

AILTON ALVES DINIZ

+ RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA SOLOS LATERÍTICOS: AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DA TEMPERATURA DE SECAGEM E ENERGIA MECÂNICA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento as exigências para obtenção do Grau de Mestre.

+ ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

JOÃO BATISTA QUEIROZ DE CARVALHO

Orientador

CAMPINA GRANDE - PB

ABRIL DE 1984





D585r     Diniz, Ailton Alves.  
          Resistência à compressão simples para solos lateríticos  
          : avaliação da metodologia e influência dos efeitos da  
          temperatura de secagem e energia mecânica / Ailton Alves  
          Diniz. - Campina Grande, 1984.  
          150 f.

          Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -  
          Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e  
          Tecnologia, 1984.

          "Orientação : Prof. Dr. João Batista Queiroz de  
          Carvalho".

          Referências.

          1. Mecânica dos Solos. 2. Geologia de Engenharia. 3.  
          Solos Lateríticos. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I.  
          Carvalho, João Batista Queiroz de. II. Universidade Federal  
          da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título


CDU 624.131(043)


RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA SOLOS LATERÍTICOS: AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DA TEMPERATURA DE SECAGEM E ENERGIA MECÂNICA.

AILTON ALVES DINIZ

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 27 DE ABRIL DE 1984.

  
\_\_\_\_\_  
JOÃO BATISTA QUEIROZ DE CARVALHO, Ph.D  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA, M.Sc.  
Componente da Banca

  
\_\_\_\_\_  
VALDES BORGES SOARES, M.Sc.  
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB

ABRIL DE 1984

## DEDICATÓRIA

À Memória de meu pai, Delmiro e da mi  
nha cunhada, Ivanice.

À minha mãe, Maria.

À minha esposa, Ionete.

Aos meus filhos, Patrícia, Ione, We  
lington e Daniele.

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor João Batista Queiroz de Carvalho do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela orientação, contínua assistência, estímulo e colaboração, tornando possível a realização deste trabalho.

Ao professor Francisco Barbosa de Lucena, do mesmo Departamento, pelo apoio e orientação.

Aos funcionários João Dantas da Mata, José de Assis Santana, pelo apoio recebido durante a realização dos trabalhos de laboratório.

Ao Acadêmico de Engenharia Civil Jeconias Dantas Costa e ao Acadêmico de Desenho Industrial Windsor Ramos da Silva, pelos serviços de datilografia e confecção dos desenhos, respectivamente.

A Universidade Federal da Paraíba e ao Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) pelo apoio recebido.

A todos funcionários e professores dos Laboratórios de Solos do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

## ÍNDICE

CAPÍTULO	I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO	II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	- INTRODUÇÃO	3
2.2	- INFLUÊNCIA DA METODOLOGIA DE ENSAIO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	3
2.3	- INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	6
2.4	- INFLUÊNCIA DA ENERGIA MECÂNICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	9
2.5	- CONCLUSÕES	11
CAPÍTULO	III - MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1	- INTRODUÇÃO	13
3.2	- MATERIAIS	13
3.2.1	- Seleção e Localização das Jazidas	13
3.2.2	- Coleta e Identificação das Jazidas Selecionadas	14
3.2.3	- Características dos Solos Selecionados para a Pesquisa	14
3.3	- MÉTODOS DE ENSAIOS	28
3.3.1	- Introdução	28

3.3.2 - Determinações da Massa Específica <u>A</u> parente Seca e do Teor de Umidade	28
3.3.3 - Massa Específica das Partículas <u>Sól</u> <u>i</u> das	29
3.3.4 - Preparação das Amostras para a Deter <u>m</u> inação da Resistência à Com <u>pr</u> essão Simples	29
3.3.5 - Determinação da Resistência à <u>Com</u> pressão Simples	30
CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 - INTRODUÇÃO	31
4.2 - AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA EMPREGADA PARA A DE <u>TER</u> MINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO <u>SIM</u> PLES	31
4.3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA <u>RE</u> SISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	55
4.3.1 - Introdução	55
4.3.2 - Análise dos Resultados Obtidos: <u>Valo</u> res de Resistência à Com <u>pr</u> essão <u>Sim</u> ples Obtidos à 60°C com Relação aos Valores da Resistência à Com <u>pr</u> essão Simples Obtidos a 25°C	56
4.3.3 - Análise dos Resultados Obtidos: <u>Valo</u> res de Resistência à Com <u>pr</u> essão <u>Sim</u> ples Obtidos à 110°C com Relação aos Valores da Resistência à Com <u>pr</u> essão Simples Obtidos a 25°C	57

4.3.4	- Causas para as Variações dos Valores da Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos Devido ao Aumento da Temperatura de Secagem	67
4.3.5	- Influência da Energia Mecânica na Resistência à Compressão Simples	71
4.3.6	- Influência Combinada da Temperatura de Secagem e da Energia Mecânica na Resistência à Compressão Simples	73
CAPÍTULO	V - CONCLUSÕES	75
CAPÍTULO	VI - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	77
BIBLIOGRAFIA		79
APÊNDICE	I - MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	86
APÊNDICE	II - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE VERSUS MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA AS TEMPERATURAS DE 25°C, 60°C E 110°C	90
APÊNDICE	III - COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS	139



## RESUMO

Esta dissertação apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com vários solos lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil, visando avaliar a metodologia de ensaio utilizada para a determinação do valor da resistência à compressão simples, como também o efeito do aumento da temperatura de secagem e da energia mecânica na mesma resistência. Finalmente, analisa-se a relação entre este aumento de temperatura e a composição química e mineralógica dos solos selecionados.

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia de ensaio utilizada na determinação da resistência à compressão simples incluindo-se a moldagem dos corpos de prova pode ser considerada como adequada em virtude da repetibilidade encontrada apresentar-se dentro de uma faixa estreita de variação.

Quanto ao efeito da influência da temperatura de secagem, os resultados obtidos mostraram que os valores da resistência à compressão simples foram afetados, existindo tendência a aumentar ou diminuir a resistência à compressão simples dependendo do solo. Com relação ao efeito do aumento da energia mecânica observa-se para quase todos os solos aumento no valor da resistência à compressão simples, as poucas exceções observadas foram no sentido de repetir os valores.

Finalmente procurou-se relacionar o comportamento dos solos em termos do efeito do aumento da temperatura na resistência à compressão simples, com a composição química e mineralógica; observou-se desta avaliação que, aparentemente, não existe relação direta do tipo "quanto maior os teores dos componentes químicos maior o efeito da temperatura de secagem", para os solos estudados.

## ABSTRACT

This thesis presents the results of an investigation carried out on various lateritic soils to evaluate the methodology of testing used to assess unconfined compressive strength, as well as analyse the effect of increasing the drying temperature on the unconfined compressive strength values and its relationship with chemical and mineralogical compositions.

The results obtained allowed it to be concluded that the methodology of testing used to determine the unconfined compressive strength (UCS) can be considered adequate as the UCS values obtained were within the repeatability of the test. As to the effect of increasing the drying temperature, results showed that the UCS values were either increased or decreased depending on the type of the soil, and no relationship of the type whereby the greater the amount of silicon, aluminium and iron, the greater the effect of drying temperature on UCS values, was found.

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais e sub-tropicais existe grande quantidade de solos lateríticos, os quais são utilizados em obras de engenharia civil, principalmente em rodovias e barragens de terra. Os diferentes comportamentos destes solos, quando utilizados em obras de engenharia civil têm mostrado a necessidade de se desenvolverem estudos que permitam a utilização mais adequada e racional destes solos.

A estrutura intrínseca dos solos lateríticos tem se apresentado e é geralmente aceita como sendo uma das responsáveis pelo comportamento peculiar, mostrado em muitos casos. Este comportamento está relacionado ou pode ser afetado em diferentes graus pela energia de compactação induzida e, também, pela secagem do solo. Isto se deve ao fato destes solos sofrerem - no processo de formação - intemperismos que atuam sob diferentes formas de energia térmica e mecânica.

Outro aspecto que pode ter influência é a metodologia de ensaio utilizada que pode conduzir a resultados que não representam as propriedades dos solos lateríticos. Como se sabe, os métodos de ensaios, normalmente utilizados nos laboratórios de mecânica dos solos foram desenvolvidos para solos de regi

ões temperadas; como consequência, quando aplicados a solos de regiões tropicais, podem apresentar validade até certo ponto limitada.

Considerando-se, então, estes aspectos, i.e., metodologia de ensaio e diferentes formas de energias térmica e mecânica que podem afetar o comportamento dos solos lateríticos, selecionou-se para esta pesquisa a resistência à compressão simples como a propriedade dos solos lateríticos a ser avaliada e assim objetiva-se:

1. avaliar/definir a metodologia de ensaio para a determinação da resistência à compressão simples;
2. avaliar a influência produzida pela indução de diferentes níveis de temperatura de secagem, e energia mecânica na resistência à compressão simples;
3. avaliar o efeito da temperatura de secagem e sua relação com a composição química e mineralógica.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta revisão bibliográfica dos aspectos que estão diretamente relacionados com os objetivos da pesquisa, os quais serão revisados na seguinte ordem:

- . influência da metodologia de ensaio na resistência à compressão simples;
- . influência da temperatura de secagem na resistência à compressão simples;
- . influência da energia mecânica na resistência à compressão simples.

#### 2.2 - INFLUÊNCIA DA METODOLOGIA DE ENSAIO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSION SIMPLES

Não existe a metodologia de ensaio específica para a

determinação da resistência à compressão simples dos solos lateríticos. Sabe-se, entretanto, que algumas características apresentadas por estes solos, podem afetar as determinações realizadas pelas metodologias convencionais. As adaptações realizadas em muitos casos, tornaram-se questionáveis, em virtude dos resultados obtidos não apresentarem repetibilidade, ou mesmo uma reprodutibilidade satisfatória. Alguns aspectos foram notados na bibliografia disponível com relação direta ou indireta com a metodologia para a determinação da resistência à compressão simples. Com relação à preparação das amostras de solos lateríticos, a metodologia utilizada é um fator importantíssimo, em virtude de estes solos possuírem estrutura sensível à manipulação. Cuidados especiais devem ser tomados na coleta, quarteramento e preparação das amostras (LNEC 1969). Como consequência destes fatos os métodos tradicionais (DNER 41-63; BS 1377; 1975) apresentam limitações e validade questionáveis. Por exemplo Ackroyd (1959) e Alexandre e Cady (1962) mostraram que o tempo de umedecimento, antecedendo os ensaios, provocam resultados distintos, e que os mesmos variam de acordo com este efeito de umedecimento. Com relação à compactação dos solos lateríticos, Tateishi (1967) e Newill (1961) citados por Gidigasú (1974) mostraram que variações significativas foram encontradas nas curvas de compactação para alguns solos lateríticos, quando da realização de ensaios conduzidos do ramo úmido para o seco e do ramo seco para o úmido. Segundo Townsend et al. (1969) a natureza friável de alguns solos lateríticos, permite a quebra das partículas granulares em finas partículas e, como consequência o tratamento usado antes e durante o ensaio de compactação, pode provocar grandes alterações nos resultados. Por isso a escolha do

tipo de compactação que melhor se adapte ao solo é de fundamental importância. Frost (1967), Lambe (1960) e Seed et al. (1960) observaram que a compactação por impacto, por vibração e estática, apresentam para o mesmo solo diferentes curvas de compactação. Ainda com relação à compactação Seed et al. (1960) mostraram que o efeito da compactação é muito maior quando o balanço entre as forças interpartículas não são fortemente atrativas ou repulsivas; observaram, também, que o método de compactação é afetado para o ramo seco da curva de compactação, porque não existe a redução de deformação cisalhante para teores de umidade abaixo da umidade ótima: Barata (1958), por outro lado, cita que a mesma carga aplicada durante a compactação estática produzirá deformações diversas, dependendo da velocidade de crescimento e do tempo de manutenção de seu valor máximo. Portanto, é importante que se fixe condições ideais para a realização da compactação estática, objetivando reduzir a interferência da metodologia de moldagem nas propriedades de resistência dos solos.

Do que foi exposto e, considerando-se a grande importância da compactação na determinação da resistência à compressão simples e que diversos fatores podem afetar a compactação e, ainda, que estes fatores não estão normalizados ou não estão sendo observados adequadamente, observa-se a necessidade de se dispor de procedimento normalizado para a determinação da resistência à compressão simples que, obviamente, inclua principalmente os aspectos: preparação de amostras e compactação para a determinação da resistência à compressão simples.



### 2.3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A escassez de trabalhos sobre a influência da temperatura de secagem na resistência à compressão simples de solos de regiões tropicais é notável. As pesquisas realizadas limitam-se a estudar a influência da temperatura de secagem em propriedades de engenharia, tais como: granulometria, plasticidade, compactação e índice de suporte califórnia (CBR).

Sabe-se que a formação do solo laterítico está diretamente ligada à influência da energia térmica e, esta, com alguma propriedade de engenharia. Os estudos efetuados pela Lyons Associates Inc. (1975) mostraram que os solos de regiões úmidas são mais suscetíveis à variação em suas propriedades com a secagem, do que os solos das regiões onde as estações úmidas e secas são alternadas. De acordo com Gradwell (1954), Newill (1961), Hirashima (1948), Fruhauf (1946) e Townsend (1969) citados por Gidigasú e Yeboa (1972) o comportamento anormal de engenharia de alguns solos lateríticos, quanto a sensibilidade à secagem, depende do argilo-mineral predominante na fração argila e da estrutura granular peculiar destes materiais.

Dois fatores parecem causar variações nas propriedades dos solos lateríticos com a secagem; a tendência para formar agregações com a secagem e a perda de água nos minerais hidratados. A perda d'água é mais crítica em solos onde existam "minerais" amorfos ou minerais com alto teor de água. Gidigasú e Yeboa (1972) neste aspecto, afirmam que os argilos minerais mais susceptíveis de variação de propriedades com a secagem, são

os alofanos, haloisita e a gibsita. Então, de um modo geral, é de se esperar que solos lateríticos portadores destes minerais possam apresentar variações em suas propriedades com a secagem. Por exemplo: Novais Ferreira e Meireles (1972) afirmam que a secagem do solo em estufa possui influência fundamental no limite de liquidez, no índice de plasticidade e contração, no sentido de diminuir os valores observados, enquanto nos valores do índice de suporte califórnia (CBR) a influência é de aumentar o valor. Birrell (1952) citado por Carvalho (1981) mostra que os solos com argilo minerais hidratados e alofano, apresentam limite de liquidez, diminuindo com a secagem, como mostra a Tabela 2.1. Frost (1967) mostrou que os solos de Bagema, Mati, Minj e Garota, contendo haloisita perdem parcialmente a plasticidade com o tratamento térmico. Por outro lado Terzaghi (1958) estudou uma argila de Susumua e considerou a coagulação das partículas por óxido de ferro, a principal responsável pela redução na fração tamanho argila. Ainda com relação ao efeito da secagem nas propriedades dos solos lateríticos, Costa (1983) estudando a influência da temperatura de secagem no valor do índice de suporte califórnia, de vários solos lateríticos, mostrou que a temperatura de secagem não afeta de maneira significativa, a massa específica aparente seca máxima, enquanto os valores da umidade ótima e do CBR foram afetados pela secagem. Lima (1983) por outro lado, estudando os mesmos solos mostrou que a influência da energia térmica na granulometria destes solos é a de apresentar tendência à agregação das partículas.

