0,75$, e que os mesmos ocorreram praticamente todos no solo Pedreira; na figura 42, página 86, onde estão as variações de R_f com os parâmetros de compactação dos três solos, independente de σ_3 , há acréscimos de R_f com a umidade, a não ser no solo Pedreira, onde R_f cresce com o grau de compactação.

Para as variações de R_f , com os parâmetros de compactação, considerada cada uma das tensões σ_3 separadamente figuras 43, 44, 45, páginas 87, 88, 89, parece difícil estabelecer uma coerência no comportamento, para uma determinada tensão σ_3 , seja considerando a variação granulométrica dos materiais, seja considerando um determinado material e variando as tensões σ_3 .

Parece mais lógico admitir-se que os valores de R_f se mantiveram altos e que suas variações com os parâmetros de compactação não são relevantes; a não ser no sentido que, as leis de variação podem mudar quando se trata de certos solos, como o solo Pedreira, argiloso e homogêneo.

Finalizando, foi feita a análise da variação do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i , com os parâmetros de compactação, figuras 46, 47, 48, 49, páginas 90, 91, 92, 93, para um

estudo comparativo com outros métodos (Souto Silveira, 1964).

Os valores do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, E_i , obtidos independente das tensões confinantes nos ensaios figura 46, página 90, decrescem com os acréscimos de umidade; os valores obtidos, são maiores para os solos arenosos que para os solos argilosos.

Estas conclusões são semelhantes às feitas em outros trabalhos (Souto Silveira, 1964), onde foi adotada a interpretação linear da curva tensão-deformação, para determinação de E_i .

Os parâmetros K , E_i (figuras 40, 46, páginas 84 e 90) nesse estudo, seguem as mesmas leis de variação com os parâmetros de compactação.

À semelhança da análise feita para o parâmetro R_f , foram feitas para o parâmetro E_i : análises das variações com os parâmetros de compactação (figuras 47, 48, 49, páginas 91, 92, 93) a tensões diferentes.

Para $\sigma_3 = 0,5$ e $1,5 \text{ kg/cm}^2$, figuras 47, 48, páginas 91 e 92, as variações de E_i seguiram aproximadamente as mesmas leis, para cada um dos diferentes solos. Houve acréscimo de E_i com o decréscimo de w .

Para $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$, E_i varia mais em função do Grau de Compactação que da umidade, também para os três materiais: Pedreira, Creche e Boçoroca.

Os valores de E_i obtidos a tensões confinantes diferentes, também são menores para os solos argilosos que para o solo arenoso.

Para os solos argilosos, valores de E_i , obtidos para $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$ foram maiores que os obtidos para $\sigma_3 = 1,5$ e $3,0 \text{ kg/cm}^2$.

Esse comportamento já era evidente nas figuras 16 a 19, páginas 47 a 50, no traçado das retas $\log E_i = \log K + n \log \sigma_3$

Figura 40 - Variação do parâmetro K em função dos pares γ_d (g/cm³) x w (%) junto com a curva de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca

Figura 41 - Valores do parâmetro n em função dos pares $\gamma_d(g/cm^3) \times w(\%)$ junto com a curva de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca

Figura 42 - Valores do parâmetro R_f em função dos pares Y_d (g/cm³) x w (%) junto com as curvas de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca

Figura 43 - Valores do parâmetro R_f em função dos pares $\gamma_d(\text{g/cm}^3) \times w(\%)$ junto com a curva de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob a tensão confinante $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

Figura 44 - Valores do parâmetro R_f em função dos pares Y_d (g/cm³) x w (%) junto com a curva de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob tensão confinante $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

Figura 45 - Valores do parâmetro R_f em função dos pares $Y_d (g/cm^3) \times w(\%)$ junto com a curva de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob a tensão confinante $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

Figura 46 - Valores dos Módulos de Elasticidade Tangentes Iniciais, E_i (kg/cm²) em função dos pares γ_d (g/cm³) x w (%) junto com as curvas de compactação Proctor Normal dos 3 Solos, Pedreira, Creche e Boçoroca

Figura 47 - Valores dos Módulos de Elasticidade Tangentes Iniciais, E_i (kg/cm^2) em função dos pares γ_d (g/cm^3) x w (%) junto com as curvas de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob a tensão confinante $\sigma_3 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$

Figura 48 - Valores dos Módulos de Elasticidade Tangentes Iniciais, E_i (kg/cm^2) em função dos pares Y_d (g/cm^3) x w (%) junto com as curvas de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob a tensão confinante $\sigma_3 = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

Figura 49 - Valores dos Módulos de Elasticidade Tangentes Iniciais, E_i (kg/cm^2) em função dos pares γ_d (g/cm^3) x w (%) junto com as curvas de compactação Proctor Normal dos 3 Solos Pedreira, Creche e Boçoroca - Valores obtidos sob a tensão confinante $\sigma_3 = 3,0 \text{ kg/cm}^2$

10. RESUMO DAS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De uma maneira geral, o processo de interpretação, hiperbólica da curva tensão-deformação para solos compactados pode ser um instrumento de grande utilidade no processo de avaliação de tensões e deformações, desde que coerentes.

Uma vez que três tipos de solos foram estudados, dois dos quais (Pedreira e Boçoroca) homogêneos, porém, fundamentalmente diferentes entre si e o terceiro (Creche), um solo caracterizado principalmente pela sua heterogeneidade, foi possível certa amplitude de análise das variações dos parâmetros.

Convém destacar, mais uma vez, que poucos são os dados que se tem do estudo hiperbólico da curva tensão-deformação de solos argilosos e homogêneos como o solo Pedreira. Na sua grande maioria, a bibliografia (Kondner, 1963; Kulhawy, Duncan e Seed, 1969, Duncan e Chang, 1970; Lacerda, 1974; Kulhawy, 1975) trata de solos siltosos e arenosos.

Tendo em mãos estudos do comportamento linear da curva tensão-deformação (Souto Silveira, 1964) para dois solos tipicamente arenoso e argiloso, compactados, mostrou-se válida a continuidade de uma pesquisa, considerando uma nova interpretação da curva tensão-deformação, isto é, a interpretação hiperbólica.

No capítulo 9, foram analisadas as leis de variação obtidas, dos parâmetros hiperbólicos em função dos parâmetros de compactação, no aspecto particular de cada parâmetro, de cada material e, em certos casos, das diferentes tensões confinantes usadas nos ensaios.

Este capítulo é um resumo conclusivo dos resultados obtidos. Assim sendo:

1º) Nos solos argilosos, a influência da umidade se manifesta maior que do grau de compactação em todos os parâ-

tros.

29) Nos solos arenosos, o grau de compactação e umidade influem em qualquer condição de tensão confinante.

39) Os valores do parâmetro K confirmam condições de maior rigidez, nos solos arenosos que nos solos argilosos, ou capacidade de atingirem maiores tensões à baixas deformações, nos solos arenosos.

49) A granulometria do material influi, de maneira decisiva, nos valores Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, a umidades e tensões confinantes, diferentes.

59) As maiores variações do Módulo de Elasticidade Tangente Inicial, em função dos parâmetros K e n, ocorrem a pressões confinantes menores que 1 kg/cm^2 , para qualquer material; e para valores positivos de n a pressões confinantes maiores que 1 kg/cm^2 , para solos mais argilosos.

69) A metodologia de interpretação hiperbólica da curva tensão-deformação parece conduzir a bons resultados em certos tipos de materiais, melhor do que em outros.

O processo de cálculo usado neste trabalho, trouxe bons resultados para o solo Boçoroca, tipicamente arenoso, e para o solo Creche, bastante heterogêneo, cujos resultados são muito variáveis nos ensaios.

Contudo, para o solo Pedreira, argiloso e de comportamento uniforme, outros métodos de interpretação (Desai e Wu, 1976) da curva tensão-deformação provavelmente se aplicariam com mais justiça.

79) Outro aspecto a se destacar é o da interpretação pessoal, que é sempre muito importante, e que devido ao grande número de resultados, aqui, muitas vezes foi relegada a um segundo plano, dispersando as conclusões.

89) As tensões confinantes, σ_3 , usadas permaneceram em nível baixo $\sigma_3 = 0,5 ; 1,5 ; 3,0 \text{ kg/cm}^2$; para se ter uma me

lhor amplitude de conclusões, seriam interessantes pesquisas nesse campo, usando-se tensões confinantes maiores.

11. BIBLIOGRAFIA

- DESAI, C S (1971) - Nonlinear Analysis Using Spline Functions-Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of ASCE, vol 97, nº SM 10, 1971, pp. 1461 - 1480.
- DESAI, C S, e WU, T H (1976) - A General Function of Stress Strain Curves - 2th International Conference on Numerical Methods in Geo Mechanics - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA, June 1976, pp. 306 - 318.
- DUNCAN, James M e CHANG, Chin Yung (1970) - "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils" -Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol 96 nº SM 5 - Sept. 1970, pp. 1629 - 1653.
- GOMES, Frederico P (1973) - "Curso de Estatística Experimental" Livraria Nobel S.A. - Piracicaba, 1973.
- HANSEN, J Bunch (1963) - "Hyperbolic Stress- Strain Response: Cohesive Soils", Discussion. Journal of the Soil Mechanics and Foundation, ASCE, vol 89, nº SM 4, 1963 pp. 241 - 242.
- KONDNER, R L and ZELASKO, J S (1963) - "A Hyperbolic Stress - Strain Formulation for Sands" - II Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Brasil, volume I, 1963, pp. 289 - 324.
- KONDNER, Robert L (1963) - Hyperbolic Stress - Strain Response: Cohesive Soils" - Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Volume 89, nº MS1, February, 1963 part 1 pp. 115 - 143.
- KULHAWY, Fred H e WITHIAM, James L (1975) - "Nonlinear Undrained Modulus of Compacted Clay " ,

- V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Buenos Aires - TOMO I, novembro 1975, pp. 107 - 116.
- KULHAWY, F H; DUNCAN, J M e SEED H B (1969) - "Finite Element Analysis of Stress and Movements in Embankments During Construction" - Report nº TE-69-4 University of California - Berkeley - 1969.
 - LACERDA, W A e outros (1974) - "Estudo dos Parâmetros de solos para Análise por Elementos Finitos" 1º Seminário Brasileiro do Método dos Elementos Finitos Aplicado à Mecânica dos Solos, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, setembro 1974 - pp. 85 -95.
 - MEYER, Paul L (1972) - "Probabilidade - Aplicações à Estatística" Ao Livro Técnico S.A. - Rio de Janeiro, 1972.
 - PARAGUASSU, Antenor B (1968) -Contribuição ao estudo da formação Botucatu: Sedimentitos aquosos, estruturas sedimentares e silicificação - Tese apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Geologia, 1968.
 - PICHAVANT, P (1974) - "O Método dos Elementos Finitos Aplicado à Mecânica dos Solos" - Relatório Geral - 1º Seminário Brasileiro do Método dos Elementos Finitos Aplicado à Mecânica dos Solos, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Setembro 1974, pp. 13 - 39.
 - RICHARD, R M e ABBOTT, B J (1975) - "Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula" - Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE, vol. 101, nº EM4 1975, pp. 511 -

- SEED, H B, MITCHELL, J K; CHAN, C K (1960) - "The Strength of Compacted Cohesive Soils" - Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soil - sponsored by the Soil Mechanic and Foundations Division, ASCE - University of Colorado, Boulder , Colorado, USA, June 1960, pp. 877 - 964.
- SILVA LEME, RUY A (1969) - "Curso de Estatística - Elementos" - Ao Livro Técnico S.A. - Rio de Janeiro, 1969.
- SISAM, Charles H e ATCHISON, Willian F (1955) - "Analytic Geometry" - Holt, Rinehart and Winston, New York, 1955.
- SOUTO SILVEIRA, E B (1964) - "Pesquisas sobre a Variação de Algumas Características do Comportamento Tensão-Deformação de um solo Arenoso em Função dos Parâmetros de Compactação" - Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor Engenheiro, 1964).
- SOUTO SILVEIRA, E B (1964) - "Pesquisa sobre a variação dos Parâmetros de Elasticidade com os Parâmetros de Compactação de Dois Solos Típicos" - Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para o Concurso de Docência Livre, 1964.
- SOUTO SILVEIRA, E B ; CLEMENTE DOS SANTOS, G A - (1965) - " Aplicação do Computador Eletrônico Digital na Determinação dos Parâmetros Elásticos do Solo através de Ensaios Triaxiais" Jornal de Solos, São Paulo, volume 4, nº 1, julho de 1965, pp. 1 - 23.