De acordo com Youssef (1961) a variação de temperatura na compactação de determinado solo, provoca aumento na massa específica aparente seca máxima e diminuição na umidade ótima

ARGILO MINERAL	UMIDADE NATURAL	NATURAL		SECO AO AR		SECO EM ESTUFA	
		LL	LP	LL	LP	LL	LP
Alofano	200	207	131	85	78	-	-
Alofano-Gibsi <u>ta</u>	280	350	183	108	-	-	-
Haloisita-Cau <u>lin</u>	117	110	37	70	54	-	-
Caulin-Alguma Montmoriloni <u>ta</u>	120	250	191	-	-	-	-

Tabela 2.1 - Birrell (1952) - Influência da Secagem nos Limites de Liquidez e Plasticidade dos Solos de Nova Zelândia

com o acréscimo de temperatura; o efeito pode ser explicado em virtude de a secagem a 110°C coagula as partículas em fortes grupos, diminuindo o teor de argila com o tratamento térmico. O mesmo efeito da secagem foi observado por Shuster (1970) que encontrou que a secagem do solo laterítico a 105°C pode tornar possível a irreversível desidratação da haloisita (4H<sub>2</sub>O) para haloisita (2H<sub>2</sub>O) sendo, portanto, possível que esta transformação afete as propriedades de engenharia destes solos. Enquanto isto, Brand e Hongsnoi (1969) estudando vários solos da Tailândia verificaram que era difícil encontrar relação entre a secagem e a variação da resistência dos solos compactados, enquanto Moh e Mozhar (1969) estudando estes solos mostraram o efeito da secagem na mineralogia; estes autores encontraram que, em virtude dos argilo-minerais presentes, a mineralogia não era significativamente afetada pela secagem.

Observa-se do exposto que a secagem pode afetar diversos

sas propriedades dos solos lateríticos (notadamente aqueles que contêm minerais do tipo haloisita ou amorfo). No entanto, como citado antes, não existem informações disponíveis, mostrando o efeito da secagem na resistência à compressão simples, objeto desta pesquisa. Por isso necessário se faz, face à importância da resistência à compressão simples para as obras em engenharia, estudar o efeito da temperatura de secagem nesta propriedade.

#### 2.4 - INFLUÊNCIA DA ENERGIA MECÂNICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Como se sabe, o aumento da energia mecânica tende até certo ponto a aumentar o grau de compactação e, assim, tenderá a aumentar dentro de certo nível, a resistência de um solo. Para os solos de regiões temperadas já existe conhecimento da tendência a ser mostrada pelo solo, quando se aumenta a energia de compactação. No entanto para os solos de regiões tropicais e.g., solos lateríticos, este conhecimento é limitado e possivelmente imprevisível. O efeito da energia mecânica na resistência à compressão simples de solos lateríticos em termos de pesquisa é pela inexistência de trabalhos publicados; no entanto, indiretamente existem alguns artigos/pesquisa sobre o efeito da energia mecânica nos parâmetros de compactação. Costa (1983) mostrou que os solos lateríticos, quando são expostos a diferentes formas e/ou intensidade de energia mecânica, apresentam tendência de diminuir a umidade ótima e a aumentar a massa específica

ca aparente seca máxima com o aumento do esforço de compactação. No entanto, Evans (1958) afirma que o aumento no esforço de compactação e no teor de umidade reduz a resistência dos solos lateríticos. A energia de compactação, teor de umidade, estrutura e tipo de argilo-mineral, presentes nos solos lateríticos, são fatores que estão intimamente relacionados e influenciam a resistência dos solos compactados de acordo com Seed e Chan (1959). Os estudos efetuados por diversos autores, por exemplo: com solos lateríticos por Matyas e Radhakrishna (1958) Mitchell (1976), Lambe (1960) e com solo não laterítico por Seed e Chan (1959) mostram claramente que a estrutura do solo laterítico é fator importante que controla o comportamento da tensão x deformação de solos compactados e que para determinado tipo de solo e método de compactação utilizado, a estrutura do solo é governada pelo teor de umidade de moldagem e pelo esforço de compactação.

Os estudos de Meireles (1971) para dois tipos de solos lateríticos da região do Catofé em Angola, mostraram que o número de golpes usado na compactação dinâmica, pode promover as seguintes tendências:

1. menor dimensão das partículas do solo;
2. aumento no teor da fração argila;
3. menor índice de consistência;
4. aumento no índice de plasticidade;
5. menor índice de contração.

Para muitos solos lateríticos, o aumento no esforço de compactação resultou em aumento no valor do CBR sem imersão; entretanto, dependendo do argilo-mineral presente, o aumento no esforço de compactação pode reduzir o valor do CBR sem imer

são; isto foi demonstrado por Evans (1958) trabalhando com cascalho laterítico de Uganda; Brand e Hangsnoi (1969) com solos lateríticos da Tailândia. Entretanto, Newill e Dawling (1969) e Costa (1982) analisando vários solos lateríticos, afirmaram que o aumento no esforço de compactação resulta na tendência a aumentar o valor do CBR com e sem imersão. Por outro lado, De Graft-Johnson e Bhatia (1968) chegaram à conclusão que o aumento no esforço de compactação pode aumentar ou diminuir o valor do CBR e, ainda, que aumento muito grande na energia de compactação, diminui o ângulo de atrito do solo de Ghana; isto com relação ao ramo úmido da curva de compactação e, que estas variações podem ser explicadas pela presença de caulinita nos solos.

De acordo com o exposto, observa-se que muitos fatores podem contribuir para a obtenção de valores distintos no que diz respeito à compactação dos solos e, conseqüentemente na resistência dos solos. Algumas conclusões obtidas sobre características dos solos levando-se em consideração a compactação dos solos, são contraditórias e podem ter sido obtidas, dependendo simplesmente do método e da energia de compactação utilizado. Verifica-se, então, a necessidade de serem bem definidas as condições de compactação que serão utilizadas para a determinação da resistência à compressão simples de amostras deformadas.

## 2.5 - CONCLUSÕES

A literatura revisada mostrou que a metodologia de ensaio, a energia térmica e a energia mecânica têm influência

claramente evidenciadas nas propriedades dos solos lateríticos que conduzem a presente pesquisa para os seguintes objetivos:

1. avaliar a metodologia de ensaio utilizada na determinação da resistência à compressão simples;
2. avaliar o efeito das diferentes temperaturas de secagens na resistência à compressão simples;
3. Estudar o efeito dos diferentes níveis de energia mecânica na resistência à compressão simples;
4. avaliar o efeito da temperatura de secagem e sua relação com a composição química e mineralógica.

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve os materiais (solos) e métodos utilizados na pesquisa. Quando se tratar de métodos somente a referência será feita, no entanto, serão fornecidos os detalhes, quando alguma modificação for introduzida em qualquer método ou procedimento de ensaio.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma das atividades/ensaios desenvolvidos nesta pesquisa.

#### 3.2 - MATERIAIS

##### 3.2.1 - Seleção e Localização das Jazidas

Os solos utilizados nesta pesquisa foram selecionados em dezesseis jazidas, cujo critério de seleção baseou-se na apresentação de diversidade e extensão da jazida, observando-se,



também, a possibilidade da utilização presente e futura, como material para construção de rodovias, barragens e outras obras de engenharia civil.

As jazidas selecionadas, localizam-se no Norte e Nordeste do Brasil, conforme mostra a Figura 3.2.1.

### 3.2.2 - Coleta e Identificação das Jazidas Selecionadas

A coleta das amostras foi realizada, obedecendo ao seguinte critério: quando se tratava de perfil completo, as amostras eram retiradas do horizonte B. No caso de jazida "a céu aberto", a amostra era retirada após o expurgo. Os perfis das jazidas selecionadas são mostrados nas Figuras 3.2.2a à 3.2.2q.

As jazidas foram identificadas como mostra a Tabela 3.2.2s e receberam a denominação da localidade ou cidade mais próxima.

### 3.2.3 - Características dos Solos Selecionadas para a Pesquisa

As Tabelas 3.2.3a e 3.2.3b apresentam as características de cada jazida selecionada para a pesquisa quanto a localização, formação geológica, pedologia e condições climáticas da região. Estas informações foram obtidas no Ministério da Agricultura (1972), Departamento Nacional da Produção Mineral (1974), Galvão (1976) e SUDENE (1974a, 1974b e 1977).

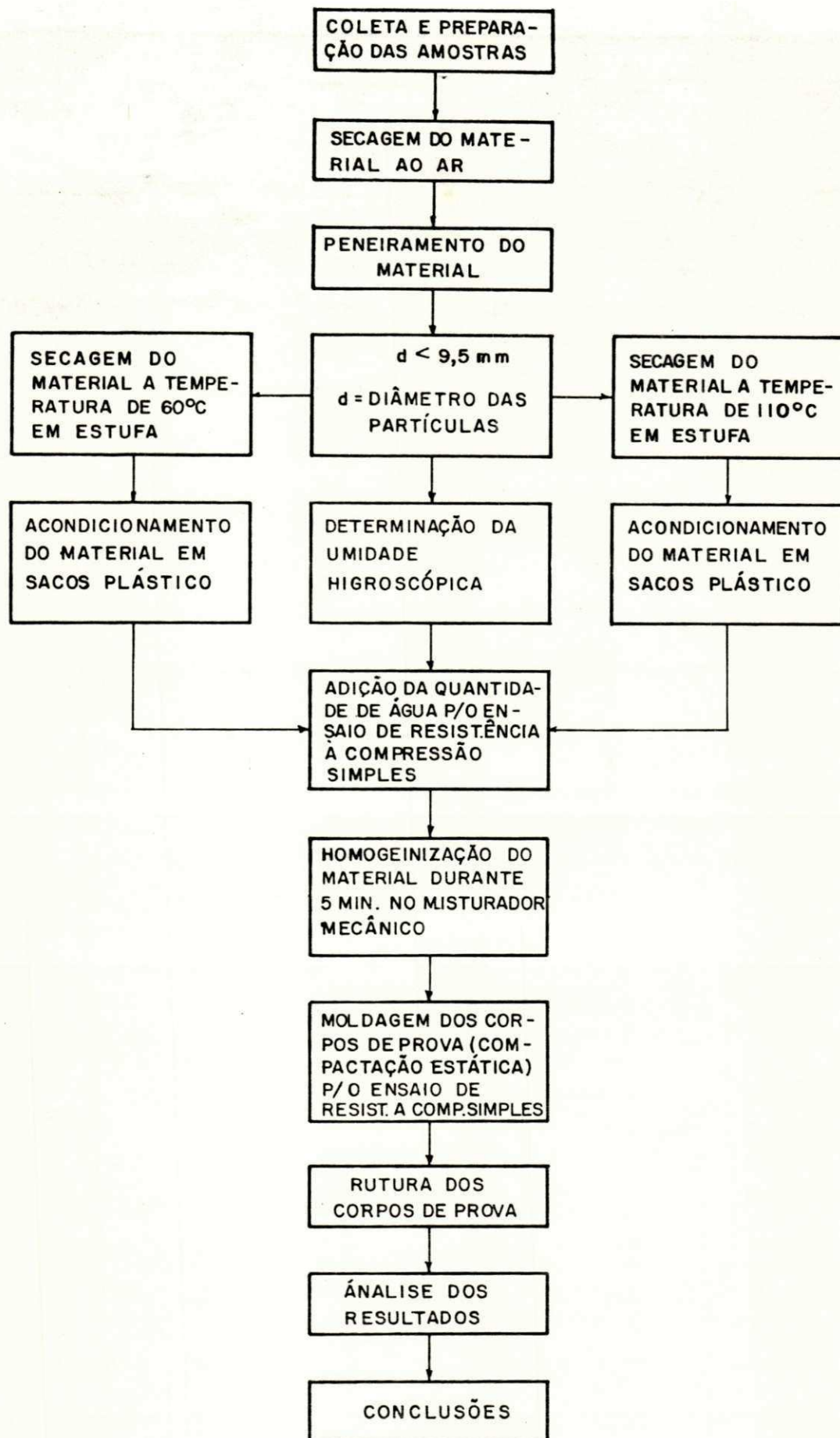


Figura 3.1 - Fluxograma das Atividades/Ensaio da Pesquisa.



Figura 3.2.1 - Localização das Jazidas Seleccionadas para a Pesquisa

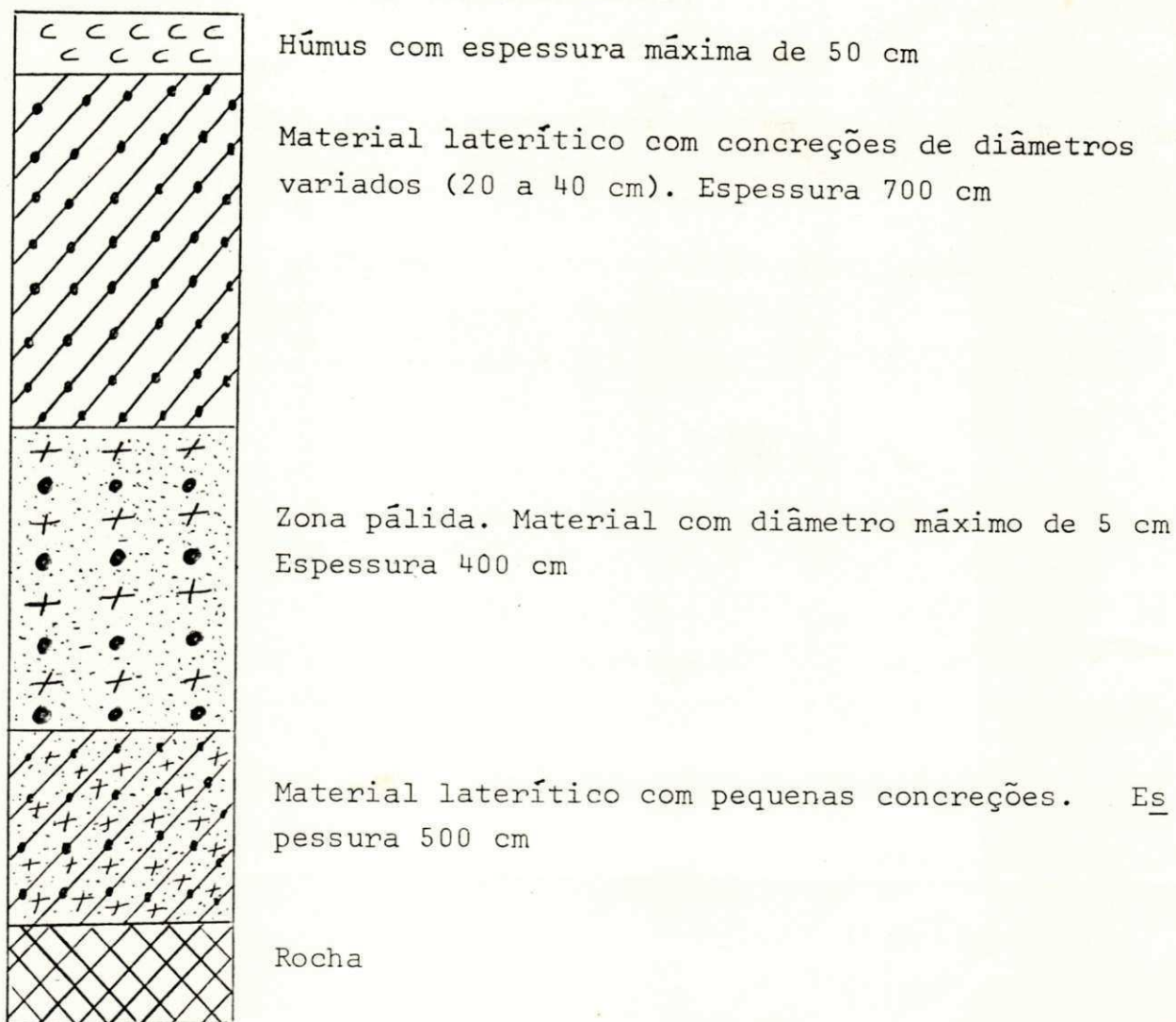


Figura 3.2.2.a - Jazida João Pessoa (JPPB)

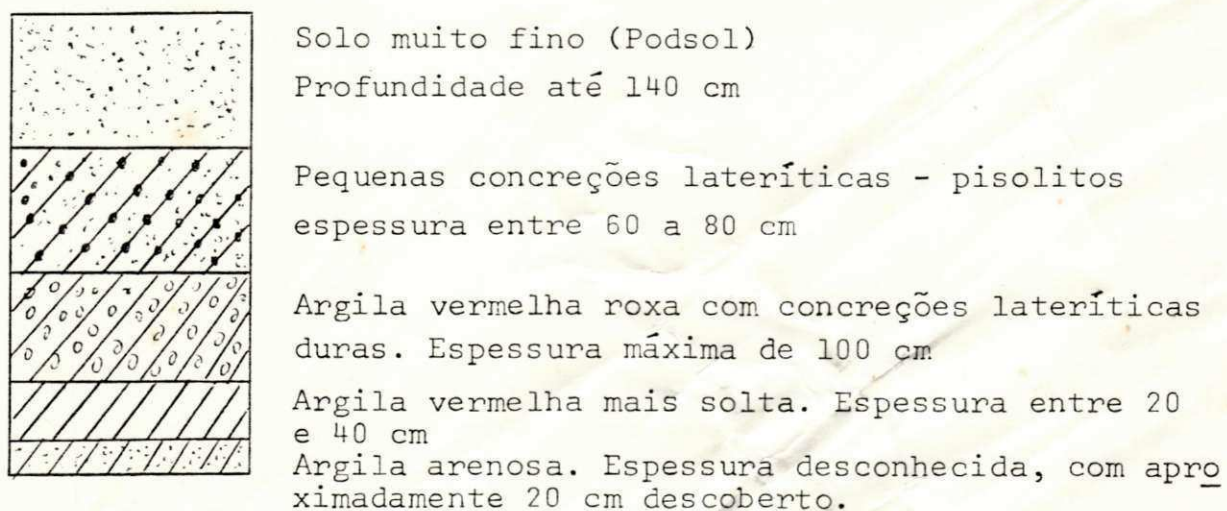
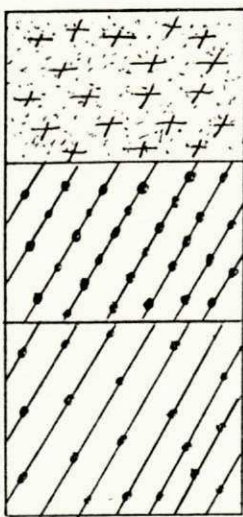


Figura 3.2.2.b - Jazida Sapê-Mari (SPPB)



Material areno-siltoso de cor escura

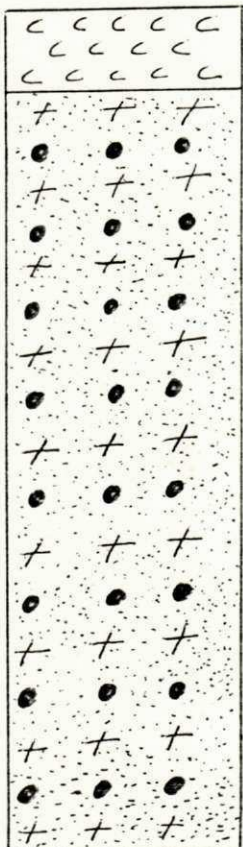
Profundidade entre 60 e 80 cm

Material de cor avermelhada com cascalho laterítico em grande quantidade. Espessura entre 40 e 50 cm

Material de cor avermelhada com cascalho laterítico com  $\phi < 2,5$  cm em pequena quantidade.

Profundidade visível até 400 cm

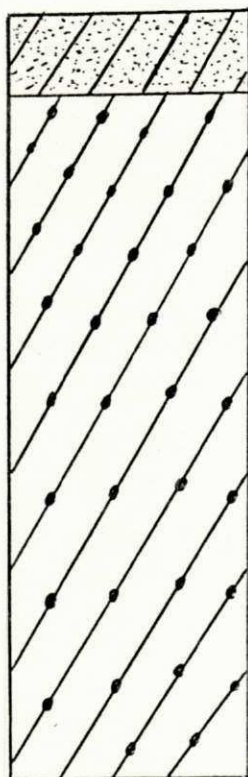
Figura 3.2.2.c - Jazida Areia (ARPB)



Húmus com grande quantidade de cascalho.  
Profundidade até 20 cm

Material fino de cor amarela com grande quantidade de concreções de dimensões variadas de cor vermelho escuro. Espessura visível até 200 cm

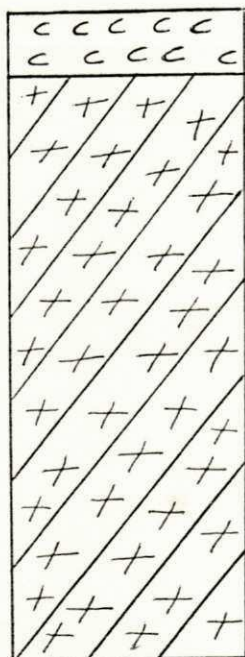
Figura 3.2.2.d - Jazida Cuité (CTPB)



Material areno-argiloso com cascalho lateríticos  
Profundidade entre 20 e 30 cm

Solo fino, de cor variegada (vermelho, amarelo e branco) com grande quantidade de solo areno-sillto. Espessura visível da camada de 270 cm

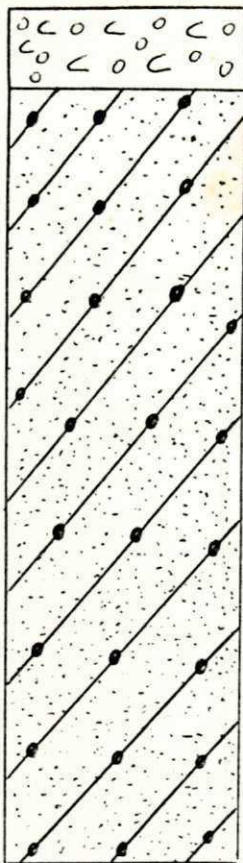
Figura 3.2.2.e - Jazida Teixeira (TEPB)



Húmus com profundidade máxima de 10 cm

Material muito fino, bastante avermelhado com grandes concreções que se desfazem diante de um esforço mecânico médio. Espessura 200 cm

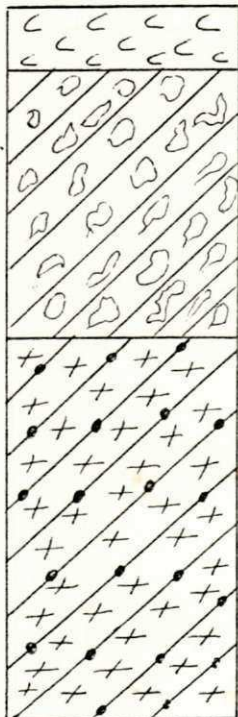
Figura 3.2.2.f - Jazida Gilbués (GIPI)



Húmus com pequenas concreções  
Profundidade até 20 cm

Solo laterítico avermelhado com pequenas concreções. Espessura visível até 200 cm

Figura 3.2.2.g - Jazida Picos (PIPI)

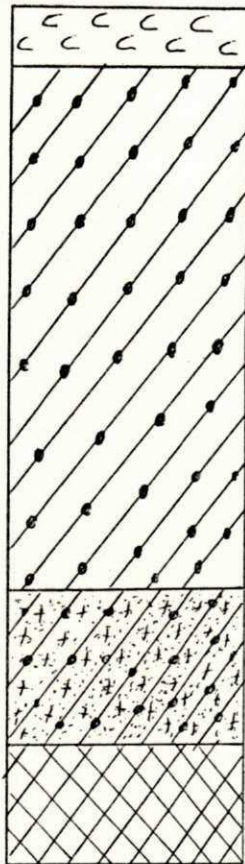


Húmus com espessura máxima de 30 cm

Material de cor amarela com grandes concreções  
com espessura de 140 cm

Material laterítico amarelado com pequenas concreções com espessura de 200 cm

Figura 3.2.2.h - Jazida Teresina (TEPI)



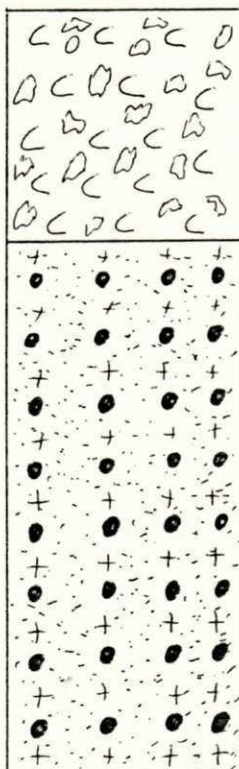
Húmus. Profundidade até 20 cm

Material laterítico amarelado com concreções variáveis, predominando grandes concreções. Espessura 200 cm

Material laterítico amarelo com pequenas concreções. Espessura 60 cm

Rocha

Figura 3.2.2.i - Jazida Buriti dos Lopes (BUPI)

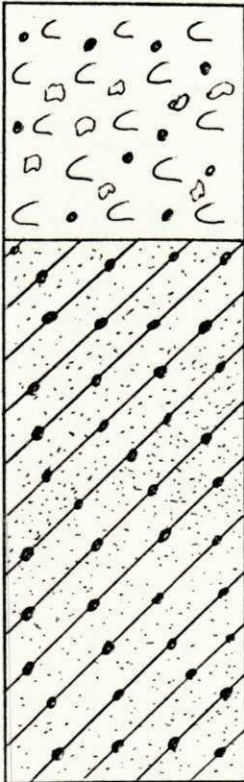


Húmus com cascalho laterítico de cor escura. Profundidade até 30 cm

Solo laterítico avermelhado com pequenas concreções. Espessura de 70 cm

Figura 3.2.2.j - Jazida Presidente Dutra (PDMA)

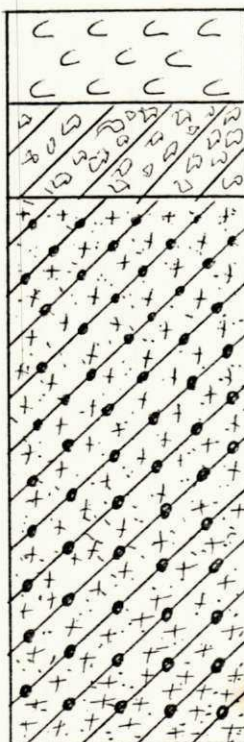




Húmus com cascalho laterítico de cor escura.  
Profundidade até 30 cm

Solo laterítico avermelhado com pequenas concreções. Espessura de 70 cm

Figura 3.2.2.l - Jazida Vargem Grande (VGMA)



Húmus com profundidade máxima de 30 cm

Material laterítico com pequenas concreções. Espessura de 30 cm

Material laterítico com concreções de dimensões variáveis. O diâmetro das concreções aumenta com a profundidade. Espessura visível de camada 180 cm

Figura 3.2.2.m - Jazida Vila Sarney (VSMA)

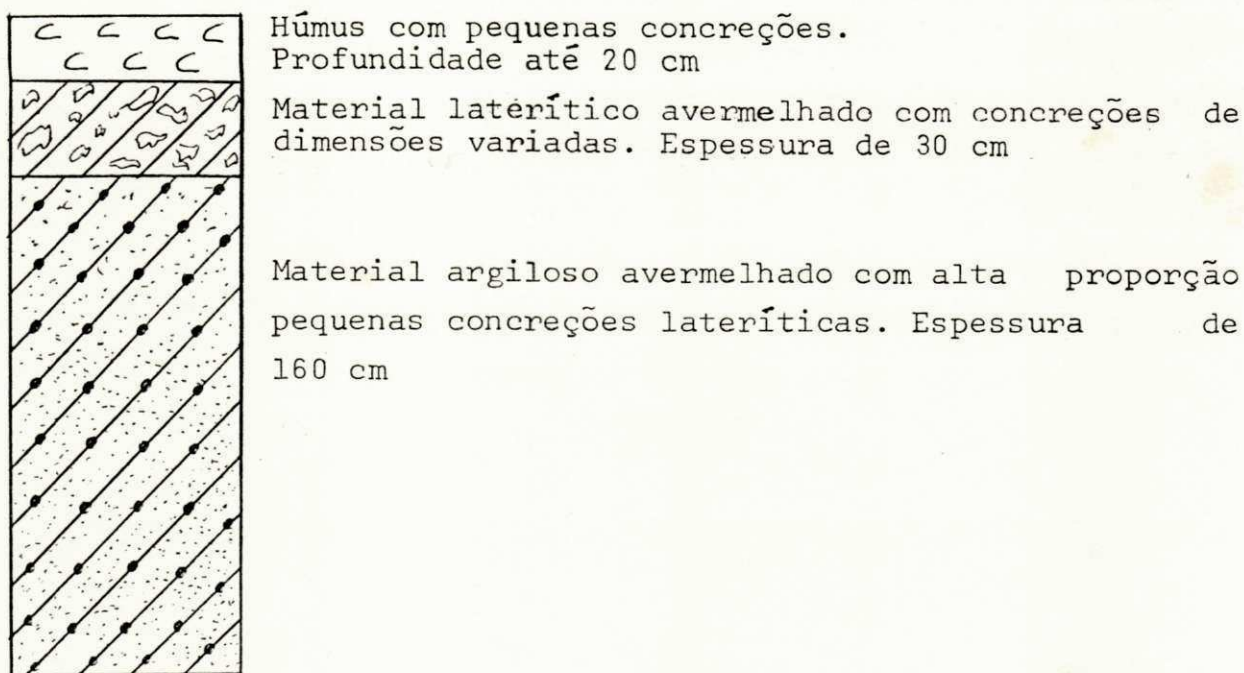


Figura 3.2.2.n - Jazida Maguari (MAPA)