- SOUTO SILBEIRA, E B (1965) - "Statistical Research on Stress Strain Characteristics of a typical Compacted Soil Under Different Moulding Parameters" VI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1965 Montreal, Canadá , vol I pp. 364 - 367.
- SOUTO SILVEIRA, E B (1974) - "Aplicação dos Elementos Finitos em Barragens" - 1º Seminário Brasileiro do Método dos Elementos Finitos Aplicado à Mecânica dos Solos - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, setembro de 1974, pp 384 - 343.

TABELA I

TABELA I - SOLO PEDREIRA

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC méd. (%)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	% $\sigma_{m\acute{a}x}$
100	1,240	41,8	86,1	0,140	0,5	59,590	3,858	58
101	1,250	"	"	0,224	1,5	83,377	0,292	65
102	1,272	"	"	0,312	3,0	21,286	2,121	63
97	1,219	37,4	85,2	0,614	0,5	21,286	0,583	56
98	1,226	"	"	0,765	1,5	5,047	1,094	69
99	1,226	"	"	0,868	3,0	3,417	1,008	70
97-A	1,289	37,3	90,4	0,446	0,5	12,859	1,624	67
98-A	1,315	"	"	0,655	1,5	1,393	1,549	16
99-A	1,289	"	"	0,756	3,0	1,435	1,369	19
67	1,378	35,4	95,5	1,450	0,5	1,805	0,618	69
68	1,370	"	"	1,525	1,5	0,797	0,600	70
69	1,364	"	"	1,619	3,0	0,453	0,617	52
70	1,359	35,1	94,7	1,200	0,5	2,397	0,735	64
71	1,359	"	"	1,699	1,5	1,759	0,517	69
72	1,359	"	"	1,731	3,0	0,498	0,560	42
76-A	1,335	35,0	94,4	1,035	0,5	3,231	0,791	68
77-A	1,356	"	"	1,627	1,5	1,839	0,524	69
78-A	1,373	"	"	1,737	3,0	1,141	0,521	68
64	1,367	34,6	94,8	2,122	0,5	1,631	0,389	69
65	1,357	"	"	2,888	1,5	1,393	0,283	69
66	1,356	"	"	3,045	3,0	0,671	0,297	58
79-A	1,400	34,5	96,7	1,141	0,5	1,578	0,804	69
80-A	1,381	"	"	1,499	1,5	1,116	0,644	69
81-A	1,386	"	"	1,614	3,0	0,584	0,611	36
91	1,295	34,2	89,7	1,045	0,5	7,859	0,556	60
92	1,286	"	"	1,303	1,5	3,010	0,628	69
93	1,283	"	"	1,541	3,0	1,878	0,575	60
106	1,288	33,9	90,1	1,318	0,5	3,473	0,591	69
107	1,297	"	"	2,296	1,5	1,664	0,348	68
108	1,295	"	"	2,991	3,0	1,135	0,285	49
88	1,282	33,8	89,6	1,242	0,5	8,246	0,401	64
89	1,282	"	"	1,841	1,5	2,804	0,413	51
90	1,285	"	"	2,088	3,0	1,444	0,418	68
109	1,342	33,6	93,3	1,305	0,5	2,131	0,647	69
110	1,344	"	"	1,969	1,5	1,619	0,434	69
111	1,334	"	"	2,415	3,0	0,826	0,371	39
64-A	1,366	33,5	95,1	1,569	0,5	1,098	0,607	69
65-A	1,365	"	"	2,370	1,5	0,625	0,380	67
66-A	1,363	"	"	3,016	3,0	0,547	0,313	34

TABELA I - SOLO PEDREIRA (continuação)

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC méd. (%)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	% $\sigma_{m\acute{a}x}$
88-A	1,289	33,5	90,1	1,539	0,5	0,946	0,616	58
89-A	1,298	"	"	2,274	1,5	1,482	0,354	69
90-A	1,294	"	"	3,127	3,0	1,114	0,262	68
79	1,408	33,2	97,4	1,716	0,5	3,188	0,431	70
80	1,392	"	"	1,736	1,5	1,861	0,488	67
81	1,394	"	"	1,675	3,0	0,942	0,559	69
46	1,380	33,0	96,0	1,812	0,5	1,062	0,510	68
47	1,377	"	"	2,314	1,5	1,211	0,373	69
48	1,378	"	"	2,705	3,0	0,499	0,362	41
139	1,420	32,8	98,9	2,166	0,5	0,668	0,426	70
140	1,419	"	"	2,912	1,5	0,754	0,310	68
141	1,418	"	"	3,146	3,0	0,424	0,284	33
76	1,365	32,8	95,2	1,054	0,5	6,078	0,684	70
77	1,359	"	"	2,117	1,5	1,852	0,365	68
78	1,376	"	"	2,120	3,0	0,898	0,423	69
40	1,354	32,7	94,3	3,114	0,5	0,963	0,284	69
41	1,354	"	"	4,025	1,5	1,306	0,187	68
42	1,354	"	"	4,672	3,0	0,966	0,162	53
103	1,302	31,9	90,4	2,055	0,5	0,467	0,455	68
104	1,295	"	"	3,553	1,5	1,700	0,202	69
105	1,294	"	"	4,132	3,0	1,423	0,157	66
94	1,410	31,7	98,3	2,594	0,5	1,357	0,326	70
95	1,411	"	"	2,542	1,5	1,178	0,307	69
96	1,412	"	"	3,325	3,0	0,873	0,262	62
61	1,358	31,4	94,5	3,244	0,5	0,606	0,278	69
62	1,364	"	"	4,324	1,5	1,104	0,171	67
63	1,348	"	"	4,347	3,0	1,134	0,162	69
73	1,324	31,3	92,5	2,056	0,5	0,743	0,488	40
74	1,333	"	"	2,955	1,5	2,627	0,212	68
75	1,329	"	"	3,543	3,0	1,320	0,194	38
82	1,362	31,1	94,4	2,294	0,5	1,487	0,357	68
83	1,351	"	"	3,556	1,5	3,005	0,157	69
84	1,353	"	"	3,442	3,0	1,343	0,206	68
91-A	1,307	31,1	91,3	2,513	0,5	0,662	0,377	68
92-A	1,311	"	"	3,118	1,5	1,010	0,280	51
93-A	1,314	"	"	4,312	3,0	2,104	0,124	69
142	1,292	30,8	90,0	2,471	0,5	0,447	0,385	69
143	1,293	"	"	3,524	1,5	1,127	0,213	69
144	1,292	"	"	4,519	3,0	1,232	0,156	59

TABELA I - SOLO PEDREIRA (continuação)

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC méd. (%)	$\sigma_{m\bar{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	% $\sigma_{m\bar{a}x}$
85	1,395	30,6	97,5	2,541	0,5	0,925	0,343	68
86	1,394	"	"	2,424	1,5	1,874	0,198	68
87	1,408	"	"	3,698	3,0	1,104	0,196	69
94-A	1,424	30,6	98,8	3,147	0,5	0,298	0,305	69
95-A	1,417	"	"	4,610	1,5	0,755	0,184	69
96-A	1,413	"	"	4,744	3,0	0,560	0,173	68
52-A	1,357	30,4	94,6	3,727	0,5	0,191	0,254	47
53-A	1,356	"	"	5,171	1,5	0,421	0,173	70
54-A	1,358	"	"	6,198	3,0	0,759	0,122	70
61-A	1,371	30,0	94,8	1,238	0,5	3,933	0,638	60
62-A	1,372	"	"	1,745	1,5	3,267	0,406	66
63-A	1,361	"	"	2,147	3,0	1,392	0,406	68
37	1,399	29,8	97,4	3,842	0,5	0,168	0,257	68
38	1,396	"	"	4,688	1,5	0,533	0,184	69
39	1,396	"	"	5,896	3,0	0,910	0,122	69
82-A	1,382	29,0	96,2	2,951	0,5	0,182	0,315	69
83-A	1,371	"	"	3,882	1,5	0,469	0,222	68
84-A	1,389	"	"	6,121	3,0	0,763	0,118	69
43	1,372	28,7	95,5	4,746	0,5	0,151	0,207	23
44	1,374	"	"	6,056	1,5	0,506	0,141	69
45	1,369	"	"	7,662	3,0	0,781	0,091	69
52	1,367	28,5	96,4	3,369	0,5	0,212	0,283	35
53	1,393	"	"	2,944	1,5	3,274	0,197	65
54	1,393	"	"	4,345	3,0	1,192	0,170	69
73-A	1,354	28,3	94,6	4,061	0,5	0,237	0,237	68
74-A	1,361	"	"	5,509	1,5	0,481	0,158	68
75-A	1,357	"	"	7,079	3,0	0,784	0,102	69

TABELA I - SOLO CRECHE

Ensaio	γ_d	W_i	GC méd.	$\sigma_{m\acute{a}x}$	σ_3	A	B	$\% \sigma_{m\acute{a}x}$
	(g/cm ³)	(%)	(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(x10 ⁻²)		
16	1,517	29,7	93,1	1,542	0,5	1,801	0,571	67
17	1,520	"	"	1,682	1,5	0,619	0,603	46
18	1,515	"	"	1,889	3,0	0,409	0,530	46
13	1,463	28,2	89,6	1,218	0,5	1,182	0,773	68
14	1,455	"	"	2,000	1,5	0,706	0,489	35
15	1,467	"	"	2,100	3,0	0,393	0,463	67
34	1,533	27,5	94,4	2,054	0,5	0,569	0,478	70
35	1,539	"	"	2,757	1,5	0,314	0,372	21
36	1,547	"	"	2,455	3,0	0,190	0,427	41
169	1,606	27,3	98,5	1,864	0,5	1,615	0,473	37
170	1,604	"	"	1,993	1,5	0,808	0,450	53
171	1,605	"	"	2,532	3,0	1,200	0,312	56
55	1,558	27,3	95,6	1,806	0,5	0,647	0,534	63
56	1,560	"	"	2,220	1,5	0,373	0,446	36
57	1,558	"	"	2,610	3,0	0,317	0,360	18
49	1,578	27,2	96,5	3,759	0,5	0,224	0,226	69
50	1,577	"	"	5,097	1,5	0,114	0,187	52
51	1,566	"	"	5,888	3,0	0,090	0,163	67
34-B	1,557	27,1	95,2	1,988	0,5	1,420	0,444	70
35-B	1,550	"	"	2,028	1,5	0,322	0,471	68
36-B	1,551	"	"	2,724	3,0	0,213	0,363	68
148	1,513	26,7	92,8	1,774	0,5	1,383	0,503	68
149	1,513	"	"	2,330	1,5	0,640	0,404	70
150	1,510	"	"	2,634	3,0	0,351	0,377	34
13-A	1,509	26,3	92,7	2,228	0,5	0,486	0,438	70
14-A	1,510	"	"	2,919	1,5	0,929	0,299	70
15-A	1,515	"	"	3,164	3,0	0,543	0,257	40
01	1,550	26,3	94,3	2,180	0,5	0,609	0,433	69
02	1,544	"	"	2,376	1,5	0,343	0,415	68
03	1,519	"	"	2,604	3,0	0,252	0,379	70
07	1,454	26,2	89,4	2,127	0,5	0,951	0,447	69
08	1,462	"	"	2,773	1,5	0,899	0,323	68
09	1,457	"	"	3,032	3,0	0,662	0,283	44
07-A	1,478	25,9	90,6	2,162	0,5	0,915	0,431	68
08-A	1,492	"	"	3,493	1,5	1,716	0,207	68
09-A	1,463	"	"	3,768	3,0	0,933	0,219	62
28	1,531	25,6	93,6	2,162	0,5	0,907	0,429	68
29	1,527	"	"	3,804	1,5	1,135	0,210	70
30	1,521	"	"	3,973	3,0	0,559	0,221	45
22	1,534	24,8	93,9	3,331	0,5	0,255	0,285	63
23	1,533	"	"	4,801	1,5	0,329	0,195	37
24	1,526	"	"	5,428	3,0	0,498	0,167	69

TABELA I - SOLO CRECHE (continuação)