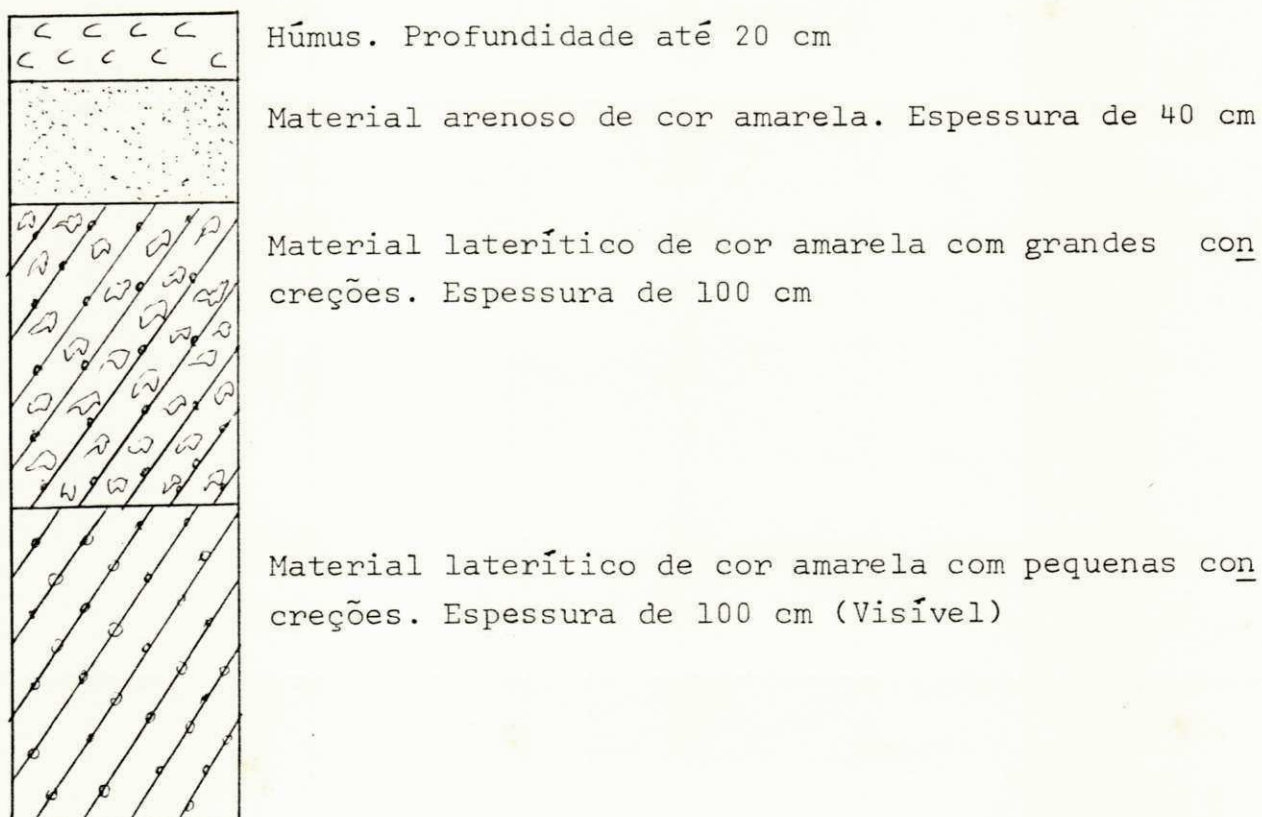
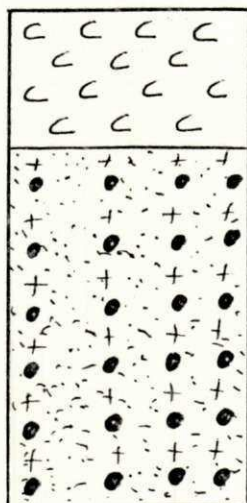


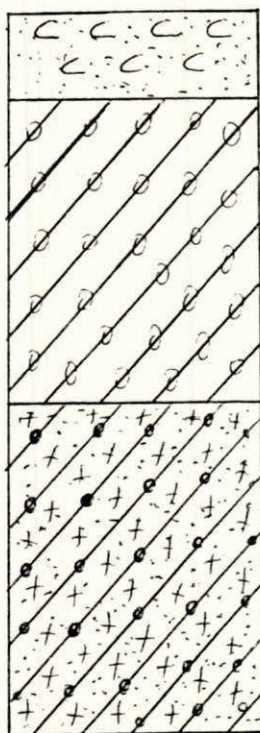
Figura 3.2.2.o - Jazida Mosqueiro (MOPA)



Húmus com profundidade máxima de 20 cm

Material laterítico avermelhado com concreções de dimensões variadas com diâmetro máximo de 2,5 cm. Espessura visível de 200 cm

Figura 3.2.2.p - Jazida Castelo (CAPI)



Húmus com material arenoso. Espessura 30 cm

Material areno-argiloso de cor avermelhada com concreções lateríticas de diâmetro variado. Espessura 120 cm

Material argilo-arenoso de espessura não definida

Figura 3.2.2.q - Jazida São Luiz (SLMA)

JAZIDA/ESTADO	ABREVIACÃO
JOÃO PESSOA - PB	JPPB
SAPÉ - PB	SPPB
AREIA - PB	ARPB
CUITÉ - PB	CTPB
TEIXEIRA - PB	TEPB
MOSQUEIRO - PA	MOPA
MAGUARI - PA	MAPA
BURITI DOS LOPES - PI	BUPI
PICOS - PI	PIPI
GILBUÉS - PI	GIPI
TERESINA - PI	TEPI
CASTELO - PI	CAPI
PRESIDENTE DUTRA - MA	PDMA
VARGEM GRANDE - MA	VGMA
VILA SARNEY - MA	VSMA
SÃO LUIZ - MA	SLMA

Tabela 3.2.2.s - Identificações Utilizadas para as Jazidas Seleccionadas

SOLO	LOCALIZAÇÃO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	PEDOLOGIA	CLIMA	ÍNDICE XE ROTÉRMICO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)
JPPB	Conjunto dos Bancários à 2km do Campus Universitário	Formação "Barreiras" Data do Terciário	PV5-Podzólico vermelho amarelo Latossólico de textura arenosa	Quente de seca atenuada	40 a 100	1.720
SPPB	Margem direita da rodovia via PD-055 à 6km da cidade de MARI-PB	Formação "Barreiras" Data do Terciário	PV6-Podzólico vermelho amarelo com proeminente textura argilosa	Quente de seca atenuada	40 a 100	1.100
ARPB	Margem esquerda da rodovia via PB-079 à 5km da cidade de REMÍGIO-PB	Pré-cambriano representado na Paraíba por gnaisses e migmatitos	PE.13-Com textura proeminente argilosa e solos litolíticos eutróficos	Sub-Seco	0 a 40	1.000
CTPB	Margem direita da rodovia via PB-149 à 700 m da cidade de CUITÉ-PB	Formação "Serra dos Morais" Data do terciário	LVE1-Latossolo vermelho amarelo eutrófico textura argilosa	Quente de seca média	100 a 150	400
TEPB	Margem esquerda da rodovia via PB-306, à 8km da cidade de TEIXEIRA-PB	Formação "Serra dos Morais" Data do Terciário	REe3-Regosol eutrófico e solos litólicos eutróf. textura argilosa	Tropical Quente de seca atenuada	150 a 200	500
CAPI	Margem direita da rodovia via BR-316 à 5km da cidade de CASTELO-PI	Formação "Cabeças" arenitos de cores claras idade: Devoniano médio e superior	A05-Areias quartzosas e solos litólicos com textura arenosa	Tropical quente de seca média	100 a 150	1.200
GIPI	Corte a 3,5km da cidade de GILBUES, à margem esquerda da BR-135	Formação "Pedra de Fogo" constituída de arenitos siltitos e folhelhos intercalados	BL-Solo laterítico Bruno avermelhado eutrófico e Brunizem avermelhado. Textura argilosa	Tropical quente de seca média	100 a 150	900
SLMA	Margem direita da rodovia via BR-135 a 0,6km de SÃO LUIZ-MA	Formação "Itapecuru" Arenitos de cores diversas Cretáceo inferior	EL6-Solos concrecionários lateríticos, Latossolo vermelho - amarelo e areia quartzosas	Quente de seca atenuada	40 a 100	1.900

Tabela 3.2.3.a - Características dos Solos Estudados.

SOLO	LOCALIZAÇÃO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	PEDOLOGIA	CLIMA	ÍNDICE XE ROTÉRMICO	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)
MAPA	Margem direita da rodovia BR-316 a 37km do município de ANANINDEUA-PA	Formação "Barreiras" Tipos litológicos que variam de argilito a conglomerados	CL2-Solos concrecionários lateríticos com textura argilosa e média	Quente quase contínuo e elevado estado higrométrico	0	2.760
MOPA	Margem direita da rodovia PA-17, km 35 ILHA DE MOSQUEIRO-PA	Formação "Barreiras" tipos litológicos que variam de argilito a conglomerados	LA3-Latossolo amarelo distrófico e areias quartzosas distróficas	Quente quase contínuo e elevado estado higrométrico	0	2.760
PIPI	Margem direita da rodovia BR-316, km 291, PIAUI	Formação "Cabeças" Data da idade Devoniana Médio e Superior	CL4-Latossolo vermelho amarelo textura média	Tropical Quente de seca atenuada	150 a 200	650
TEPI	Margem direita da rodovia BR-316 a 8 km da cidade de TEREZINA-PI	Formação "Pedra de Fogo"	LV2-Latossolo vermelho amarelo textura argilosa	Tropical Quente de seca atenuada	150 a 200	1.400
BUPI	Margem esquerda da rodovia BR-345 a 3,5km da cidade de BURITI DOS LOPES	Formação Pimenteiras Data da Idade Devoniano Superior	AQ5-Areias Quartzosas, Latossolos vermelho-amarelo eutrófico. Textura arenosa e média	Tropical Quente de seca média	100 a 150	1.200
PDMA	Margem direita da rodovia BR-360, km 185 PRESIDENTE DUTRA-MA	Formação "Itapecuru" Data do Cretáceo Inferior	PA6-Podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico. Textura argilosa	Tropical Quente de seca atenuada	40 a 100	1.200
MSMA	Margem direita da rodovia BR-135 a 6,4km de SÃO LUIZ-MA	Formação "Itapecuru" Data do Cretáceo Inferior	CL6-Solos concrecionários lateríticos, Latossolo vermelho-amarelo. Cretáceo Inferior	Quente de Seca Atenuada	40 a 100	1.900
VGMA	Margem esquerda da rodovia BR-222 a 22,3km da cidade de ITAPECURU - MIRIM-MA	Formação "Itapecuru" Cretáceo Inferior	CL3-Solos concrecionários lateríticos, Podzólico vermelho - amarelo textura argilosa	Quente de seca Atenuada	40 a 100	1.700

Tabela 3.2.3.b - Características dos Solos Estudados. - Continuação

### 3.3 - MÉTODOS DE ENSAIOS

#### 3.3.1 - Introdução

Esta pesquisa objetiva avaliar/definir a metodologia aplicável à determinação da resistência à compressão simples. Assim, serão avaliados e definidos os aspectos relativos à metodologia de moldagem dos corpos de prova e metodologia de resistência à compressão simples. Nesta pesquisa serão utilizados os resultados obtidos por outros investigadores.

#### 3.3.2 - Determinações da Massa Específica Aparente Seca e do Teor de Umidade

A compactação dinâmica foi realizada com amostras não trabalhadas e obtidas após o peneiramento na peneira de malha quadrada de 19mm. As amostras de solos foram secas ao ar, a 60°C e 110°C, utilizando-se tempo de secagem de 48 horas.

Cada amostra foi compactada com três níveis de energia mecânica e três temperaturas de secagem conforme descrito a seguir:

DESCRIÇÃO	NÍVEL DE ENERGIA kg.cm/cm <sup>3</sup>	TEMPERATURA °C
Proctor Normal	6,0	25 - 60 - 110
Proctor Intermediário	12,5	25 - 60 - 110
Proctor Modificado	25,0	25 - 60 - 110

A compactação dos solos foi realizada de acordo com o método de ensaio, DNER-ME 47/64 e DNER-ME 48/64, utilizando amostras não trabalhadas e 500g de solo para a determinação do teor de umidade.

Os valores das massas específicas aparentes secas e teores de umidade correspondentes aos pontos para a obtenção da curva de compactação foram obtidos por Costa (1983) e utilizados como base para a moldagem dos corpos de prova por compactação estática.

### 3.3.3 - Massa Específica das Partículas Sólidas ( $\gamma_g$ )

A massa específica das partículas sólidas ( $\gamma_g$ ) foi determinada para as partículas com diâmetros inferiores e superiores a 2mm; utilizou-se o método DNER-ME 93/64 com utilização da bomba de vácuo em substituição ao processo de aquecimento para a retirada do ar da mistura solo-água. Para a determinação da massa específica das partículas sólidas de diâmetros acima de 2mm, foi utilizado o método DNER-ME 81/64.

### 3.3.4 - Preparação das Amostras para a Determinação da Resistência à Compressão Simples (RCS)

A preparação dos solos com dimensões menores que 9,5mm para a determinação da RCS dos solos expostos a temperatura ambiente foi executada, obedecendo ao seguinte procedimento. Inicialmente as amostras eram peneiradas através da peneira de 9,5mm e, logo a seguir, determinava-se a umidade higroscópica, sendo, então, as amostras armazenadas em sacos plásticos. Com relação às amostras para os ensaios a 60°C e 110°C, logo após o peneiramento, os solos eram colocados em estufa por um período de 48 horas (estudos preliminares realizados indicaram que o tempo de secagem de 48 horas era suficiente para a estabiliza



ção da umidade com a secagem). Para que fosse minimizado o efeito do aparecimento da variação da resistência, variação da massa específica aparente seca, e variação de umidade ao longo do corpo de prova; foi feita a opção por corpos de prova com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro e amostras de solo com partículas de diâmetros equivalentes menores que 9,5mm, visto que estudos preliminares realizados por Carvalho (1981) mostraram que a utilização destas condições minimiza ou elimina o citado efeito.

No ensaio de resistência à compressão simples, utilizaram-se corpos de prova compactados estaticamente com energia de compactação que resultasse nas mesmas condições de massa específica aparente seca e teor de umidade da curva de compactação dinâmica. A compactação estática foi executada à velocidade de 0,8 cm/min.

### 3.3.5 - Determinação da Resistência à Compressão Simples (RCS)

Para a determinação da RCS, optou-se pelo critério da rutura de fato, ou seja, a tensão, a partir da qual, ocorre constância ou redução do valor da tensão. Esta escolha foi baseada no fato de que as observações realizadas nas curvas de tensão x deformação não apresentaram altas taxas de deformações na rutura, embora em alguns casos não fossem observados picos de tensão definidos.

O Apêndice I, apresenta em detalhes, o método de ensaio utilizado para a determinação da resistência à compressão simples.

## CAPÍTULO IV

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos nesta pesquisa, visando i) avaliar o método de ensaio utilizado para a determinação da resistência à compressão simples e, ii) verificar a influência da temperatura de secagem e da energia mecânica nos valores da resistência à compressão simples (RCS).

#### 4.2 - AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA EMPREGADA PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A metodologia utilizada será avaliada através dos valores obtidos para a resistência à compressão simples em corpos de prova moldados estaticamente na massa específica aparente seca, e na umidade ótima e, submetidos a diferentes temperaturas

de secagem ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  e  $110^{\circ}\text{C}$ ) e energia de compactação equivalente às energias do Proctor normal, Proctor intermediário e Proctor modificado. Também os resultados obtidos em termos dos parâmetros de compactação e.g., massa específica aparente seca moldagem, e umidade ótima de moldagem, e traçado da curva de saturação na definição da relação massa específica aparente ( $\gamma_s$ ) versus teor de umidade (U) que serão utilizados na avaliação da metodologia apresentada.

Com relação aos parâmetros de massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_{sm\acute{a}x}$ ) e de umidade ótima ( $U_{ot}(\%)$ ) as Tabelas 4.2a à 4.2i mostram as variações em percentagens entre os valores obtidos na compactação estática e compactação dinâmica. Estes resultados mostram que a variação em percentagem entre as massas específicas aparentes secas de moldagem ( $\gamma_{sm}$ ) obtidos na compactação estática com relação ao  $\gamma_{sm\acute{a}x}$  obtidos na compactação dinâmica é de no máximo 2,9% em termos absolutos. Com relação à umidade ótima, observa-se a variação máxima de 3,8%. Estas variações são apresentadas nos histogramas de frequência 4.2a e 4.2b, os quais, claramente mostram que os valores estão concentrados principalmente em torno de -0,5% à 0% (de variação em %). Observando, de outra maneira os resultados obtidos para os parâmetros  $\gamma_{sm\acute{a}x}$  e  $U_{ot}(\%)$  através de uma análise estatística do tipo correlação linear simples  $Y = KX + C$  as Figuras 4.2a à 4.2f, mostram tendência de todos os pontos se alinharem para a reta de regressão, partindo da origem com ângulo de  $45^{\circ}$ , e coeficiente de correlação igual a 1,0. Assim, os resultados obtidos para os valores de  $\gamma_{sm}$  e  $U_{ot}$  e analisados de diferentes maneiras, sugerem que eles estão dentro de critérios aceitáveis de repetibilidade.

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{sm\max}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1790	16,8	1780	17,2	-0,6	2,3
TEPB	1595	19,8	1610	19,5	0,9	1,5
SPPB	1805	20,2	1800	19,8	-0,3	-2,0
ARPB	1730	17,6	1725	17,4	-0,3	-1,1
CTPB	1865	15,0	1870	14,5	0,3	-3,3
TEPI	1755	16,6	1755	16,6	0	0
CAPI	2005	12,7	2005	12,6	0	-0,8
PIPI	2005	9,7	2000	9,6	-0,3	-1,0
GIPI	1685	14,2	1710	14,0	1,5	-1,4
BUPI	1900	10,8	1900	11,0	0	1,8
PDMA	1840	14,5	1840	14,2	0	-2,1
SLMA	2085	10,2	2075	10,0	-0,5	-2,0
VGMA	1845	16,2	1845	16,2	0	0
VSMA	1870	13,8	1870	13,8	0	0
MOPA	1615	22,0	1615	22,0	0	0
MAPA	1755	18,8	1745	18,8	-0,6	0

Tabela 4.2.a

- Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Normal, 25°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1835	16,0	1830	15,7	-0,3	-1,9
TEPB	1680	20,0	1670	19,6	-0,6	-2,0
SPPB	1840	18,2	1840	18,2	0	0
ARPB	1825	16,4	1825	16,6	0	1,2
CTPB	1930	13,4	1920	13,6	-0,5	1,5
TEPI	1895	15,3	1875	15,5	-1,1	1,3
CAPI	2070	11,6	2050	11,6	-1,0	0
PIPI	2125	8,6	2125	8,5	0	-1,2
GIPI	1845	14,0	1820	13,7	-1,4	-0,3
BUPI	1975	9,5	1980	9,7	0,3	2,1
PDMA	1980	13,0	1975	12,8	-0,3	-1,6
SLMA	2115	8,8	2120	8,8	0,2	0
VGMA	1945	14,7	1940	14,8	-0,3	0,7
VSMA	1990	12,8	1990	12,7	0	-0,8
MOPA	1750	20,8	1730	20,2	-1,2	-3,0
MAPA	1820	16,8	1800	17,2	-1,1	2,3

Tabela 4.2.b - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Intermediário, 25°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{sm\max}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1915	14,2	1900	14,0	-0,8	-0,2
TEPB	1780	16,8	1780	16,6	0	-1,2
SPPB	1915	17,3	1920	17,0	0,3	-1,8
ARPB	1850	15,3	1870	15,3	1,1	0
CTPB	2040	12,8	2045	12,6	0,2	-1,6
TEPI	1980	14,5	1925	14,4	-2,9	-0,7
CAPI	2085	11,0	2080	11,0	-0,2	0
PIPI	2200	7,0	2195	7,2	-0,2	2,8
GIPI	1885	13,0	1885	13,2	0	1,5
BUPI	2020	8,5	2045	8,6	1,2	1,2
PDMA	1995	12,5	1995	12,4	0	-0,8
SLMA	2145	8,5	2135	8,4	-0,5	-1,2
VGMA	2000	12,8	2000	12,4	0	-3,2
VSMA	2045	11,6	2040	11,8	-0,2	-1,7
MOPA	1780	16,7	1770	18,5	-0,6	-1,1
MAPA	1890	14,7	1895	14,8	0,3	0,7

Tabela 4.2.c - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Modificado, 25°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1775	17,6	1785	17,4	0,6	-1,1
TEPB	1595	19,8	1585	19,5	-0,6	-1,5
SPPB	1775	19,9	1750	19,8	-1,4	-0,5
ARPB	1715	18,4	1715	18,5	0	0,5
CTPB	1830	16,7	1855	16,6	1,3	-0,6
TEPI	1900	14,9	1905	14,6	0,3	-2,1
CAPI	1910	13,0	1905	13,0	-0,3	0
PIPI	2010	9,6	2005	9,6	-0,2	0
GIPI	1722	14,2	1700	14,4	-1,3	1,4
BUPI	2040	10,3	2025	10,2	-0,7	-1,0
PDMA	1905	14,2	1910	14,2	0,3	0
SLMA	2075	9,7	2025	9,4	-2,5	-3,2
VGMA	1925	12,6	1975	12,8	2,5	1,6
VSMA	1910	12,4	1910	12,0	0	-3,3
MOPA	1625	21,4	1625	21,1	0	-1,4
MAPA	1785	16,1	1790	16,1	0,3	0

Tabela 4.2.d - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Normal, 60°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1875	16,2	1855	16,4	-1,1	1,2
TEPB	1665	18,2	1630	18,6	-2,1	2,2
SPPB	1830	18,8	1795	18,5	-1,9	3,6
ARPB	1735	17,1	1765	17,6	1,7	2,8
CTPB	1990	14,8	1970	14,8	-1,0	0
TEPI	1925	14,0	1915	13,8	-0,5	-1,5
CAPI	2040	12,5	1985	12,4	-2,8	-0,6
PIPI	2135	8,7	2135	8,4	0	-3,6
GIPI	1780	13,9	1770	14,0	-0,6	0,7
BUPI	2115	10,0	2105	10,4	-0,5	3,8
PDMA	1950	13,5	1950	13,3	0	-1,5
SLMA	2085	9,2	2095	9,0	0,5	-2,2
VGMA	2000	11,9	2000	11,7	0	-1,7
VSMA	1965	11,2	1965	11,3	0	0,9
MOPA	1690	19,8	1695	20,0	0,3	1,0
MAPA	1815	16,0	1805	16,2	-0,6	1,2

Tabela 4.2.e - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Intermediário, 60°C).



SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIACÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\delta_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\delta_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1900	15,0	1895	15,2	-0,3	1,3
TEPB	1705	17,9	1685	18,4	-1,2	-2,7
SPPB	1880	17,5	1865	17,4	-0,8	-0,6
ARPB	1815	17,8	1810	17,4	-0,3	-2,3
CTPB	2025	13,0	1995	13,0	-1,5	0
TEPI	1945	13,7	1945	13,6	0	-0,7
CAPI	2115	11,2	2110	10,8	-0,2	-3,7
PIPI	2190	8,0	2190	8,0	0	0
GIPI	1910	12,2	1910	12,0	0	-1,7
BUPI	2135	9,8	2130	10,0	-0,2	2,0
PDMA	2020	13,2	2020	13,2	0	0
SLMA	2150	8,0	2160	7,8	0,5	-2,6
VGMA	2055	11,2	2060	11,4	0,2	1,9
VSMA	2010	10,9	2010	10,8	0	-0,9
MOPA	1835	16,7	1840	16,2	0,3	-3,1
MAPA	1870	15,2	1870	15,2	0	0

Tabela 4.2.f - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Modificado, 60°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1790	15,6	1790	15,2	0	-2,6
TEPB	1615	18,6	1625	18,5	0,6	-0,5
SPPB	1810	18,6	1810	18,1	0	-2,8
ARPB	1825	15,5	1820	15,4	0	-0,7
CTPB	1950	11,9	1960	11,8	0,5	-0,9
TEPI	1820	16,1	1825	15,8	0,3	-1,9
CAPI	2070	10,6	2020	10,4	-2,5	-1,9
PIPI	2000	9,8	2005	9,8	0,3	0
GIPI	1775	15,2	1770	15,2	-0,3	0
BUPI	1970	9,5	1960	9,6	-0,5	1,0
PDMA	1935	12,7	1975	12,8	2,0	0,8
SLMA	2075	9,8	2075	9,8	0	2,0
VGMA	1945	13,0	1950	12,8	0,3	-1,0
VSMA	1940	9,7	1940	9,8	0	1,0
MOPA	1625	20,5	1625	20,4	0	-0,5
MAPA	1785	14,5	1785	14,1	0	-2,8

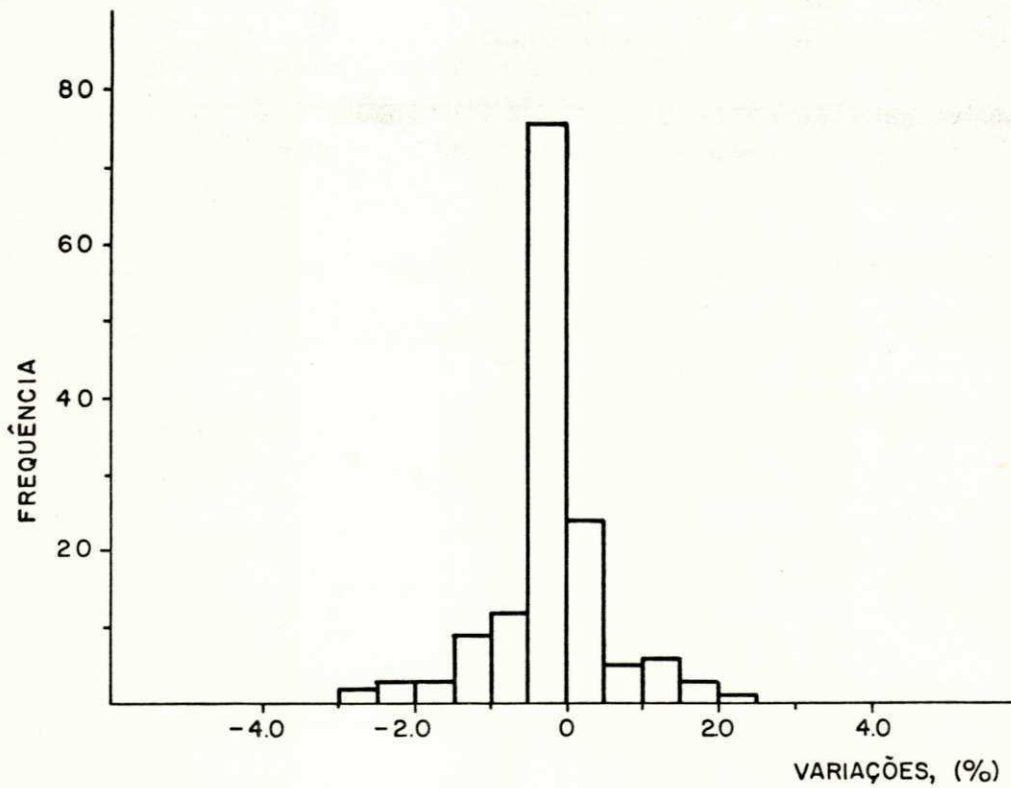
Tabela 4.2.g - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Normal, 110°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIÇÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{smax}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1850	14,7	1850	14,8	0	0,7
TEPB	1685	18,1	1685	18,0	0	-0,6
SPPB	1960	16,2	1970	15,8	0,5	-2,5
ARPB	1925	14,3	1915	14,6	-0,5	2,1
CTPB	2025	11,4	2030	11,5	0,3	0,9
TEPI	1885	15,8	1855	15,4	-1,6	-2,6
CAPI	2150	9,8	2110	9,6	-1,9	-2,1
PIPI	2105	9,3	2100	9,2	-0,2	-1,1
GIPI	1840	13,0	1850	12,9	0,5	-0,8
BUPI	2050	8,4	2060	8,6	0,5	2,3
PDMA	1935	12,7	1930	12,6	-0,3	-0,8
SLMA	2110	9,1	2110	9,0	0	-1,1
VGMA	1970	12,4	1960	12,4	-0,5	0
VSMA	2010	9,3	2010	9,4	0	1,1
MOPA	1600	20,4	1620	20,5	1,2	0,5
MAPA	1835	13,3	1840	13,2	0,3	-0,8