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC méd. (%)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	% $\sigma_{m\acute{a}x}$
58	1,599	24,8	97,9	3,843	0,5	0,196	0,250	67
59	1,587	"	"	5,166	1,5	0,284	0,185	70
60	1,603	"	"	5,154	3,0	0,210	0,185	63
10	1,471	24,4	90,0	2,976	0,5	0,415	0,343	21
11	1,467	"	"	4,127	1,5	1,053	0,192	69
12	1,465	"	"	5,955	3,0	1,298	0,102	60
19	1,491	23,7	91,4	2,997	0,5	0,305	0,332	66
20	1,490	"	"	4,845	1,5	0,697	0,173	68
21	1,490	"	"	7,073	3,0	0,715	0,102	59
31	1,613	23,6	98,9	4,694	0,5	0,202	0,202	68
32	1,611	"	"	5,769	1,5	0,210	0,162	70
33	1,613	"	"	7,767	3,0	0,161	0,121	70
25	1,474	23,2	91,0	3,698	0,5	0,235	0,267	52
26	1,479	"	"	5,926	1,5	0,512	0,147	69
27	1,499	"	"	6,488	3,0	0,661	0,119	68
145	1,593	22,8	97,9	4,669	0,5	0,120	0,202	68
146	1,598	"	"	7,106	1,5	0,299	0,129	69
147	1,598	"	"	8,131	3,0	0,389	0,104	68
25-A	1,499	22,8	91,5	5,931	0,5	0,051	0,152	69
26-A	1,487	"	"	7,513	1,5	0,070	0,131	29
27-A	1,489	"	"	7,705	3,0	0,092	0,123	68
58-B	1,637	22,2	100,0	7,264	0,5	0,051	0,131	61
59-B	1,629	"	"	8,621	1,5	0,073	0,112	67
60-B	1,625	"	"	9,756	3,0	0,162	0,093	69
28-A	1,574	21,8	96,4	5,937	0,5	0,043	0,155	41
29-A	1,570	"	"	8,319	1,5	0,113	0,117	68
30-A	1,574	"	"	10,437	3,0	0,322	0,082	69

TABELA I - SOLO BOÇOROCA

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC méd. (%)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	% $\sigma_{m\acute{a}x}$
160	1,725	17,6	91,9	1,626	0,5	1,554	0,627	68
161	1,734	"	"	2,951	1,5	0,901	0,342	47
162	1,726	"	"	4,908	3,0	1,181	0,191	67
166	1,750	16,9	92,9	1,519	0,5	4,237	0,665	68
167	1,748	"	"	3,140	1,5	1,322	0,320	68
168	1,747	"	"	5,106	3,0	1,166	0,185	67
185	1,750	16,6	93,3	2,058	0,5	1,463	0,490	44
186	1,756	"	"	3,775	1,5	1,058	0,265	67
187	1,759	"	"	4,848	3,0	0,971	0,190	67
188	1,744	16,6	92,8	1,899	0,5	1,754	0,535	66
189	1,744	"	"	3,299	1,5	1,077	0,304	22
190	1,752	"	"	5,349	3,0	1,223	0,175	69
133	1,852	16,5	98,4	2,693	0,5	1,917	0,354	69
134	1,847	"	"	4,596	1,5	1,200	0,207	67
135	1,854	"	"	7,135	3,0	0,510	0,138	52
136	1,793	16,4	94,9	1,968	0,5	1,706	0,488	34
137	1,785	"	"	4,128	1,5	0,563	0,254	64
138	1,779	"	"	6,356	3,0	0,562	0,154	67
163	1,773	15,7	94,2	2,295	0,5	0,530	0,439	62
164	1,774	"	"	3,900	1,5	0,526	0,258	52
165	1,766	"	"	6,338	3,0	0,708	0,154	70
191	1,790	15,6	95,3	1,905	0,5	1,333	0,519	67
192	1,797	"	"	3,915	1,5	1,043	0,256	69
193	1,793	"	"	6,487	3,0	0,996	0,149	70
157	1,819	14,7	96,7	3,041	0,5	0,645	0,304	48
158	1,821	"	"	5,245	1,5	0,381	0,190	66
159	1,819	"	"	7,586	3,0	0,284	0,128	64
118	1,806	14,5	95,5	2,846	0,5	0,664	0,334	50
119	1,792	"	"	5,295	1,5	0,385	0,186	54
120	1,793	"	"	7,533	3,0	0,653	0,127	56
154	1,750	14,4	93,2	2,234	0,5	0,608	0,430	56
155	1,759	"	"	4,679	1,5	0,547	0,217	46
156	1,750	"	"	7,118	3,0	0,854	0,136	68
151	1,797	14,3	95,3	3,084	0,5	0,621	0,292	69
152	1,786	"	"	5,302	1,5	0,423	0,188	69
153	1,793	"	"	7,834	3,0	0,365	0,128	40
130	1,767	14,3	93,6	2,563	0,5	0,666	0,379	48
131	1,757	"	"	4,383	1,5	0,489	0,231	18
132	1,762	"	"	6,979	3,0	0,964	0,139	70

TABELA I - SOLO BOÇOROCA (continuação)

Ensaio	γ_d (g/cm ³)	W_i (%)	GC _{méd.} (%)	$\sigma_{m\grave{a}x}$ (kg/cm ²)	σ_3 (kg/cm ²)	A (x10 ⁻²)	B	$\% \sigma_{m\grave{a}x}$
115	1,754	14,0	92,8	1,984	0,5	0,684	0,493	62
116	1,739	"	"	4,545	1,5	0,520	0,219	62
117	1,746	"	"	7,062	3,0	1,179	0,134	65
112	1,860	13,9	98,8	3,151	0,5	0,744	0,274	68
113	1,850	"	"	5,870	1,5	0,311	0,167	52
114	1,866	"	"	8,711	3,0	0,376	0,111	61
121	1,733	13,0	91,9	2,338	0,5	0,622	0,420	50
122	1,725	"	"	3,994	1,5	2,919	0,241	69
123	1,727	"	"	6,785	3,0	1,680	0,134	70
124	1,843	12,6	97,9	3,297	0,5	0,573	0,264	52
125	1,842	"	"	5,240	1,5	0,320	0,189	71
126	1,839	"	"	8,694	3,0	0,390	0,115	70
127	1,822	10,4	96,7	7,241	0,5	0,279	0,092	58
128	1,819	"	"	9,749	1,5	0,299	0,074	67
129	1,817	"	"	13,762	3,0	0,245	0,071	66

TABELA II

TABELA II - SOLO PEDREIRA

Ensaio	W_i (%)	$GC_{méd}$ (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
100	41,8	86,1	0,017	0,259	0,540	0,018	0,496
101	"	"	0,012	3,424	0,065	"	"
102	"	"	0,047	0,471	0,662	"	"
97	37,4	85,2	0,047	1,715	0,358	0,105	1,050
98	"	"	0,198	0,914	0,837	"	"
99	"	"	0,293	0,992	0,874	"	"
97-A	37,3	90,4	0,078	0,616	0,724	0,238	1,300
98-A	"	"	0,718	0,646	1,014	"	"
99-A	"	"	0,697	0,730	1,035	"	"
67	35,4	95,5	0,554	1,618	0,896	0,936	0,774
68	"	"	1,255	1,667	0,915	"	"
69	"	"	2,208	1,615	1,002	"	"
70	35,1	94,7	0,417	1,360	0,882	0,624	0,827
71	"	"	0,568	1,934	0,878	"	"
72	"	"	2,008	1,786	0,969	"	"
76-A	35,0	94,4	0,309	1,264	0,818	0,452	0,578
77-A	"	"	0,544	1,908	0,852	"	"
78-A	"	"	0,876	1,919	0,905	"	"
64	34,6	94,8	0,613	2,571	0,825	0,766	0,468
65	"	"	0,718	3,533	0,817	"	"
66	"	"	1,490	3,367	0,904	"	"
79-A	34,5	96,7	0,634	1,244	0,917	0,857	0,537
80-A	"	"	0,896	1,553	0,965	"	"
81-A	"	"	1,712	1,637	0,986	"	"
91	34,2	89,7	0,127	1,798	0,581	0,227	0,809
92	"	"	0,332	1,592	0,818	"	"
93	"	"	0,532	1,739	0,886	"	"
106	33,9	90,1	0,288	1,692	0,779	0,450	0,632
107	"	"	0,601	2,873	0,799	"	"
108	"	"	0,881	3,509	0,852	"	"
88	33,8	89,6	0,121	2,494	0,498	0,238	0,977
89	"	"	0,357	2,421	0,760	"	"
90	"	"	0,693	2,392	0,873	"	"
109	33,6	93,3	0,469	1,545	0,844	0,615	0,508
110	"	"	0,618	2,304	0,854	"	"
111	"	"	1,211	2,695	0,896	"	"
64-A	33,5	95,1	0,911	1,647	0,952	1,243	0,405
65-A	"	"	1,600	2,631	0,900	"	"
66-A	"	"	1,828	3,195	0,944	"	"

TABELA II - SOLO PEDREIRA (continuação)

Ensaio	W_i (%)	GC _{méd} (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult_2} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
88-A	33,5	90,1	1,057	1,623	0,948	0,889	-0,116
89-A	"	"	0,675	2,824	0,805	"	"
90-A	"	"	0,898	3,816	0,819	"	"
79	33,2	97,4	0,314	2,320	0,739	0,471	0,667
80	"	"	0,537	0,205	3,592	"	"
81	"	"	1,062	1,789	0,936	"	"
46	33,0	96,0	0,942	1,961	0,924	1,047	0,377
47	"	"	0,826	2,681	0,863	"	"
48	"	"	2,004	2,762	0,979	"	"
139	32,8	98,9	1,497	2,347	0,923	1,574	0,225
140	"	"	1,326	3,226	0,903	"	"
141	"	"	2,358	3,521	0,893	"	"
76	32,8	95,2	0,165	1,462	0,721	0,346	1,072
77	"	"	0,540	2,740	0,773	"	"
78	"	"	1,114	2,364	0,897	"	"
40	32,7	94,3	1,038	3,521	0,884	0,943	-0,023
41	"	"	0,766	5,347	0,753	"	"
42	"	"	1,035	6,173	0,757	"	"
103	31,9	90,4	2,141	2,198	0,935	1,150	-0,669
104	"	"	0,588	4,950	0,718	"	"
105	"	"	0,703	6,369	0,649	"	"
94	31,7	98,3	0,737	3,067	0,845	0,838	0,239
95	"	"	0,849	3,257	0,780	"	"
96	"	"	1,145	3,817	0,871	"	"
61	31,4	94,5	1,650	3,597	0,902	1,210	-0,364
62	"	"	0,906	5,848	0,739	"	"
63	"	"	0,882	6,173	0,704	"	"
73	31,3	92,5	1,346	2,049	1,003	0,811	-0,392
74	"	"	0,381	4,717	0,626	"	"
75	"	"	0,758	5,155	0,687	"	"
82	31,1	94,4	0,672	2,801	0,819	0,551	-0,003
83	"	"	0,333	6,369	0,558	"	"
84	"	"	0,745	4,854	0,709	"	"
91-A	31,1	91,3	1,511	2,652	0,947	1,055	-0,618
92-A	"	"	0,990	3,571	0,873	"	"
93-A	"	"	0,475	8,064	0,534	"	"
142	30,8	90,0	2,237	2,597	0,951	1,374	-0,587
143	"	"	0,887	4,695	0,751	"	"
144	"	"	0,812	6,410	0,705	"	"

TABELA II - SOLO PEDREIRA (continuação)

Ensaio	W_i (%)	GC méd. (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
85	30,6	97,5	1,081	2,195	0,871	0,837	-0,144
86	"	"	0,534	5,050	0,480	"	"
87	"	"	0,906	5,102	0,725	"	"
94-A	30,6	98,8	3,356	3,279	0,959	2,218	-0,393
95-A	"	"	1,325	5,435	0,848	"	"
96-A	"	"	1,786	5,780	0,821	"	"
52-A	30,4	94,6	5,236	3,937	0,947	3,120	-0,761
53-A	"	"	2,375	5,780	0,894	"	"
54-A	"	"	1,317	8,190	0,756	"	"
61-A	30,0	94,8	0,254	1,567	0,790	0,330	0,546
62-A	"	"	0,306	2,463	0,708	"	"
63-A	"	"	0,718	2,463	0,871	"	"
37	29,8	97,4	5,952	3,891	0,987	2,981	-0,949
38	"	"	1,876	5,435	0,862	"	"
39	"	"	1,099	8,197	0,719	"	"
82-A	29,0	96,2	5,495	3,175	0,929	3,087	-0,801
83-A	"	"	2,132	4,504	0,862	"	"
84-A	"	"	1,311	8,474	0,722	"	"
43	28,7	95,5	6,623	4,831	0,982	3,290	-0,930
44	"	"	1,976	7,092	0,854	"	"
45	"	"	1,280	10,989	0,697	"	"
52	28,5	96,4	4,717	3,533	0,953	1,434	-1,099
53	"	"	0,305	5,076	0,580	"	"
54	"	"	0,839	5,882	0,739	"	"
73-A	28,3	94,6	4,219	4,219	0,962	2,675	-0,661
74-A	"	"	2,079	6,329	0,870	"	"
75-A	"	"	1,276	9,804	0,722	"	"

TABELA II - SOLO CRECHE

Ensaio	W_i (%)	GC mēd (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
16	29,7	93,1	0,555	1,751	0,880	1,034	0,845
17	"	"	1,616	1,658	1,014	"	"
18	"	"	2,445	1,887	1,001	"	"
13	28,2	89,6	0,846	1,294	0,941	1,230	0,606
14	"	"	1,416	2,045	0,978	"	"
15	"	"	2,544	2,160	0,972	"	"
34	27,5	94,4	1,757	2,092	0,982	2,618	0,611
35	"	"	3,185	2,688	1,025	"	"
36	"	"	5,263	2,342	1,048	"	"
169	27,3	98,5	0,619	2,114	0,882	0,813	0,212
170	"	"	1,238	2,222	0,897	"	"
171	"	"	0,833	3,205	0,790	"	"
55	27,2	95,6	1,546	1,873	0,964	2,107	0,412
56	"	"	2,681	2,242	0,990	"	"
57	"	"	3,155	2,778	0,939	"	"
49	27,2	96,5	4,464	4,425	0,849	6,576	0,524
50	"	"	8,772	5,347	0,953	"	"
51	"	"	11,111	6,135	0,960	"	"
34-B	27,1	95,2	0,704	2,252	0,883	1,619	1,090
35-B	"	"	3,106	2,123	0,951	"	"
36-B	"	"	4,695	2,755	0,989	"	"
148	26,7	92,8	0,723	1,988	0,892	1,201	0,764
149	"	"	1,562	2,475	0,941	"	"
150	"	"	2,849	2,652	0,993	"	"
13-A	26,3	92,7	2,058	2,283	0,976	1,644	-0,106
14-A	"	"	1,076	3,344	0,873	"	"
15-A	"	"	1,842	3,891	0,813	"	"
01	26,3	94,3	1,643	2,307	0,945	2,331	0,500
02	"	"	2,911	2,409	0,986	"	"
03	"	"	3,971	2,638	0,987	"	"
07	26,2	89,4	1,052	2,237	0,951	1,148	0,193
08	"	"	1,112	3,096	0,896	"	"
09	"	"	1,511	3,533	0,858	"	"
7-A	25,9	90,6	1,093	2,320	0,932	0,894	-0,058
8-A	"	"	0,583	4,831	0,723	"	"
9-A	"	"	1,072	4,566	0,825	"	"
28	25,6	93,6	1,103	2,331	0,927	1,129	0,231
29	"	"	0,881	4,762	0,799	"	"
30	"	"	1,789	4,525	0,878	"	"

TABELA II - SOLO CRECHE (continuação)

Ensaio	W_i (%)	$GC_{méd}$ (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
22	24,8	93,9	3,922	3,509	0,949	3,173	-0,356
23	"	"	3,039	5,128	0,936	"	"
24	"	"	2,008	5,988	0,876	"	"
58	24,8	97,9	5,102	4,000	0,961	4,479	-0,061
59	"	"	3,521	5,405	0,936	"	"
60	"	"	4,762	5,405	0,953	"	"
10	24,4	90,0	2,415	2,915	1,021	1,443	-0,0653
11	"	"	0,950	5,208	0,792	"	"
12	"	"	0,770	9,804	0,607	"	"
19	23,7	91,4	3,279	3,012	0,995	2,143	-0,497
20	"	"	1,435	5,780	0,838	"	"
21	"	"	1,399	9,804	0,721	"	"
31	23,6	98,9	4,950	5,155	0,911	5,106	0,117
32	"	"	4,762	6,173	0,935	"	"
33	"	"	6,211	8,264	0,940	"	"
25	23,2	91,0	4,256	3,745	0,987	2,724	-0,585
26	"	"	1,953	6,803	0,871	"	"
27	"	"	1,513	8,403	0,772	"	"
145	22,8	97,9	8,333	4,950	0,943	4,975	-0,668
146	"	"	3,344	7,752	0,916	"	"
147	"	"	2,571	9,615	0,845	"	"
25-A	22,8	91,5	19,609	6,579	0,901	15,802	-0,320
26-A	"	"	14,286	7,633	0,984	"	"
27-A	"	"	10,869	8,130	0,948	"	"
58-B	22,2	100,0	19,608	7,633	0,951	13,960	-0,601
59-B	"	"	13,699	8,928	0,965	"	"
60-B	"	"	6,173	10,753	0,907	"	"
28-A	21,8	96,4	23,256	6,452	0,920	11,586	-1,097
29-A	"	"	8,849	8,547	0,973	"	"
30-A	"	"	3,106	12,195	0,856	"	"

TABELA II - SOLO BOÇOROCA

Ensaio	W_i (%)	GC méd (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
160	17,6	91,9	6,435	1,595	1,019	8,033	0,190
161	"	"	11,099	2,924	1,009	"	"
162	"	"	8,467	5,236	0,937	"	"
166	16,9	92,9	2,311	1,504	1,010	4,315	0,769
167	"	"	7,764	3,125	1,005	"	"
168	"	"	8,576	5,405	0,945	"	"
185	16,6	93,3	6,835	2,041	1,008	8,180	0,241
186	"	"	9,452	3,774	1,000	"	"
187	"	"	10,299	5,263	0,921	"	"
188	16,6	92,8	5,701	1,869	1,016	7,110	0,229
189	"	"	9,285	3,229	1,003	"	"
190	"	"	8,177	5,174	0,936	"	"
133	16,5	98,4	5,216	2,825	0,953	7,811	0,717
134	"	"	8,333	4,831	0,951	"	"
135	"	"	19,608	7,246	0,985	"	"
136	16,4	94,9	5,862	2,049	0,960	10,271	0,661
137	"	"	17,762	3,937	1,048	"	"
138	"	"	17,794	6,493	0,979	"	"
163	15,7	94,2	18,868	2,278	1,007	17,839	-0,140
164	"	"	19,011	3,876	1,006	"	"
165	"	"	14,124	6,493	0,976	"	"
191	15,6	95,3	7,502	1,927	0,989	8,560	0,174
192	"	"	9,588	3,906	1,002	"	"
193	"	"	10,040	6,711	0,966	"	"
157	14,7	96,7	15,504	3,289	0,924	21,411	0,467
158	"	"	26,247	5,263	0,996	"	"
159	"	"	35,211	7,812	0,971	"	"
118	14,5	95,5	15,060	2,994	0,950	17,871	0,060
119	"	"	25,974	5,376	0,985	"	"
120	"	"	15,314	7,874	0,956	"	"
154	14,4	93,2	16,447	2,326	0,961	15,876	-0,158
155	"	"	18,282	4,608	1,015	"	"
156	"	"	11,710	7,353	0,968	"	"
151	14,3	95,3	16,103	3,424	0,900	20,103	0,308
152	"	"	23,641	5,319	0,997	"	"
153	"	"	27,397	7,812	1,003	"	"
130	14,3	93,6	15,015	2,638	0,971	15,348	-0,156
131	"	"	20,450	4,329	1,012	"	"
132	"	"	10,373	7,194	0,970	"	-0,156

TABELA II - SOLO BOÇOROCA (continuação)

Ensaio	W_i (%)	$GC_{méd}$ (%)	$E_i \times 10^2$ (kg/cm ²)	σ_{ult} (kg/cm ²)	R_f	$K \times 10^2$	n
115	14,0	92,8	14,620	2,028	0,978	14,286	-0,248
116	"	"	19,231	4,566	0,995	"	"
117	"	"	8,482	7,463	0,946	"	"
112	13,9	98,8	13,441	3,649	0,863	20,119	0,425
113	"	"	32,154	5,988	0,980	"	"
114	"	"	26,596	9,009	0,967	"	"
121	13,0	91,9	16,077	2,381	0,982	8,168	-0,627
122	"	"	3,426	4,149	0,962	"	"
123	"	"	5,952	7,463	0,909	"	"
124	12,6	97,9	17,452	3,788	0,870	22,518	0,250
125	"	"	31,250	5,291	0,990	"	"
126	"	"	25,641	8,696	0,999	"	"
127	10,4	96,7	35,842	10,869	0,666	35,917	0,067
128	"	"	33,445	13,513	0,721	"	"
129	"	"	40,816	14,084	0,977	"	"

ANEXO 1

ESCCLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
LABORATORIO DE MECANICA DOS SOLOS
ENSAIO TRIAXIAL RAPIDO

ENSAIO - NUMERO = 76
TENSÃO CONFINANTE = 0.50 KG/CM²
ANEL DINAMOMETRICO = WYKHAM - N. 5113
VELOC. DE DEFORMACAO = 0.0253 (MM/SEG)
DATA INICIAL = 12/02/76 DATA FINAL = 13/02/76
LCCAL = PEDREIRA
CLASSIFICACAO = ARGILA ARENOSA
ESTADO DA AMOSTRA = COMPACTADO
TIPO DE RUPTURA = BARRILETE

AMOSTRA ANTES DO ENSAIO
UNIDADE = 32.793 PORC.
PESO ESPECIFICO NATURAL = 1.813 G/CM³
PESO ESP. APARENTE SECO = 1.365 G/CM³
INDICE DE VAZIOS = 1.163
POROSIDADE = 53.770 PORC.
GRAU DE SATURACAO = 83.286 PORC.
PESO E. AP. SECC MAXIMO = 1.435 G/CM³
GRAU DE COMPACTACAO = 95.165 PORC.
UNIDADE OTIMA = 33.000 PORC.

DEF. PRATC (MM)	DEF. MOLA (X0.002MM)	DEF. ESPEC. (PORC.)	TENSOES (KG/CM ²)	D.ESP./TENSOES (CM ² /KG)
0.250	7.000	0.200	0.2437	0.008224
0.500	8.000	0.400	0.2780	0.014421
0.750	9.000	0.601	0.3121	0.019268
1.000	9.800	0.801	0.3392	0.023641
1.250	10.500	1.002	0.3626	0.027637
1.500	11.100	1.202	0.3826	0.031435
1.750	12.000	1.403	0.4128	0.033993
2.000	12.500	1.603	0.4291	0.037371
2.250	13.000	1.804	0.4454	0.040508
2.500	13.700	2.004	0.4684	0.042797
2.750	14.100	2.205	0.4811	0.045835
3.000	14.800	2.405	0.5039	0.047734
3.250	15.000	2.606	0.5097	0.051128
3.500	15.500	2.806	0.5256	0.053395
3.750	16.000	3.007	0.5414	0.055535
4.000	16.200	3.207	0.5471	0.058627
4.500	17.000	3.608	0.5717	0.063114
5.000	17.200	4.009	0.5760	0.069600
5.500	17.800	4.410	0.5936	0.074290
6.000	18.100	4.811	0.6011	0.080036
6.500	19.100	5.212	0.6317	0.082514
7.000	19.300	5.613	0.6356	0.088314
7.500	20.100	6.014	0.6591	0.091244
8.000	20.700	6.415	0.6759	0.094910
8.500	21.400	6.816	0.6958	0.097963
9.000	21.900	7.217	0.7089	0.101796
9.500	22.300	7.618	0.7188	0.105982
10.000	23.000	8.019	0.7381	0.108636
10.500	23.100	8.420	0.7381	0.114071
11.000	23.300	8.821	0.7412	0.118998
11.500	23.700	9.222	0.7506	0.122848
12.000	24.300	9.623	0.7662	0.125579
12.500	24.500	10.024	0.7691	0.130322
13.000	25.000	10.425	0.7813	0.133418
14.000	26.000	11.226	0.8053	0.139403
15.000	27.000	12.028	0.8287	0.145140
16.000	28.000	12.830	0.8516	0.150660
17.000	29.000	13.632	0.8739	0.155991
18.000	30.000	14.434	0.8956	0.161158
19.000	31.000	15.236	0.9168	0.166181
20.000	31.900	16.038	0.9345	0.171616
21.000	32.000	16.840	0.9575	0.175870
22.000	34.000	17.642	0.9770	0.180567
23.000	35.100	18.444	0.9988	0.184657
24.000	36.000	19.246	1.0143	0.189734
25.000	37.800	20.048	1.0545	0.190116

DIFERENCA DE TENSOES MAXIMA = 1.0545 KG/CM²
DEF. ESPECIFICA CORRESPONDENTE = 20.048 PORC.
UNIDADE DEPOIS DO ENSAIO = 32.220 PORC.

ESCCLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
LABORATORIO DE MECANICA DOS SOLOS
ENSAIO TRIAXIAL RAPIDO

ENSAIO - NUMERO = 163

TENSAO CONFINANTE = 0.50 KG/CM2

LCCAL = BOSSOROCA

DEF. PRATC (MM)	DEF. NOLA (XC.002MM)	DEF. ESPEC. (PORC.)	TENSOES (KG/CM2)	D.ESP./TENSOES (CM2/KG)
0.250	41.000	0.199	1.4333	0.001394
0.500	51.500	0.399	1.7968	0.002224
0.750	55.000	0.599	1.9151	0.003130
1.000	56.800	0.799	1.9738	0.004049
1.250	58.200	0.999	2.0183	0.004950
1.500	59.500	1.199	2.0592	0.005822
1.750	60.200	1.398	2.0793	0.006727
2.000	61.100	1.598	2.1061	0.007590
2.250	62.000	1.798	2.1328	0.008432
2.500	62.700	1.998	2.1524	0.009284
2.750	63.200	2.198	2.1652	0.010152
3.000	63.800	2.398	2.1813	0.010993
3.250	64.300	2.597	2.1939	0.011841
3.500	65.000	2.797	2.2132	0.012640
3.750	65.200	2.997	2.2154	0.013530
4.000	65.500	3.197	2.2211	0.014395
4.500	66.200	3.597	2.2355	0.016090
5.000	67.000	3.996	2.2532	0.017738
5.500	68.000	4.396	2.2773	0.019305
6.000	68.200	4.796	2.2744	0.021086
6.500	69.000	5.195	2.2914	0.022674
7.000	69.100	5.595	2.2851	0.024486
7.500	69.500	5.995	2.2886	0.026195
8.000	70.000	6.394	2.2952	0.027860
8.500	70.200	6.794	2.2920	0.029644
9.000	70.400	7.194	2.2886	0.031433
9.500	70.800	7.593	2.2917	0.033135
10.000	71.000	7.993	2.2883	0.034932
10.500	71.100	8.393	2.2815	0.036786
11.000	71.200	8.792	2.2748	0.038653
11.500	71.500	9.192	2.2744	0.040417
12.000	71.700	9.592	2.2707	0.042243
12.500	71.800	9.992	2.2638	0.044137
13.000	72.000	10.391	2.2600	0.045979
14.000	72.000	11.191	2.2399	0.049962
15.000	72.100	11.990	2.2228	0.053942
16.000	72.800	12.789	2.2240	0.057507
17.000	73.000	13.589	2.2096	0.061497
18.000	73.200	14.388	2.1952	0.065543
19.000	73.500	15.187	2.1836	0.069552
20.000	74.000	15.987	2.1778	0.073409
21.000	74.800	16.786	2.1803	0.076988
22.000	75.000	17.585	2.1652	0.081219
23.000	76.000	18.385	2.1728	0.084615
24.000	76.800	19.184	2.1741	0.088238
25.000	77.500	19.984	2.1722	0.091994

DIFERENCA DE TENSOES MAXIMA = 2.2954 KG/CM2

DEF.ESPECIFICA CORRESPONDENTE = 6.463 PORC.

UMIDADE DEPOIS DO ENSAIO = 15.130 PORC.

ANALISE DE REGRESSAO

INICIC = 1

FIM = 24

N. DE PARES = 24

COEF. DA REGRESSAO

A = C.7C23C82E-03

B = C.4255561E CC

COEF. DE CORRELACAO R= C.999936E C0 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.816926E-08

VARIACAO EXPLICADA R2= C.999873E C0 VAR. EXPLICADA S2E= C.141753E-02

VAR. INEXPLICADA 1-R2= C.126769E-03 D. PADRAO INEX. SI= C.90384CE-04

COEF. DE ALIENACAO = C.112592E-01 D.P. EXPLICADO SE= 0.376502E-01

COEF. DE SIGNIF. F = C.1735209E 06

T95 = 1.7171

T975 = 2.0739

T99 = 2.5083

CONFIANCA

INTERV. DE CONF. DE ALFA

INTERV. DE CONF. DE BETA

95.0

C.3167973E-C4

C.1754189E-02

97.5

C.3826254E-C4

C.2118696E-02

99.0

C.4627702E-C4

C.2562479E-02

MEDIA (Y) = 0.01260835

DEF. ESPEC. (X)	D.ESP./TENSORES (YCBS)	DESVIO DA REGRESSAO YCALC. (YC)	DESVIO (YCBS-YC)/SINEX.
C.0019984	0.0013942	0.0015527	-1.7540233
C.0039968	0.0022243	0.0024031	-1.9784430
C.0059952	0.0031304	0.0032536	-1.3621745
C.0079936	0.0040498	0.0041040	-0.5995268
C.0099920	0.0049505	0.0049544	-0.0437960
C.0119904	0.0058225	0.0058048	0.1954979
C.0139888	0.0067276	0.0066553	0.7997602
C.0159872	0.0075908	0.0075057	0.9412317
C.0179856	0.0084328	0.0083561	0.8481326
C.0199840	0.0092841	0.0092066	0.8573991
C.0219824	0.0101524	0.0100570	1.0553030
C.0239808	0.0109936	0.0109074	0.9537771
C.0259792	0.0118414	0.0117579	0.9243857
C.0279776	0.0126409	0.0126083	0.3607133
C.0299760	0.0135301	0.0134587	0.7896046
C.0319744	0.0143957	0.0143092	0.9570491
C.0339712	0.0160903	0.0160100	0.8883126
C.0359680	0.0177382	0.0177109	0.3022138
C.0439648	0.0193055	0.0194118	-1.1760057
C.0479616	0.0210869	0.0211126	-0.2844953
C.0519584	0.0226745	0.0228135	-1.5378846
C.0559552	0.0244866	0.0245144	-0.3073004
C.0599520	0.0261955	0.0262152	-0.2178095
C.0639488	0.0278608	0.0279161	-0.6119212

ANALISE DE VARIANCIA

	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA	F	N.PARES
TOTAL	C.1417719E-02	23			
EXPLICADO	C.1417539E-02	1	C.1417539E-02	0.1735209E 06	24
INEXPLICADO	C.1797239E-06	22	C.8169269E-08		

ANEXO 3

ESCCLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

LABORATORIO DE MECANICA DOS SOLOS

ENSAIO = TRIAXIAL RAPIDO 07

SIGMA 3 = 0.50 KG/CM2

LOCAL = CRECHE

I	DEF. ESPECIFICA (PORC.)	TENSOES (KG/CM2)	D.ESP./TENSOES (CM2/KG)
1	0.20016	0.626809	0.00319331
2	0.40032	0.903575	0.00443040
3	0.60048	1.040491	0.00577112
4	0.80064	1.107622	0.00722845
5	1.00080	1.174474	0.00852126
6	1.20096	1.213468	0.00989692
7	1.40112	1.255734	0.01115777
8	1.60128	1.287519	0.01243694
9	1.80144	1.319164	0.01365592
10	2.00160	1.340411	0.01493274
11	2.20176	1.364972	0.01613044
12	2.40192	1.379206	0.01741524
13	2.60208	1.410362	0.01844973
14	2.80224	1.424421	0.01967284
15	3.00240	1.455333	0.02063034
16	3.20256	1.459085	0.02194911
17	3.40272	1.479956	0.02434447
18	4.00288	1.514008	0.02644109
19	4.40352	1.534279	0.02869905
20	4.80384	1.577778	0.03044687
21	5.20416	1.604220	0.03244045
22	5.60448	1.630382	0.03437526
23	6.00480	1.639867	0.03661762
24	6.40512	1.665540	0.03845672
25	6.80544	1.690934	0.04024663
26	7.20576	1.709574	0.04214947
27	7.60608	1.724765	0.04400923
28	8.00640	1.749391	0.04576679
29	8.40672	1.764150	0.04765310
30	8.80704	1.775531	0.04960229
31	9.20736	1.799417	0.05116859
32	9.60768	1.804099	0.05325474
33	10.00800	1.821230	0.05495190
34	10.40832	1.838137	0.05662431
35	11.20896	1.858888	0.06029929
36	12.00960	1.872828	0.06412549
37	12.81024	1.901421	0.06737194
38	13.61088	1.929176	0.07055284
39	14.41152	1.985957	0.07256716
40	15.21216	2.023590	0.07517415
41	16.01281	2.051370	0.07805908
42	16.81345	2.055035	0.08181585
43	17.61409	2.098499	0.08393661
44	18.41473	2.115112	0.08706264
45	19.21537	2.114087	0.09089203
46	20.01601	2.126625	0.09412100

DIFERENCA DE TENSOES MAXIMA = 2.126625 KG/CM2

DEF. ESPECIFICA CORRESPONDENTE = 20.016012 PORC.

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N1 INICIO = 1 FIM = 46 N. DE PARES = 46

T95 = 1.6802

T975 = 2.0154

T99 = 2.4141

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.6770778E-02

B = 0.4571350E 00

COEF. DE CORRELACAO R= 0.995960E 00 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.584651E-05

VARIACAO EXPLICADA R2= 0.991938E 00 VAR. EXPLICADA S2E= 0.316522E-01

VAR. INEXPLICADA 1-R2= 0.806175E-02 D. PADRAO INEX. SI= 0.241795E-02

COEF. DE ALIENACAO = 0.897872E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.177910E 00

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

F = 0.5413865E 04

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N2 INICIO = 1 FIM = 46 N. DE PARES = 46

T95 = 1.6802

T975 = 2.0154

T99 = 2.4141

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.6770778E-02

B = 0.4571350E 00

COEF. DE CORRELACAO R= 0.995960E 00 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.584651E-05

VARIACAO EXPLICADA R2= 0.991938E 00 VAR. EXPLICADA S2E= 0.316522E-01

VAR. INEXPLICADA 1-R2= 0.806175E-02 D. PADRAO INEX. SI= 0.241795E-02

COEF. DE ALIENACAO = 0.897872E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.177910E 00

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

F = 0.5413865E 04

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N3 INICIO = 3 FIM = 46 N. DE PARES = 44

T95 = 1.6820

T975 = 2.0181

T99 = 2.4185

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.7320823E-02

B = 0.4525656E 00

COEF. DE CORRELACAO R= 0.996295E 00 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.511964E-05

VARIACAO EXPLICADA R2= 0.992604E 00 VAR. EXPLICADA S2E= 0.288559E-01

VAR. INEXPLICADA 1-R2= 0.739553E-02 D. PADRAO INEX. SI= 0.226266E-02

COEF. DE ALIENACAO = 0.859972E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.169882E 00

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

F = 0.5637103E 04

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N4 INICIO = 17 FIM = 46 N. DE PARES = 30

T95 = 1.7011

T975 = 2.0484

T99 = 2.4671

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.1157320E-01

B = 0.4198811E 00

COEF. DE CORRELACAO R= 0.998032E 00 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.174593E-C5

VARIACAO EXPLICADA R2= 0.996069E 00 VAR. EXPLICADA S2E= 0.123881E-01

VAR. INEXPLICADA 1-R2= 0.393068E-C2 D. PADRAO INEX. SI= 0.132133E-02

COEF. DE ALIENACAO = 0.626951E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.111302E 00

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

F = 0.7095443E 04

ANALISE DE VARIANCIA

	SCPA DCS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA	F	N.PARES
TOTAL	0.3190952E-C1	45			
EXPLICACC	0.3165227E-C1	1	0.3165227E-01	0.5413865E C4	46
INEXPLICACC	0.2572468E-C3	44	0.5846519E-05		
TOTAL	0.3190952E-C1	45			
EXPLICACC	0.3165227E-C1	1	0.3165227E-01	0.5413865E C4	46
INEXPLICACC	0.2572468E-C3	44	0.5846519E-05		
TOTAL	0.2907500E-C1	43			
EXPLICACC	0.2885998E-C1	1	0.2885998E-01	0.5637103E C4	44
INEXPLICACC	0.2150251E-03	42	0.5119647E-05		
TOTAL	0.1242707E-C1	29			
EXPLICACC	0.1238818E-C1	1	0.1238818E-01	0.7095443E C4	30
INEXPLICACC	0.4888620E-C4	28	0.1745935E-05		