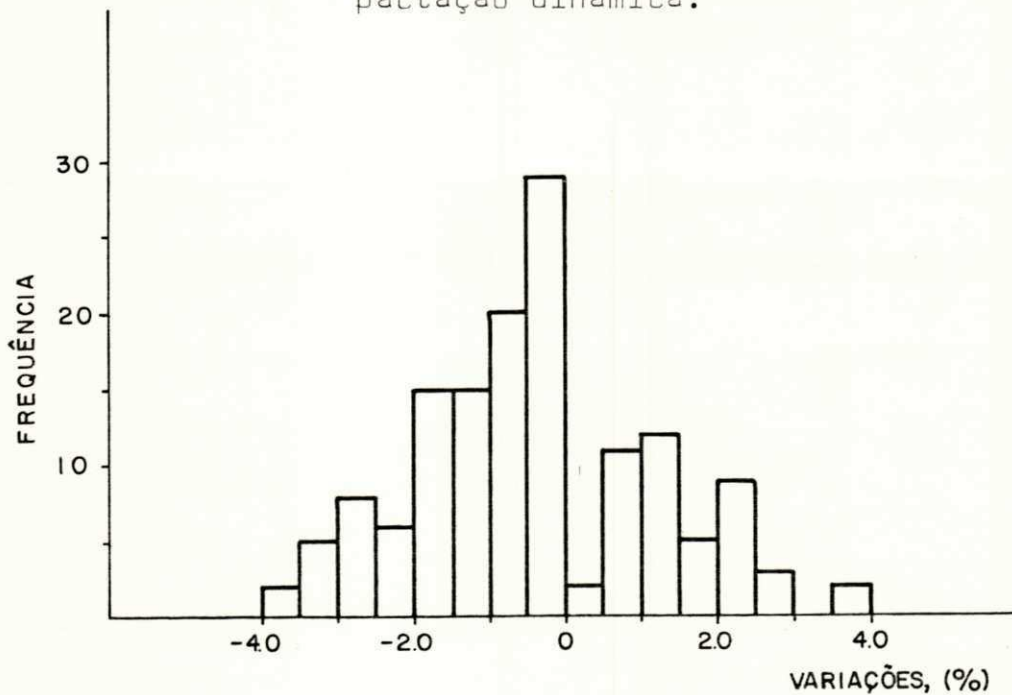
Tabela 4.2.h - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Intermediário, 110°C).

SOLO	COMPACTAÇÃO DINÂMICA		COMPACTAÇÃO ESTÁTICA		VARIACÃO ENTRE PARÂMETROS ESTÁTICOS E DINÂMICOS, %	
	$\gamma_{sm\max}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> (%)	$\gamma_{sm}$ kg/m <sup>3</sup>	U (%)		
JPPB	1940	13,7	1960	14,0	1,0	2,1
TEPB	1725	17,5	1745	17,4	1,1	-0,6
SPPB	2025	15,4	2015	15,0	-0,5	-2,7
ARPB	1975	15,6	1970	14,4	-0,3	-1,4
CTPB	2050	11,0	2085	11,0	1,7	0
TEPI	1935	14,0	1930	13,8	-0,3	-1,5
CAPI	2215	7,8	2215	7,6	0	-2,6
PIPI	2185	8,0	2185	8,0	0	0
GIPI	1905	12,2	1895	12,3	-0,5	0,8
BUPI	2090	7,8	2090	8,0	0	2,5
PDMA	1985	11,5	1980	11,4	-0,3	-0,9
SLMA	2180	8,6	2175	8,8	-0,2	2,3
VGMA	1980	12,1	1980	12,0	0	-0,8
VSMA	2080	6,9	2070	9,0	-0,5	1,1
MOPA	1770	18,3	1785	18,6	0,8	1,6
MAPA	1900	12,8	1910	12,6	0,5	-1,6

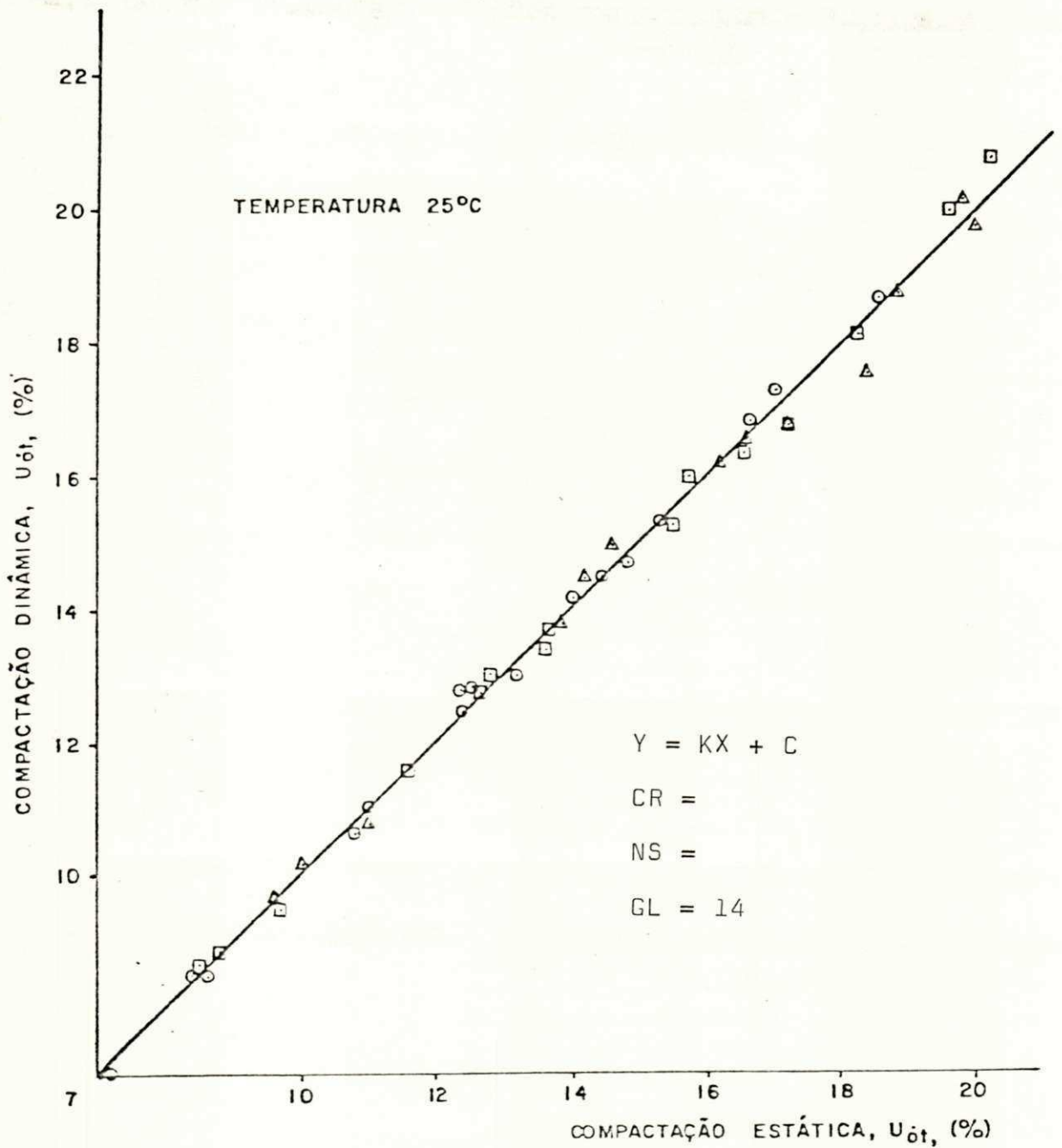
Tabela 4.2.i - Variações entre os Parâmetros Obtidos na Compactação Estática e Dinâmica (Condições: Proctor Modificado, 110°C).



Histograma 4.2.a - Variações em %, entre os valores das massas específicas aparentes secas máximas obtidas na compactação estática com relação a compactação dinâmica.



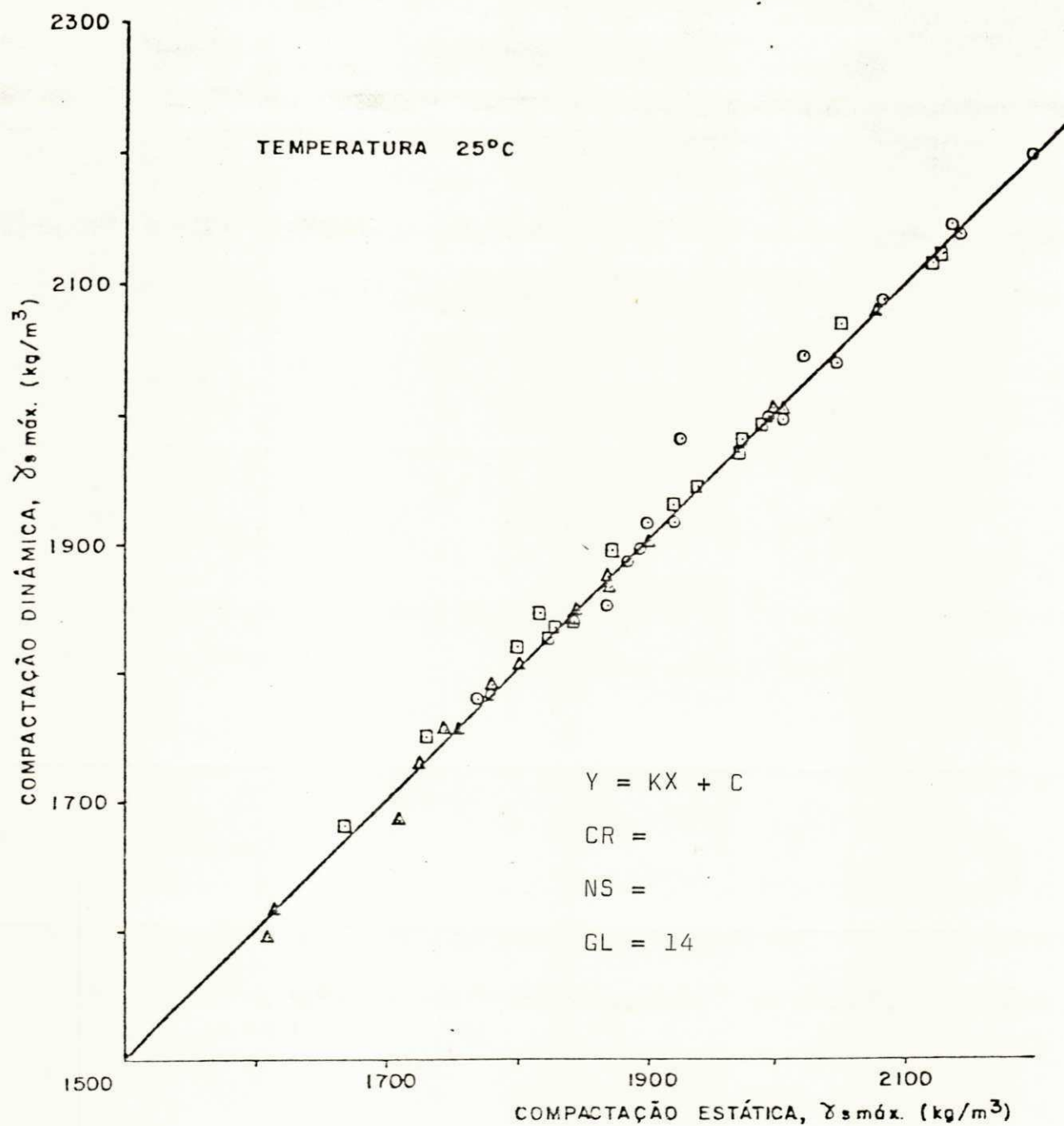
Histograma 4.2.b - Variações em %, entre os valores das umidades ótimas obtidas na compactação estática com relação a compactação dinâmica.



LEGENDA

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| △ PROCTOR NORMAL        | CR = Coef. de Correlação    |
| □ PROCTOR INTERMEDIÁRIO | NS = Nível de Significância |
| ○ PROCTOR MODIFICADO    | GL = Graus de Liberdade     |

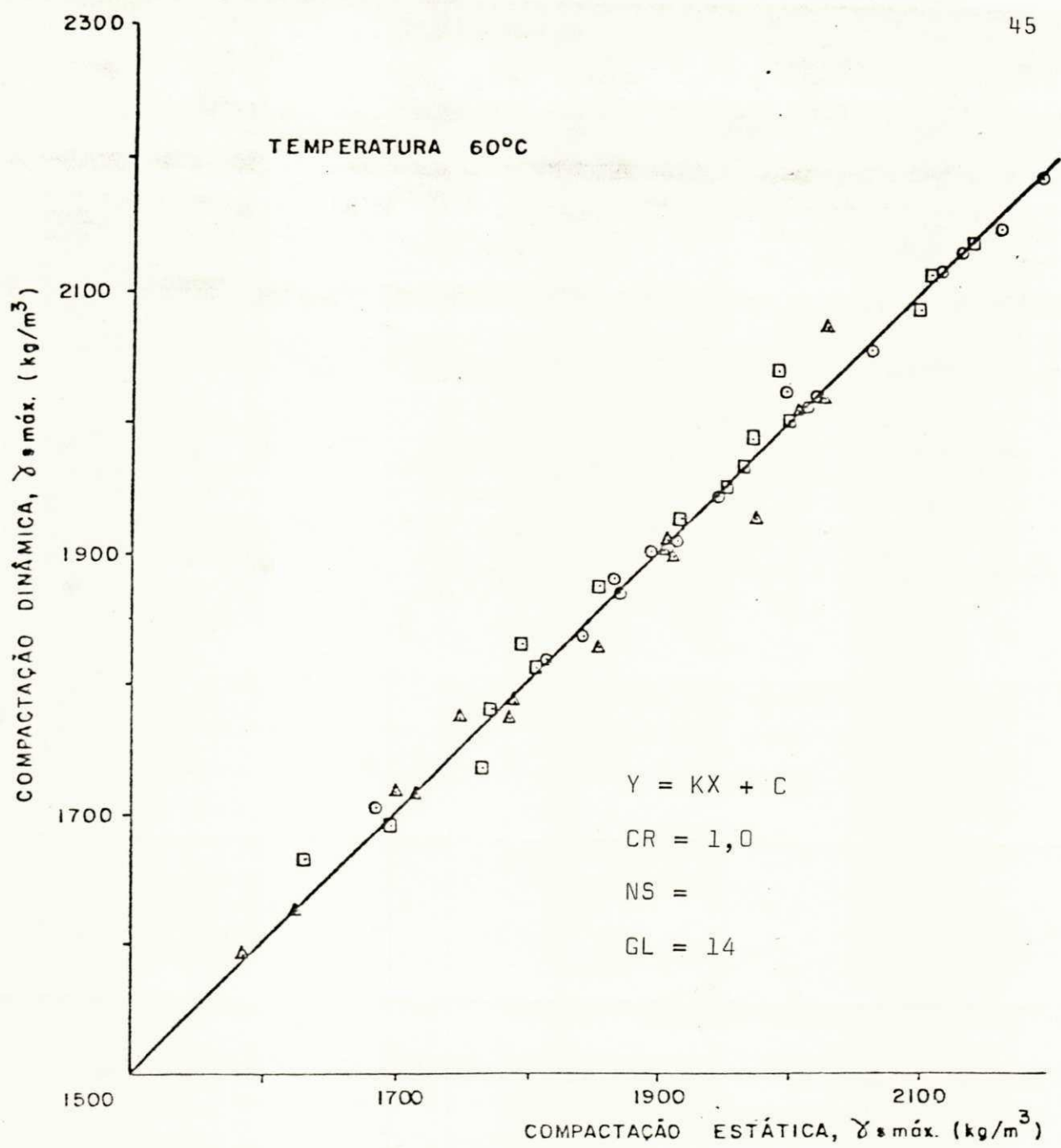
Figura 4.2.a - Correlação entre os Parâmetros de Umidade Ótima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica



LEGENDA

▲ PROCTOR NORMAL	CR = Coef. de Correlação
◻ PROCTOR INTERMEDIÁRIO	NS = Nível de Significância
○ PROCTOR MODIFICADO	GL = Graus de Liberdade

Figura 4.2.b - Correlação entre os Parâmetros de Massa Específica Aparente Seca Máxima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica

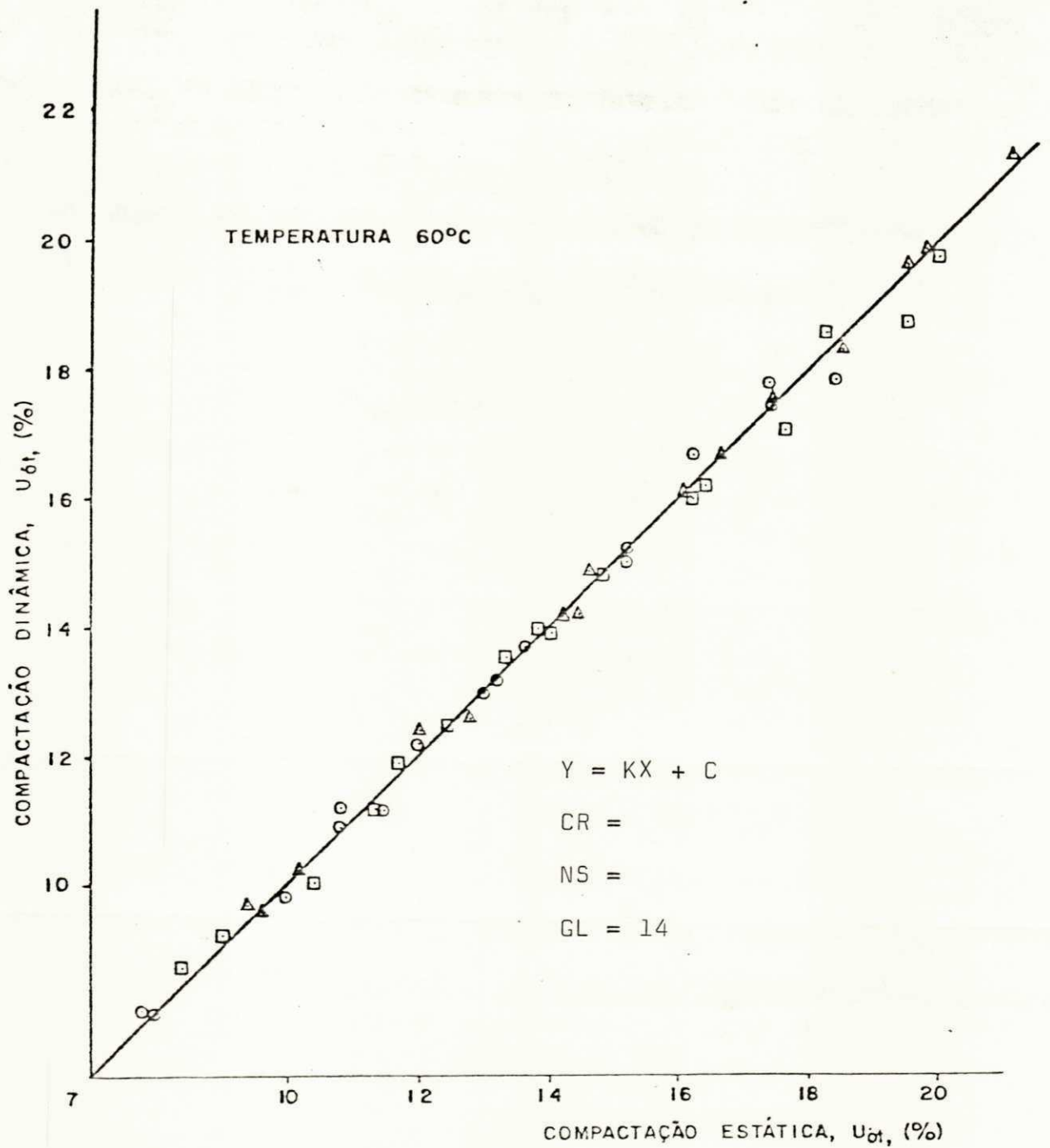


LEGENDA

△ PROCTOR NORMAL	CR = Coef. de Correlação
□ PROCTOR INTERMEDIÁRIO	NS = Nível de Significância
○ PROCTOR MODIFICADO	GL = Graus de Liberdade

Figura 4.2.c - Correlação entre os Parâmetros de Massa Específica Aparente Seca Máxima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica



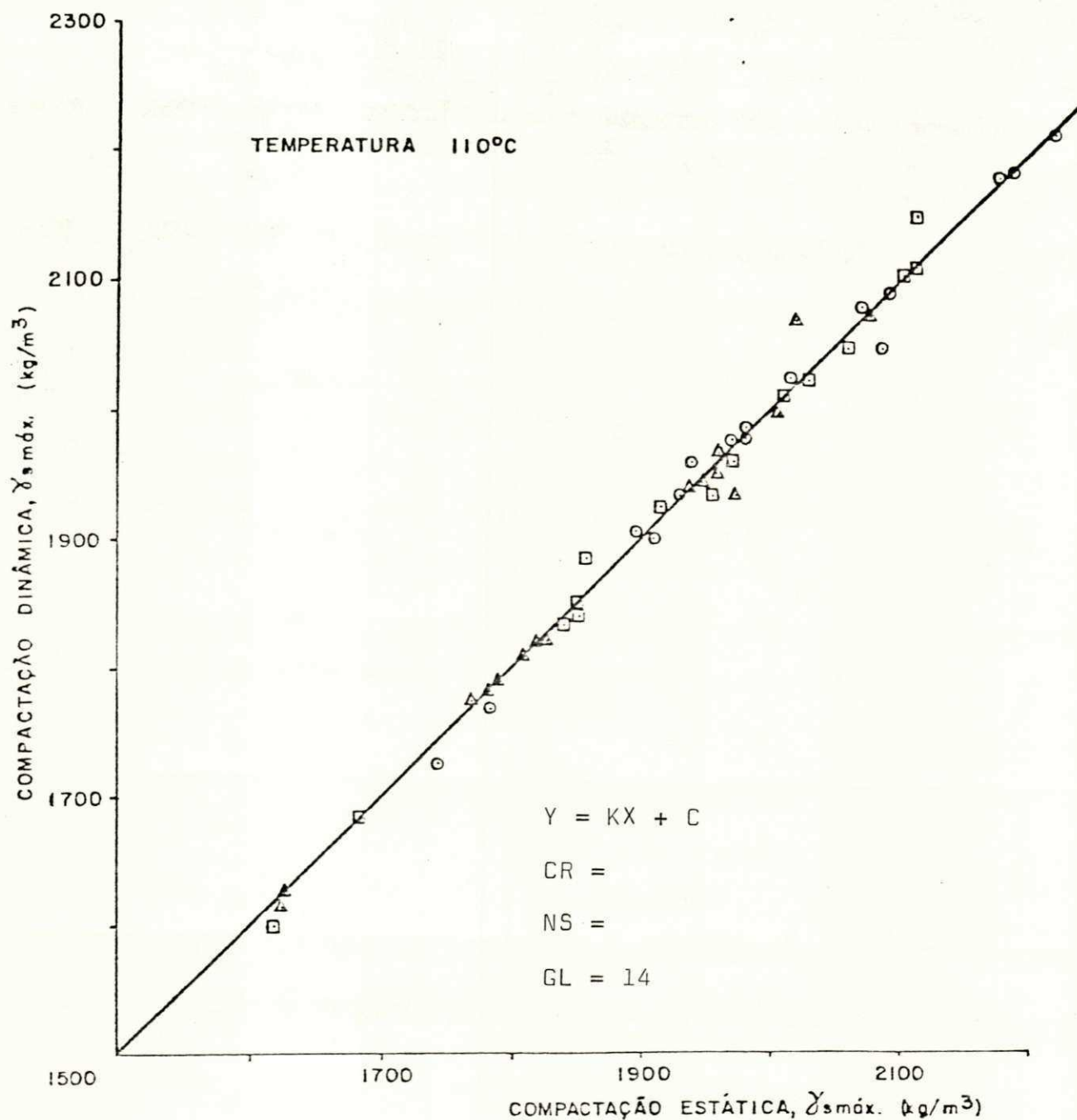


## LEGENDA

- ▲ PROCTOR NORMAL  
 □ PROCTOR INTERMEDIÁRIO  
 ○ PROCTOR MODIFICADO

- CR = Coef. de Correlação  
 NS = Nível de Significância  
 GL = Graus de Liberdade

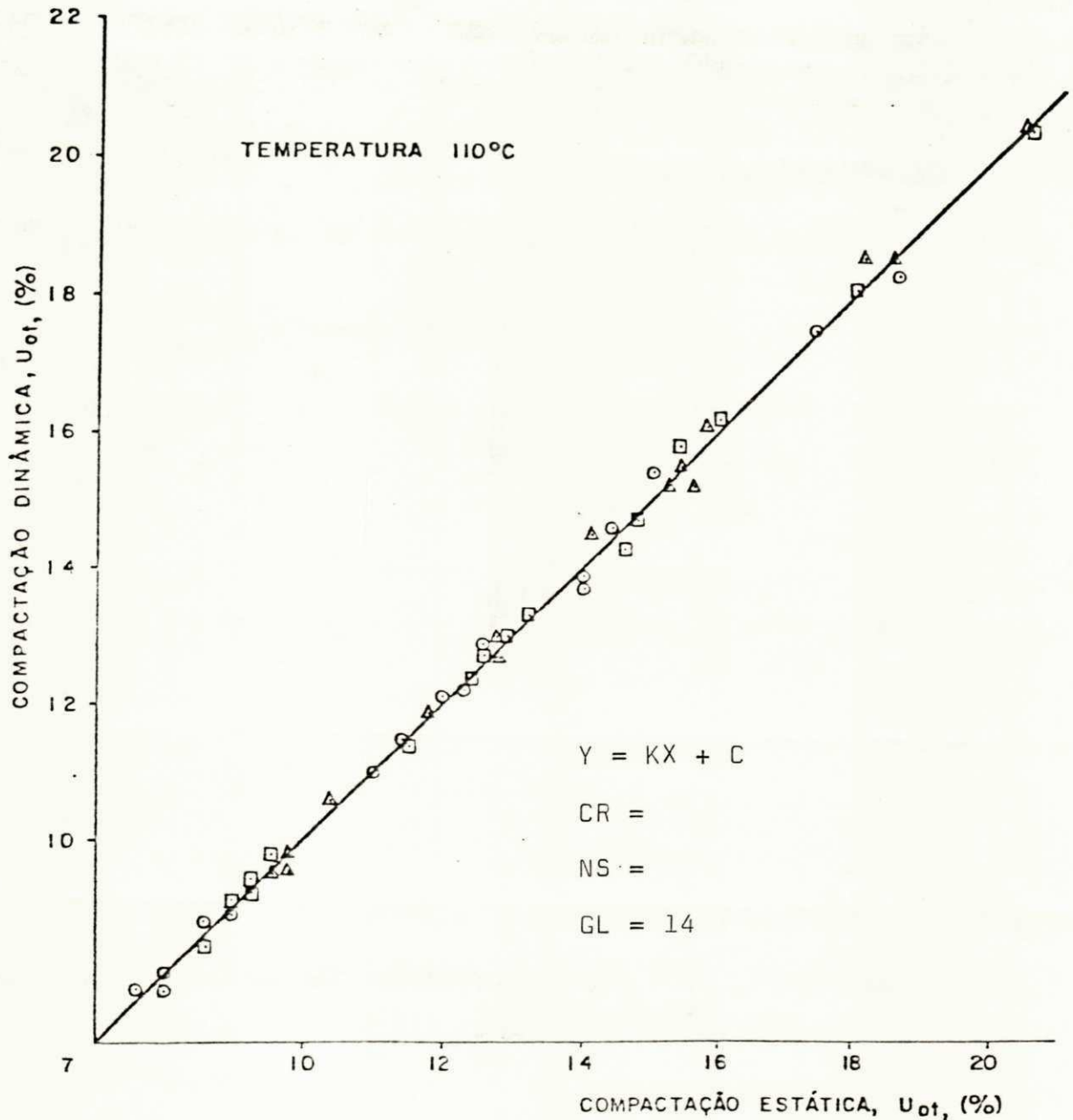
Figura 4.2.d - Correlação entre os Parâmetros de Umidade Ótima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica



LEGENDA

▲	PROCTOR NORMAL	CR =	Coef. de Correlação
▣	PROCTOR INTERMEDIÁRIO	NS =	Nível de Significância
○	PROCTOR MODIFICADO	GL =	Graus de Liberdade

Figura 4.2.e - Correlação entre os Parâmetros de Massa Específica Aparente Seca Máxima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica



## LEGENDA

▲ PROCTOR NORMAL  
 □ PROCTOR INTERMEDIÁRIO  
 ○ PROCTOR MODIFICADO

CR = Coef. de Correlação  
 NS = Nível de Significância  
 GL = Graus de Liberdade

Figura 4.2.f - Correlação entre os Parâmetros de Umidade Ótima Obtidos pela Compactação Estática e Dinâmica

Outro aspecto analisado com relação à metodologia de ensaio foi inerente ao traçado da curva de saturação. O Apêndice II mostra as curvas de massas específicas aparentes secas, e resistência à compressão simples, versus umidade. observa-se que, em alguns casos, a curva de saturação considerada como normal\* cortava o ramo úmido da curva de compactação. Neste caso, fêz-se a devida correção pela equação sugerida por Costa (1983)

$$DR_M = \frac{100}{\frac{\%A}{DR_a} + \frac{\%B}{DR_b}} \quad \text{Equação 4.2.1}$$

onde:

%A, %B = percentagens dos materiais A e B e/ou das frações A e B

DR<sub>a</sub>, DR<sub>b</sub> = densidades relativas dos materiais: a (com diâmetro menor que 2,0 mm) e b (com diâmetro maior que 2,0 mm).