INTERVALO DE CONFIANCIA DE ALFA

N/CONFIANCIA	95	97.5	99	MEDIA(Y)
N1	0.00059900	0.00071850	0.00086064	0.04062585
N2	0.00059900	0.00071850	0.00086064	0.04062585
N3	0.00057374	0.00068839	0.00082497	0.04229921
N4	0.00041037	0.00049416	0.00059516	0.05544389

INTERVALO DE CONFIANCIA DE BETA

N/CONFIANCIA	95	97.5	99
N1	0.01043882	0.01252137	0.01499843
N2	0.01043882	0.01252137	0.01499843
N3	0.01013863	0.01216455	0.01457805
N4	0.00847942	0.01021060	0.01229768

N1 N = 46

ANALISE DA REGRESSAO

DEF. ESPEC. (X)	D. ESP./TENSSES (YCBS)	YCALC. (YC)	DESVIO (YOBSS-YC)/SINEX.
0.0020016	0.0031933	C.0076857	-1.8579571
0.0040032	0.0044304	C.0086007	-1.7247525
0.0060048	0.0057711	C.0095157	-1.5486879
0.0080064	0.0072284	C.0104307	-1.3243935
0.0100080	0.0085212	C.0113457	-1.1681451
0.0120096	0.0098969	C.0122607	-0.9776275
0.0140112	0.0111577	C.0131757	-0.8345941
0.0160128	0.0124369	C.0140907	-0.6839847
0.0180144	0.0136559	C.0150057	-0.5582680
0.0200160	0.0149327	C.0159207	-0.4086334
0.0220176	0.0161304	C.0168358	-0.2917175
0.0240192	0.0174152	C.0177508	-0.1387786
0.0260208	0.0184497	C.0186658	-0.0893604
0.0280224	0.0196728	C.0195808	0.0380621
0.0300240	0.0206303	C.0204958	0.0556381
0.0320256	0.0219491	C.0214108	0.2226257
0.0360288	0.0243444	C.0232408	0.4564412
0.0400320	0.0264410	C.0250708	0.5667062
0.0440352	0.0286990	C.0269008	0.7436963
0.0480384	0.0304468	C.0287308	0.7097108
0.0520416	0.0324404	C.0305608	0.7773587
0.0560448	0.0343752	C.0323908	0.8207035
0.0600480	0.0366176	C.0342208	0.9912426
0.0640512	0.0384567	C.0360508	0.9950049
0.0680544	0.0402466	C.0378808	0.9784240
0.0720576	0.0421494	C.0397108	1.0085451
0.0760608	0.0440992	C.0415408	1.0580718
0.0800640	0.0457667	C.0433708	0.9908897
0.0840672	0.0476531	C.0452008	1.0141773
0.0880704	0.0496022	C.0470308	1.0634691
0.0920736	0.0511685	C.0488608	0.9544068
0.0960768	0.0532547	C.0506908	1.0603418
0.1000800	0.0549519	C.0525208	1.0054006
0.1040832	0.0566243	C.0543508	0.9402252
0.1120896	0.0602992	C.0580108	0.9464185
0.1200960	0.0641254	C.0616709	1.0151505
0.1281024	0.0673719	C.0653309	0.8441142
0.1361088	0.0705528	C.0689909	0.6459664
0.1441152	0.0725671	C.0726509	-0.0346426
0.1521216	0.0751741	C.0763109	-0.4701427
0.1601281	0.0780590	C.0799709	-0.7906915
0.1681345	0.0818158	C.0836309	-0.7506732
0.1761409	0.0839366	C.0872909	-1.3872652
0.1841473	0.0870626	C.0909509	-1.6081049
0.1921537	0.0900892	C.0946109	-1.5380531
0.2001601	0.0941210	C.0982709	-1.7163179

N2

N = 46

ANALISE DA REGRESSAO

DEF. ESPEC.
(X)D. ESP./TENSSES
(YCBS)YCALC.
(YC)DESVIO
(Y OBS - YC)/SINEX.

0.0020016	0.0031933	C.0076857	-1.8579571
0.0040032	0.0044304	C.0086007	-1.7247525
0.0060048	0.0057711	C.0095157	-1.5486879
0.0080064	0.0072284	C.0104307	-1.3243935
0.0100080	0.0085212	C.0113457	-1.1681451
0.0120096	0.0098969	C.0122607	-0.9776275
0.0140112	0.0111577	C.0131757	-0.8345941
0.0160128	0.0124369	C.0140907	-0.6839847
0.0180144	0.0136559	C.0150057	-0.5582680
0.0200160	0.0149327	C.0159207	-0.4086334
0.0220176	0.0161304	C.0168358	-0.2917175
0.0240192	0.0174152	C.0177508	-0.1387786
0.0260208	0.0184497	C.0186658	-0.0893604
0.0280224	0.0196728	C.0195808	0.0380621
0.0300240	0.0206303	C.0204958	0.0556381
0.0320256	0.0215491	C.0214108	0.2226257
0.0360288	0.0242444	C.0232408	0.4564412
0.0400320	0.0264410	C.0250708	0.5667062
0.0440352	0.0286990	C.0269008	0.7436963
0.0480384	0.0304468	C.0287308	0.7097108
0.0520416	0.0324404	C.0305608	0.7773587
0.0560448	0.0343752	C.0323908	0.8207035
0.0600480	0.0366176	C.0342208	0.9912426
0.0640512	0.0384567	C.0360508	0.9950049
0.0680544	0.0402460	C.0378808	0.9784240
0.0720576	0.0421494	C.0397108	1.0085451
0.0760608	0.0440992	C.0415408	1.0580718
0.0800640	0.0457667	C.0433708	0.9908897
0.0840672	0.0476531	C.0452008	1.0141773
0.0880704	0.0496022	C.0470308	1.0634691
0.0920736	0.0511685	C.0488608	0.9544068
0.0960768	0.0532547	C.0506908	1.0603418
0.1000800	0.0549519	C.0525208	1.0054006
0.1040832	0.0566243	C.0543508	0.9402252
0.1120896	0.0602952	C.0580108	0.9464185
0.1200960	0.0641254	C.0616709	1.0151505
0.1281024	0.0673719	C.0653309	0.8441142
0.1361088	0.0705528	C.0689909	0.6459664
0.1441152	0.0725671	C.0726509	-0.0346426
0.1521216	0.0751741	C.0763109	-0.4701427
0.1601281	0.0780590	C.0799709	-0.7906915
0.1681345	0.0818158	C.0836309	-0.7506732
0.1761409	C.0839366	C.0872909	-1.3872652
0.1841473	0.0870626	C.0909509	-1.6081049
0.1921537	C.0908920	C.0946109	-1.5380531
0.2001601	0.0941210	C.0982709	-1.7163179

N3

N = 44

ANALISE DA REGRESSAO

DEF. ESPEC.
(X)D. ESP./TENSORES
(YCBS)YCALC.
(YC)DESVIO
(YCBS-YC)/SINEX.

0.0060048	0.0057711	0.0100383	-1.8859492
0.0080064	0.0072284	0.0109442	-1.64222185
0.0100080	0.0085212	0.0118501	-1.4712041
0.0120096	0.0098969	0.0127559	-1.2635686
0.0140112	0.0111577	0.0136618	-1.1066762
0.0160128	0.0124369	0.0145676	-0.9416877
0.0180144	0.0136559	0.0154735	-0.8033005
0.0200160	0.0149327	0.0163793	-0.6393539
0.0220176	0.0161304	0.0172852	-0.5103714
0.0240192	0.0174152	0.0181910	-0.3428937
0.0260208	0.0184497	0.0190969	-0.2860416
0.0280224	0.0196728	0.0200028	-0.1458314
0.0300240	0.02066303	0.0209086	-0.1230070
0.0320256	0.0219491	0.0218145	0.0594836
0.0360288	0.0243444	0.0236262	0.3174309
0.0400320	0.0264410	0.0254379	0.4433481
0.0440352	0.0286990	0.0272496	0.6405699
0.0480384	0.0304468	0.0290613	0.6123362
0.0520416	0.0324404	0.0308730	0.6927114
0.0560448	0.0343752	0.0326847	0.7471154
0.0600480	0.0366176	0.0344965	0.9374435
0.0640512	0.0384567	0.0363082	0.9495483
0.0680544	0.0402466	0.0381199	0.9399137
0.0720576	0.0421494	0.0399316	0.9801864
0.0760608	0.0440992	0.0417433	1.0411966
0.0800640	0.0457667	0.0435550	0.9774880
0.0840672	0.0476531	0.0453667	1.0104581
0.0880704	0.0496022	0.0471784	1.0712174
0.0920736	0.0511685	0.0489902	0.9627540
0.0960768	0.0532547	0.0508019	1.0840441
0.1000800	0.0549519	0.0526136	1.0334164
0.1040832	0.0566243	0.0544253	0.9718521
0.1120896	0.0602992	0.0580487	0.9946391
0.1200960	0.0641254	0.0616721	1.0842570
0.1281024	0.0673719	0.0652956	0.9176506
0.1361088	0.0705528	0.0689190	0.7220719
0.1441152	0.0725671	0.0725424	0.0109190
0.1521216	0.0751741	0.0761658	-0.4383021
0.1601281	0.0780590	0.0797893	-0.7646826
0.1681345	0.0818158	0.0834127	-0.7057490
0.1761409	0.0839366	0.0870361	-1.3698638
0.1841473	0.0870626	0.0906595	-1.5896918
0.1921537	0.0908920	0.0942830	-1.4986635
0.2001601	0.0941210	0.0979064	-1.6729945

N4 N = 30		ANALISE DA REGRESSAO	
DEF. ESPEC. (X)	C. ESP./TENSORES (YCBS)	YCALC. (YC)	DESVIO (YOBS-YC)/SINEX.
0.0360288	0.0242444	0.0267010	-1.7834597
0.0400320	0.0264410	0.0283818	-1.4688158
0.0440352	0.0286990	0.0300627	-1.0320698
0.0480384	0.0304468	0.0317436	-0.9813945
0.0520416	0.0324404	0.0334245	-0.7447370
0.0560448	0.0343752	0.0351053	-0.5525526
0.0600480	0.0366176	0.0367862	-0.1276114
0.0640512	0.0384567	0.0384671	-0.0078602
0.0680544	0.0402466	0.0401479	0.0746642
0.0720576	0.0421494	0.0418288	0.2426501
0.0760608	0.0440992	0.0435097	0.4461470
0.0800640	0.0457667	0.0451905	0.4360750
0.0840672	0.0476531	0.0468714	0.5915561
0.0880704	0.0496022	0.0485523	0.7946232
0.0920736	0.0511685	0.0502331	0.7079131
0.0960768	0.0532547	0.0519140	1.0146334
0.1000800	0.0549519	0.0535949	1.0269612
0.1040832	0.0566243	0.0552758	1.0205612
0.1120896	0.0602992	0.0586375	1.2576274
0.1200960	0.0641254	0.0619992	1.6091351
0.1281024	0.0673719	0.0653610	1.5218836
0.1361088	0.0705528	0.0687227	1.3850198
0.1441152	0.0725671	0.0720845	-0.3652854
0.1521216	0.0751741	0.0754462	-0.2059164
0.1601281	0.0780590	0.0788079	-0.5667655
0.1681345	0.0818158	0.0821697	-0.2678018
0.1761409	0.0839366	0.0855314	-1.2069879
0.1841473	0.0870626	0.0888931	-1.3853763
0.1921537	0.09008920	0.0922549	-1.0314534
0.2001601	0.0941210	0.0956166	-1.1319327

ESCCLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
LABRATORIO DE MECANICA DCS SOLOS

ENSAIO = TRIAXIAL RAPIDO 92-A

SIGMA 3 = 1.50 KG/CM2

LOCAL = PEDREIRA

I	DEF. ESPECIFICA (PCRC.)	TENSOES (KG/CM2)	D.ESP./TENSOES (CM2/KG)
1	0.15968	C.435286	C.00458733
2	0.35936	C.695064	C.00574566
3	0.59904	0.867088	C.00690865
4	0.79872	1.003802	C.00795696
5	0.99840	1.105414	C.00903192
6	1.19808	1.189371	C.01007324
7	1.39776	1.262658	C.01107000
8	1.59744	1.328771	C.01202196
9	1.79712	1.398032	C.01285466
10	1.99680	1.460162	C.01367522
11	2.19648	1.508376	C.01456192
12	2.39616	1.563192	C.01532866
13	2.59584	1.604177	C.01618179
14	2.79552	1.658548	C.01685526
15	2.99520	1.695758	C.01766294
16	3.19488	1.739556	C.01836610
17	3.39424	1.823203	C.01971391
18	3.59361	1.906098	C.02095174
19	4.39297	1.968225	C.02231945
20	4.79233	2.036410	C.02353322
21	5.19169	2.100647	C.02471473
22	5.59105	2.154287	C.02595193
23	5.99041	2.201038	C.02721631
24	6.38977	2.253748	C.02835177
25	6.78913	2.309180	C.02940063
26	7.18849	2.333167	C.03082981
27	7.58785	2.386128	C.03179988
28	7.98722	2.407921	C.03317059
29	8.38658	2.455010	C.03416108
30	8.78594	2.479317	C.03543693
31	9.18530	2.509656	C.03659984
32	9.58466	2.552252	C.03755374
33	9.98402	2.578669	C.03871773
34	10.38338	2.601625	C.03991114
35	11.18210	2.649717	C.04220113
36	11.98083	2.711883	C.04417900
37	12.77955	2.778574	C.04599319
38	13.57827	2.852640	C.04759896
39	14.37699	2.921879	C.04920461
40	15.17571	2.950858	C.05142815
41	15.97444	3.005866	C.05314421
42	16.77316	3.042081	C.05513712
43	17.57188	3.074136	C.05716039
44	18.37060	3.087673	C.05949659
45	19.16932	3.106083	C.06171543
46	19.96805	3.117868	C.06404390

DIFERENCA DE TENSOES MAXIMA = 3.117868 KG/CM2

DEF. ESPECIFICA CORRESPONDENTE = 19.968051 PCRC.

95 PCRC. DA DIF. TENSAO MAXIMA = 2.961975 KG/CM2

70 PCRC. DA DIF. TENSAO MAXIMA = 2.182508 KG/CM2

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N1 INICIO = 22 FIM = 41 N. DE PARES = 20

$$T_{95} = 1.7341 \quad T_{975} = 2.1009 \quad T_{99} = 2.5524$$

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.1196073E-01

B = 0.2632900E 00

CDEF. DE CORRELACAO R= 0.998127E 00 VAR. INEXPLICADA S2I= 0.273549E-06

VARIACAC EXPLICADA R2= 0.996258E CC VAR. EXPLICADA S2E= 0.131102E-02

VAR. INEXPLICACA 1-R2= C.374169E-02 D. PADRAO INEX. SI= 0.523019E-03

COEF. DE ALIENACAO = 0.611694E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.362081E-01

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

DESVIO = 2.57*SI

$$F = 0.4792648E\ 04$$

D1 = 0.1344160E-02

ANALISE DE VARIANCIA

	SOMA CCS QUADRADOS	G.O.	VARIANCIA	F	N.PARES
TOTAL	0.1315951E-C2	19			
EXPLICACC	0.1311027E-C2	1	0.1311027E-C2	0.4792648E 04	20
INEXPLICACC	0.4523895E-C5	18	0.2735497E-Q6		

<u>CONFIANCA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE ALFA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE BETA</u>
95.0	C.2028043E-03	C.6595092E-02
97.5	C.2457019E-03	C.7990098E-02
99.0	C.2985051E-03	C.9707233E-02

$$\text{MEDIA (Y)} = 0.03814253$$

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N° INICIO = 5 FIM = 41 N. DE PARES = 37
T95 = 1.6896 T975 = 2.0301 T99 = 2.4377

$$T_{975} = 2.0301$$
$$T99 = 2.4377$$

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.8563149E-02

8 = 0.2946797E 00

COEF. DE CCRRELACAC R= 0.996304E CO VAR. INEXPLICADA S2I= 0.126823E-05

VARIACAC EXPLICADA R2= 0.592621E 00 VAR. EXPLICADA S2E= 0.597178E-02

VAR. INEXPLICADA 1-R2= C.737815E-C2 D. PADRAO INEX. SI= 0.112615E-C2

COEF. DE ALIENACAC = 0.858961E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.772773E-01

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

$$\text{DESVIO} = 2.57 \cdot \text{SI}$$

F = 0.4708734E 04

D1 = 0.2894229E-02

ANALISE DE VARIANCIA

	SCMA DCS CUADRADOS	G.L.	VARIANCIA	F	N.PARES
TOTAL	0.6016169E-C2	36			
EXPLICADO	0.5971781E-C2	1	0.5971781E-02	0.4708734E 04	37
INEXPLICADO	0.4438822E-C4	35	0.1268234E-05		

<u>CONFIANCA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE ALFA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE BETA</u>
95.0	C.3128116E-C3	0.7255746E-02
97.5	C.3758516E-C3	0.8717975E-02
99.0	C.4513144E-C3	C.1046835E-C1

$$\text{MEDIA (Y)} = 0.02815587$$
TENSSES
(KG/CM²)

TENSÃO/TENSÃO MAX.
(PORC.)

D.ESP./TENSÃO
(CM²/KG)

1.105414

35.4541

0.009031

ANALISE DA REGRESSAO

```

CONTROLE N*      INICIC = 8      FIM = 41      N. DE PARES = 34
T95 = 1.6939      T975 = 2.0369      T99 = 2.4487
COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR      A = 0.9182007E-02
      B = 0.2885186E 00
COEF. DE CORRELACAO R= 0.997139E 00      VAR. INEXPLICADA S2I= 0.882862E-C6
VARIACAO EXPLICADA R2= 0.994286E 00      VAR. EXPLICADA      S2E= 0.491658E-02
VAR. INEXPLICADA 1-R2= 0.571334E-02      D. PADRAO INEX.      SI= 0.939607E-C3
COEF. DE ALIENACAO      = 0.755866E-C1      D. PADRAO EXPLIC. SE= 0.701183E-C1
      COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA      DESVIO = 2.24*SI
      F = 0.5568917E 04      D2 = 0.2104720E-C2

```

ANALISE DE VARIANCIA

	SCMA CCS GLACRADCS	G.L.	VARIANCIA	F	N.PARES
TOTAL	0.4944839E-C2	33			
EXPLICADO	0.4916587E-C2	1	0.4916587E-C2	0.5568917E 04	34
INEXPLICADO	0.2825159E-C4	32	0.8828622E-06		

<u>CONFIANCA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE ALFA</u>	<u>INTERV. DE CONF. DE BETA</u>
95.0	0.2729573E-C3	0.6549018E-02
97.5	0.3282288E-C3	0.7875137E-02
99.0	0.3945868E-C3	0.9467253E-02

MEDIA (Y) = 0.02975271

TENSCES (KG/CM ²)	TENSAO/TENSAO MAX. (PERC.)	D.ESP./TENSAO (CM ² /KG)
1.328771	42.6179	0.012021

ANALISE DA REGRESSAO

CONTROLE N* INICIO = 13 FIM = 41 N. DE PARES = 29

T95 = 1.7023

T975 = 2.0518

T99 = 2.4727

COEFICIENTE DE REGRESSAO LINEAR A = 0.1010206E-01

B = 0.2797381E 00

COEF. DE CORRELACAO R = 0.997807E 00 VAR. INEXPLICADA S2I = 0.555781E-06

VARIACAO EXPLICADA R2 = 0.995618E 00 VAR. EXPLICADA S2E = 0.341014E-02

VAR. INEXPLICADA 1-R2 = 0.438115E-02 D. PADRAO INEX. SI = 0.745507E-03

COEF. DE ALIENACAO = 0.661902E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE = 0.583964E-01

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

DESVIO = 1.96*SI

F = 0.6135764E 04

D3 = 0.1461194E-02

ANALISE DE VARIANCIA

	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA	F	N. PARES
TOTAL	0.3425151E-02	28			
EXPLICADO	0.3410145E-02	1	0.3410145E-02	0.6135764E 04	29
INEXPLICADO	0.1500610E-04	27	0.5557816E-06		

CONFIANCA	INTERV. DE CONF. DE ALFA	INTERV. DE CONF. DE BETA
95.0	0.2358002E-03	0.6082868E-02
97.5	0.2840456E-03	0.7327440E-02
99.0	0.3423138E-03	0.8830569E-02

MEDIA (Y) = 0.03252241

TENSORES
(KG/CM2)

TENSAO/TENSAO MAX.
(PORC.)

D.ESP./TENSAO
(CM2/KG)

1.604177

51.4510

0.016181

ESCCLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SAO PAULO
LABCRATORIO DE MECANICA DOS SOLOS
ENSAIO TRIAXIAL RAPIDO

NUMERO DO ENSAIO = 16- 17- 18- LOCAL = CRECHE

P.E. APAR. SECC (KG/CM ³)	P.E. A.S. (MEDIA) (KG/CM ³)	UMIDADE INICIAL (PORC.)	UMIDADE FINAL (PORC.)
GAMAC1 = 1.517			WF1 = 0.000
GAMAC2 = 1.520	GAMACM = 1.517	WI = 29.700	WF2 = 0.000
GAMAC3 = 1.515			WF3 = 0.000

ENSAIO 16 SIGMA31 = 0.5 KG/CM²

A31 = 0.180100E-01 B31 = 0.571000E 00 SIG.RUP31 = 0.154200E 01
E1 = 0.555247E 02 SIG.ULT31 = 0.175131E 01 RF31 = 0.880482E 00

ENSAIO 17 SIGMA32 = 1.5 KG/CM²

A32 = 0.619000E-02 B32 = 0.603000E 00 SIG.RUP32 = 0.168200E 01
E2 = 0.161550E 03 SIG.ULT32 = 0.165837E 01 RF32 = 0.101424E 01

ENSAIO 18 SIGMA33 = 3.0 KG/CM²

A33 = 0.409000E-02 B33 = 0.530000E 00 SIG.RUP33 = 0.188900E 01
E3 = 0.244498E 03 SIG.ULT33 = 0.188679E 01 RF33 = 0.100117E 01

COEFICIENTE DA REGRESSAO

LCG K = 0.2014482E 01

K = 0.1033909E 03

B=N = 0.8450851E 00

ANALISE DA REGRESSAO

COEF. DE CORRELACAO R = 0.998299E 00 VAR. INEXPLICADA S2I = 0.749685E-03
VARIACAO EXPLICADA R2 = 0.996602E 00 VAR. EXPLICADA S2E = 0.215912E 00
VAR. INEXPLICADA 1-R2 = 0.339743E-02 D. PADRAO INEX. SI = 0.273803E-01
COEF. DE ALIENACAO = 0.582875E-01 D. PADRAO EXPLIC. SE = 0.468948E 00

COEFICIENTE DE SIGNIFICANCIA

F = 0.2933397E 03

INTERVALO DE CONFIANCA

CONFIANCA	INTERV. DE CCNF. DE ALFA	INTERV. DE CONF. DE BETA
95.0 PCRC.	C.9988802E-C1	0.3117810E CC
97.5 PCRC.	C.2008604E CC	0.6269468E 00
99.0 PCRC.	C.5030237E CC	0.1570090E 01
MEDIA(Y) = C.2113690E C1		B=N = 0.8450851E 00

INTERVALO DE CONFIANCA DA MEDIA

CONFIANCA	YCALC(YC)	INTERVALO	YC-INT.	YC+INT.
95.0 PCRC.+	0.1760086E C1	C.1643063E CC	0.1595780E 01	0.1924393E 01
	0.2163294E C1	C.1015506E CC	0.2061744E 01	0.2264845E 01
	0.2418190E C1	0.1501885E CC	0.2268001E 01	0.2568378E 01
97.5 PCRC.+	C.1760086E C1	C.3303964E CC	0.1429690E 01	0.2090483E C1
	0.2163294E C1	0.2042037E CC	0.1959091E 01	0.2367498E 01
	C.2418190E C1	C.3020076E CC	C.2116182E 01	0.2720197E C1
99.0 PCRC.+	0.1760086E C1	C.8274264E CC	0.9326603E 00	C.2587513E 01
	C.2163294E C1	C.5113964E CC	C.1651898E 01	0.2674691E 01
	C.2418190E C1	C.7563310E CC	C.1661859E 01	C.3174521E 01

INTERVALO DE CONFIANCA DA REGRESSAO

CONFIANCA	YCALC(YC)	INTERVALO	YC-INT.	YC+INT.
95.0 PCRC.+	0.1760086E C1	C.2385988E CC	C.1521487E C1	C.1998685E 01
	0.2163294E C1	C.2006125E CC	0.1962682E 01	0.2363907E 01
	C.2418190E C1	C.2291057E CC	C.2189084E 01	0.2647295E 01
97.5 PCRC.+	0.1760086E C1	C.4797880E CC	0.1280298E 01	C.2239874E 01
	0.2163294E C1	C.4034029E CC	C.1759891E 01	0.2566697E 01
	C.2418190E C1	C.4606988E CC	C.1957491E 01	0.2878888E 01
99.0 PCRC.+	0.1760086E C1	C.1201554E C1	C.5585322E CC	0.2961641E 01
	C.2163294E C1	C.1010259E C1	C.1153034E 01	0.3173554E 01
	0.2418190E C1	C.1153748E 01	C.1264441E 01	0.3571938E C1

DESVIO DA REGRESSAO

TENSAC CONFIN.	MCD.ELAST.,	Y(CBS)	YCALC(YC)	DESVIC (YOBS-YC)/SI
0.5	E1= 0.555247E C2	0.174448E C1	0.176008E C1	-0.569768E 00
1.5	E2= 0.161550E C3	0.220830E C1	0.216329E C1	0.164404E 01
3.0	E3= 0.244498E C3	0.238827E C1	0.241819E C1	-0.109251E 01

RAZAO DE RUPTURA

SIG.ULT1= 0.1751313E C1	SIG.RUP1= 0.1542000E C1	RF1= 0.8804820E 00
SIG.ULT2= 0.1658374E C1	SIG.RUP2= 0.1682000E C1	RF2= 0.1014245E C1
SIG.ULT3= 0.1886792E C1	SIG.RUP3= 0.1889000E C1	RF3= 0.1001170E C1

$$A \text{ REGRESSAO} - Y = A+B*X1$$

$$Y = RF (3.C)$$

$$X1 = W$$

$$A = 0.3498631E 00$$

$$B = 0.2123893E-01$$

ANALISE DE VARIANCIA

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	PCR X1	C.4389911E-C1	1	0.4389911E-01
INEXPLICACC	PCR X1	C.1946221E CO	21	0.9267719E-02

$$F = 0.4736776E C1$$

$$A \text{ REGRESSAC} - Y = A+B*X1+C*X2$$

$$Y = RF (3.C)$$

$$X1 = W$$

$$X2 = W**2$$

$$A = 0.3867229E 01$$

$$B = -0.2577553E 00$$

$$C = 0.5496016E-02$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO MULTIPLA

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		C.2385212E CO	22	
EXPLICACC		C.5795157E-C1	2	0.2897578E-C1
INEXPLICACC		C.1805696E CO	20	0.9028482E-02

$$F = 0.3209375E C1$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO PARCIAL

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	PCR X1	C.4389911E-C1	1	
INEXPLICACC	PCR X1	C.1946221E CO	21	
EXPLICACC	PCR X2	C.1405245E-C1	1	0.1405245E-01
INEXPLICACC	PCR X1-X2	C.1805696E CO	20	0.9028482E-02
EXPLICACC	PCR X1-X2	C.5795157E-C1	2	

$$F = 0.1556458E 01$$

$$A \text{ REGRESSAO} - Y = A+B*X1+C*X2+D*X3$$

$$Y = RF (3.C)$$

$$X1 = W$$

$$X2 = W**2$$

$$X3 = W**3$$

$$A = 0.4222696E 02$$

$$B = -0.4756696E 01$$

$$C = 0.1806989E 00$$

$$D = -0.2265930E-02$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO MULTIPLA

	SCMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL	C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	C.714614CE-C1	3	0.2382046E-01
INEXPLICACC	C.1670598E CO	19	0.8792621E-02

$$F = C.2709142E C1$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO PARCIAL

		SCMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	PCR X1	C.4389911E-C1	1	
INEXPLICACC	PCR X1	C.1946221E CO	21	
EXPLICACC	PCR X2	C.1405245E-C1	1	
EXPLICACC	PCR X1-X2	C.5795157E-C1	2	
INEXPLICACC	PCR X1-X2	C.1805696E CO	20	
EXPLICACC	PCR X3	C.1350982E-C1	1	0.1350982E-01
INEXPL.	PCR X1-X2-X3	C.1670598E CO	19	0.8792621E-02

$$F = C.1536495E C1$$

A REGRESSAO - Y = A+B*X1+C*X2+D*X3+E*X4

Y = RF (3.0)	A = C.3133566E 02
X1 = W	B = -0.3549426E 01
X2 = W**2	C = C.1332285E CO
X3 = W**3	D = -0.1661853E-02
X4 = W*GAMAC	E = C.2460985E-01

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO MULTIPLA

	SCMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL	C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	C.9286818E-C1	4	0.2322204E-01
INEXPLICACC	C.1456330E CO	18	0.8090723E-02

$$F = C.2870206E C1$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO PARCIAL

		SCMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		C.2385212E CO	22	
EXPLICACC	PCR X1	C.4389911E-C1	1	
INEXPLICACC	PCR X1	C.1946221E CO	21	
EXPLICACC	PCR X2	C.1405245E-C1	1	
EXPLICACC	PCR X1-X2	C.5795157E-C1	2	
INEXPLICACC	PCR X1-X2	C.1805696E CO	20	
EXPLICACC	PCR X3	C.1350982E-C1	1	
INEXPL.	PCR X1-X2-X3	C.1670598E CO	19	
EXPLICACC	PCR X4	C.2142678E-C1	1	0.2142678E-01
INEXPL. PCR	X1-X2-X3-X4	C.1456330E CO	18	0.8090723E-02

$$F = C.2648315E C1$$

Y	X1	X2	X3	X4
0.10010E C1	0.29700E 02	0.88208E 03	0.26198E 05	0.45054E 02
0.97200E C0	0.28200E 02	0.79524E 03	0.22425E 05	0.41200E 02
0.10480E C1	0.27500E 02	0.75625E 03	0.20756E 05	0.42322E 02
0.79000E C0	0.27300E 02	0.74529E 03	0.20346E 05	0.43816E 02
0.93900E C0	0.27200E 02	0.73983E 03	0.20123E 05	0.42377E 02
0.96000E C0	0.27200E 02	0.73983E 03	0.20123E 05	0.42765E 02
0.98500E C0	0.27100E 02	0.73441E 03	0.19902E 05	0.42159E 02
0.99300E C0	0.26700E 02	0.71289E 03	0.19034E 05	0.40370E 02
0.81300E C0	0.26300E 02	0.69169E 03	0.18191E 05	0.39739E 02
0.98700E C0	0.26300E 02	0.69169E 03	0.18191E 05	0.40423E 02
0.85800E C0	0.26200E 02	0.68644E 03	0.17984E 05	0.38173E 02
0.82500E C0	0.25900E 02	0.67081E 03	0.17373E 05	0.38254E 02
0.87800E C0	0.25600E 02	0.65536E 03	0.16777E 05	0.39005E 02
0.87600E C0	0.24800E 02	0.61504E 03	0.15252E 05	0.37968E 02
0.95300E C0	0.24800E 02	0.61504E 03	0.15252E 05	0.40424E 02
0.60700E C0	0.24400E 02	0.59536E 03	0.14526E 05	0.35794E 02
0.72100E C0	0.23700E 02	0.56169E 03	0.13312E 05	0.35313E 02
0.94000E C0	0.23600E 02	0.55696E 03	0.13144E 05	0.38043E 02
0.77200E C0	0.23200E 02	0.53824E 03	0.12487E 05	0.34428E 02
0.84500E C0	0.22800E 02	0.51984E 03	0.11852E 05	0.36388E 02
0.94800E C0	0.22800E 02	0.51984E 03	0.11852E 05	0.33994E 02
0.90700E C0	0.22200E 02	0.49284E 03	0.10941E 05	0.36186E 02
0.85600E C0	0.21800E 02	0.47524E 03	0.10360E 05	0.34269E 02

$$A \text{ REGRESSAO} - Y = A+B*X1$$

$$Y = E/K (3.0)$$

$$X1 = N$$

$$A = 0.9928407E 00$$

$$B = 0.1232228E 01$$

ANALISE DE VARIANCIA

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		0.4246627E 01	17	
EXPLICADO	POR X1	0.3382544E 01	1	0.3382544E 01
INEXPLICADO	POR X1	0.8640833E 00	16	0.5400520E-01

$$F = 0.6263367E 02$$

$$A \text{ REGRESSAO} - Y = A+B*X1+C*X2$$

$$Y = E/K (3.0)$$

$$X1 = N$$

$$X2 = N**2$$

$$A = 0.8861080E 00$$

$$B = 0.9660993E 00$$

$$C = 0.9905775E 00$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO MULTIPLA

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		0.4246627E 01	17	
EXPLICADO		0.3841548E 01	2	0.1920774E 01
INEXPLICADO		0.4050789E 00	15	0.2700526E-01

$$F = 0.7112592E 02$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO PARCIAL

		SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL		0.4246627E 01	17	
EXPLICADO	POR X1	0.3382544E 01	1	
INEXPLICADO	POR X1	0.8640833E 00	16	
EXPLICADO	POR X2	0.4590043E 00	1	0.4590043E 00
INEXPLICADO	POR X1-X2	0.4050789E 00	15	0.2700526E-01
EXPLICADO	POR X1-X2	0.3841548E 01	2	

$$F = 0.1699684E 02$$

$$A \text{ REGRESSAO} - Y = A+B*X1+C*X2+D*X3$$

$$Y = E/K (3.0)$$

$$X1 = N$$

$$X2 = N**2$$

$$X3 = N**3$$

$$A = 0.8719024E 00$$

$$B = 0.1083520E 01$$

$$C = 0.1091385E 01$$

$$D = -0.3834361E 00$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO MULTIPLA

	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL	0.4246627E 01	17	
EXPLICADO	0.3851312E 01	3	0.1283770E 01
INEXPLICADO	0.3953155E 00	14	0.2823682E-01

$$F = 0.4546441E 02$$

ANALISE DE VARIANCIA - CORRELACAO PARCIAL

	SOMA DOS QUADRADOS	G.L.	VARIANCIA
TOTAL	0.4246627E 01	17	
EXPLICADO	POR X1 0.3382544E 01	1	
INEXPLICADO	POR X1 0.8640833E 00	16	
EXPLICADO	POR X2 0.4590043E 00	1	
EXPLICADO	POR X1-X2 0.3841548E 01	2	
INEXPLICADO	POR X1-X2 0.4050789E 00	15	
EXPLICADO	POR X3 0.9763385E-02	1	0.9763385E-02
INEXPL.	POR X1-X2-X3 0.3953155E 00	14	0.2823682E-01

$$F = 0.3457678E 00$$

V	X1	X2	X3	X4
0.10500E 01	0.19000E 00	0.36100E-01	0.68589E-02	0.00000E 00
0.19900E 01	0.76900E 00	0.59136E 00	0.45475E 00	0.00000E 00
0.12600E 01	0.24100E 00	0.58081E-01	0.13997E-01	0.00000E 00
0.11500E 01	0.22900E 00	0.52441E-01	0.12008E-01	0.00000E 00
0.25100E 01	0.71700E 00	0.51408E 00	0.36860E 00	0.00000E 00
0.17300E 01	0.66100E 00	0.43692E 00	0.28880E 00	0.00000E 00
0.79000E 00	-0.14000E 00	0.19599E-01	-0.27439E-02	0.00000E 00
0.11700E 01	0.17400E 00	0.30276E-01	0.52680E-02	0.00000E 00
0.16400E 01	0.46700E 00	0.21808E 00	0.10184E 00	0.00000E 00
0.86000E 00	0.60000E-01	0.36000E-02	0.21600E-03	0.00000E 00
0.74000E 00	-0.15800E 00	0.24963E-01	-0.39443E-02	0.00000E 00
0.13600E 01	0.30800E 00	0.94864E-01	0.29218E-01	0.00000E 00
0.68000E 00	-0.15600E 00	0.24335E-01	-0.37964E-02	0.00000E 00
0.59000E 00	-0.24800E 00	0.61504E-01	-0.15252E-01	0.00000E 00
0.13200E 01	0.42500E 00	0.18062E 00	0.76765E-01	0.00000E 00
0.73000E 00	-0.62700E 00	0.39312E 00	-0.24649E 00	0.00000E 00
0.11400E 01	0.25000E 00	0.62500E-01	0.15625E-01	0.00000E 00
0.11400E 01	0.67000E-01	0.44890E-02	0.30076E-03	0.00000E 00