A Tabela 4.2i, apresenta os valores das massas específicas dos solos estudados para as frações maiores e menores do que 2,0 mm e, também, as médias calculadas de acordo com a equação 4.2.1. Este procedimento, isto é: o traçado da curva de saturação corrigida foi recomendado/adequado em virtude da compactação ter sido feita com solos, apresentando diâmetros maiores e menores que 2,0 mm. Observando-se a Tabela 4.2i, verifica-se que os valores obtidos para estas frações são bastante distintos, o que pode contribuir para a obtenção da curva de saturação, cortando o ramo úmido da curva de compactação, quando se utilizam valo

---

\* - Obtida de acordo com o método de ensaio DNER-ME 93-64.

$\gamma_g$ \ SOLO	SPPB	ARPB	TEPB	CTPB	JPPB	MAPA	MOPA	CAPI
< 2 mm	2,774	2,714	2,726	2,740	2,974	2,695	2,693	2,762
> 2 mm	3,340	3,071	-	3,030	3,090	3,127	2,913	3,026
MÉDIA	3,077	2,878	2,726	2,922	2,990	2,908	2,755	2,917

$\gamma_g$ \ SOLO	GIPI	SLMA	VGMA	VSMA	PDMA	BUPI	PIPI	TEPI
< 2 mm	2,654	2,697	2,700	2,700	2,760	2,670	2,700	2,670
> 2 mm	-	3,070	3,140	2,860	3,040	2,980	2,890	2,970
MÉDIA	2,654	2,957	2,900	2,780	2,950	2,770	2,820	2,730

Tabela 4.2.i - Massas Específicas em  $g/cm^3$  dos Solos Estudados para as Frações Maiores e Menores do que 2,0 mm e as Médias Calculadas Segundo a Equação 4.2.1.

res de massa específica dos grãos determinados com a fração do solo menor que 2,0 mm.

Finalmente, a metodologia de ensaio foi avaliada utilizando-se os valores da resistência à compressão simples (RCS) propriamente dita. As Tabelas 4.2j à 4.2m, mostram os resultados obtidos. Calculando-se as variações das percentagens com relação aos pontos externos, verifica-se que 28,4% dos valores apresentam variações entre 0% e 5,0%, 41,0% dos valores entre 5,1% e 10,0% e 30,0% dos valores com variações entre 10,1% e 16,5%. Analisando a variação máxima, obtida com relação à média de três determinações, observa-se variação máxima de 8,9%. De acordo com estes valores, pode-se afirmar que a metodologia de ensaio utilizada para a determinação do valor da resistência à compressão simples dos solos estudados, apresenta-se com repetibilidade aceitável, visto que os valores da resistência à compressão simples estão dentro de limites tolerados.

Com os resultados apresentados e discutidos pode-se afirmar que a metodologia de ensaio utilizada para a determinação da RCS mostrou-se satisfatória visto que tanto os valores de  $\gamma_{sm\acute{a}x}$ ,  $U_{ot}$ ,  $\gamma_{sm}$ ,  $U$  e RCS, foram determinados dentro da faixa de variação plenamente aceitável.

Considerando-se a faixa de variação apresentada por cada parâmetro determinado, pode-se sugerir que: a metodologia utilizada apresenta-se adequada aos tipos de solos estudados, podendo ser adotado critério para variações da massa específica aparente seca de  $\pm 50 \text{ kg/m}^3$ , para umidade de  $\pm 0,5$  do valor obtido e para a resistência à compressão simples o critério de  $\pm 10,0\%$  com relação à média obtida é o indicado.

PROCTOR NORMAL									
SOLO	25°C			60°C			110°C		
	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)
JPPB	159 <sup>x</sup> 150 164	161	-1,2 a +1,9	78 79 82	80	-2,5 a +2,5	959 1008 1040	1002	-4,3 a +3,8
TEPB	76 81 82	80	-5,0 a +2,5	188 189 193	190	-1,1 a +1,6	172 190 193	185	-7,0 a +4,3
SPPB	78 80 82	80	-2,5 a +2,5	189 206 210	202	-6,4 a +4,0	287 290 323	300	-4,3 a +7,7
ARPB	348 352 378	359	-3,1 a +5,3	114 118 128	120	-5,0 a +6,7	139 155 156	150	-7,3 a +4,0
CTPB	135 140 146	140	-3,6 a +4,3	98 102 104	101	-3,0 a +3,0	145 148 149	147	-1,4 a +1,4
TEPI	230 240 252	241	-4,6 a +4,6	258 270 294	274	-5,8 a +7,3	254 258 266	259	-1,9 a +2,7
CAPI	165 170 172	169	-2,4 a +1,8	44 - 48	46	-4,3 a +4,3	67 69 71	69	-2,9 a +2,9
PIPI	73 73 77	74	-1,4 a +4,1	48 48 52	49	-2,0 a +6,1	88 - 93	91	-3,3 a +2,2
GIPI	145 150 160	152	-4,6 a +5,3	205 228 232	222	-7,7 a +4,5	210 230 -	220	-4,5 a +4,5
BUPI	101 101 105	102	-1,0 a +2,9	222 229 241	231	-3,9 a +4,3	189 - 206	198	-4,5 a +4,0
PDMA	234 - 238	236	-0,8 a +0,8	242 - 266	254	-4,7 a +4,7	318 322 334	325	-2,2 a +2,8
SLMA	85 89 93	89	-4,5 a +4,5	104 104 116	108	-3,7 a +7,4	79 81 82	81	-2,5 a +1,2
VGMA	- 81 81	81	0	242 - 252	247	-2,0 a +2,0	234 248 254	245	-4,5 a +3,7
VSMA	48 48 54	50	-4,0 a +8,0	67 - 71	69	-2,9 a +2,9	48 48 52	49	-2,0 a +6,1
MOPA	376 408 420	401	-6,2 a +4,7	416 424 436	425	-2,1 a +2,6	510 538 560	536	-4,9 a +4,5
MAFA	45 48 -	47	-4,3 a +2,1	56 61 62	60	-6,7 a +3,3	177 178 185	180	-1,7 a +2,8

Tabela 4.2.j - Valores de Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados

PROCTOR INTERMEDIÁRIO									
SOLO	25°C			60°C			110°C		
	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIAÇÃO % (+/-)
JPPB	1052	1097	-4,1	113	121	-6,6	2096	2201	-4,8
	1088		a	121		a	2220		a
	1152		+5,0	129		+6,6	2288		+4,0
TEPB	270	281	-3,9	314	321	-2,2	314	330	-4,9
	282		a	322		a	330		a
	290		+3,2	326		+1,6	347		+5,2
SPPB	1249	1300	-3,9	278	282	-1,4	2519	2700	-6,7
	1322		a	283		a	2761		a
	1329		+2,2	286		+1,4	2821		+4,5
ARPB	475	480	-1,0	137	141	-2,8	842	900	-6,4
	484		a	141		a	886		a
	-		+0,8	145		+2,8	971		+7,9
CTPB	471	482	-2,3	295	320	-7,8	484	500	-3,2
	484		a	322		a	500		a
	491		+1,9	343		+7,2	516		+3,2
TEPI	-	421	-1,4	625	649	-3,7	439	440	-0,2
	415		a	645		a	439		a
	427		+1,4	677		+4,3	443		+0,7
CAPI	318	320	-0,6	68	70	-2,9	77	81	-4,9
	320		a	-		a	81		a
	322		+0,6	72		+2,9	85		+4,9
PIPI	269	270	-0,4	157	161	-2,5	149	150	-0,7
	270		a	161		a	-		a
	272		+0,7	165		+2,5	151		+0,7
GIPI	234	250	-6,4	226	241	-6,2	318	340	-6,5
	253		a	238		a	347		a
	264		+5,6	258		+7,1	355		+4,4
BUPI	234	241	-2,9	242	259	-6,6	343	351	-2,3
	242		a	258		a	347		a
	246		+2,1	278		+7,3	363		+3,4
PDMA	391	420	-6,9	544	560	-2,9	427	448	-4,7
	423		a	552		a	455		a
	447		+6,4	584		+4,3	463		+3,3
SLMA	322	332	-3,0	230	242	-5,0	129	140	-7,9
	331		a	254		a	141		a
	343		+3,3	-		+5,0	149		+6,4
VGMA	161	169	-4,7	375	397	-5,5	330	338	-2,4
	165		a	394		a	330		a
	181		+7,1	423		+6,5	355		+5,0
VSMA	97	101	-4,0	76	76	0	141	148	-4,7
	101		a	76		a	145		a
	105		+4,0	-		-	157		+6,1
MOPA	302	321	-5,9	983	1048	-6,2	1024	1085	-5,6
	326		a	1032		a	1068		a
	334		+4,1	1128		+7,6	1164		+7,3
MAPA	77	81	-4,9	77	78	-1,3	355	383	-7,3
	81		a	77		a	391		a
	85		+4,9	81		+3,8	403		+5,2

Tabela 4.2.1 - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados



PROCTOR MODIFICADO									
SOLO	25°C			60°C			110°C		
	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIACAO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIACAO % (+/-)	RCS kPa	RCS Méd. kPa	VARIACAO % (+/-)
JPPB	3796	4012	-5,4	798	841	-5,1	3800	4007	-5,2
	3913		a	826		a	4030		a
	4328		+7,9	899		+6,9	4191		+4,6
TEPB	459	480	-4,4	403	422	-4,5	463	482	-3,9
	-		a	419		a	480		a
	500		+4,2	443		+5,0	504		+4,6
SPPB	1684	1703	-1,1	951	1003	-5,2	4006	4355	-8,0
	1684		a	1007		a	4485		a
	1701		+1,3	1052		+4,9	4574		+5,0
ARPB	576	592	-2,7	161	161	0	1108	1201	-7,7
	600		a	161		a	1245		a
	600		+1,4	-		-	1249		+4,0
CTPB	1736	1777	-2,3	564	601	-6,2	2821	2942	-4,1
	1781		a	596		a	2982		a
	1813		+2,0	644		+7,2	3022		+2,7
TEPI	1172	1250	-6,2	1229	1239	-0,8	1288	1300	-0,9
	1233		a	1249		a	1298		a
	1346		+7,7	-		+0,8	1314		+1,1
CAPI	492	501	-1,8	137	140	-2,1	564	583	-3,3
	500		a	141		a	580		a
	511		+2,0	141		+0,7	605		+3,8
PIPI	463	503	-8,0	342	370	-7,6	343	350	-2,0
	521		a	364		a	343		a
	526		+4,6	403		+8,9	363		+3,7
GIPI	415	429	-3,3	447	470	-4,9	564	590	-4,4
	-		a	475		a	-		a
	443		+3,3	488		+3,8	616		+4,4
BUPI	391	410	-4,6	359	362	-0,8	786	840	-6,4
	415		a	363		a	854		a
	423		+3,2	363		+0,3	879		+4,6
PDMA	685	733	-6,6	778	834	-6,7	931	973	-4,3
	750		a	859		a	967		a
	765		+4,4	866		+3,8	1020		+4,8
SLMA	242	250	-3,2	419	450	-6,9	218	220	-0,9
	250		a	463		a	222		a
	258		+3,2	467		+3,8	-		+0,9
VGMA	294	294	0	737	798	-7,6	729	772	-5,6
	294		a	826		a	790		a
	-		-	830		+4,0	798		+3,4
VSMA	105	110	-4,6	141	141	0	310	336	-7,7
	112		a	141		a	342		a
	112		+1,8	-		-	355		+5,7
MOPA	516	520	-0,8	2096	2250	-6,8	1068	1103	-3,2
	-		a	2317		a	1112		a
	524		+0,8	2337		+3,9	1128		+2,3
MAPA	206	206	0	185	197	-6,1	652	705	-7,5
	206		a	197		a	717		a
	-		-	210		+6,6	746		+5,8

Tabela 4.2.m - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados

#### 4.3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA RESISTÊNCIA À COM PRESSÃO SIMPLES

##### 4.3.1 - Introdução

A análise da influência da temperatura de secagem na resistência à compressão simples (RCS) foi feita considerando-se os seguintes aspectos:

- . para a mesma energia de compactação foi considerado o efeito isolado do aumento da temperatura de secagem;
- . considerou-se determinado solo como sendo influenciado pela temperatura de secagem, quando ocorreu aumento ou diminuição entre a média dos valores obtidos para a resistência à compressão simples a  $60^{\circ}\text{C}$ , ou a  $110^{\circ}\text{C}$  em relação à média obtida para os valores a  $25^{\circ}\text{C}$  e, quando estas foram superiores a 10%. Quando as diferenças foram inferiores a 10%, não considerou-se a influência da temperatura nos valores da RCS;
- . quando havia tendência para aumentar ou diminuir os valores da resistência à compressão simples, obtidos para as temperaturas de  $25^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$  e tendência contrária entre os valores médios da resistência à compressão simples, obtidos para as temperaturas de  $25^{\circ}\text{C}$  e  $110^{\circ}\text{C}$ , considerou-se como "indefinida" a influência da temperatura de secagem na resistência à compressão simples dos solos estudados.

Os resultados obtidos são mostrados nas Tabelas

4.3.1a à 4.3.1h em termos de resistência à compressão simples, na massa específica aparente seca máxima, e na umidade ótima para os diversos níveis de temperatura de secagem e energia mecânica utilizadas.

4.3.2 - Análise dos Resultados Obtidos: Valores de Resistência à Compressão Simples Obtidos à 60°C com Relação aos valores da Resistência à Compressão Simples Obtidos a 25°C

- Solos: JPPB, ARPB, CAPI, CTPB e PIPI

A análise dos solos de JPPB, ARPB, CAPI, apresentou para o Proctor normal, intermediário e modificado forte tendência a diminuir o valor da RCS com a secagem a 60°C. Para os solos de CTPB e PIPI esta tendência foi menos acentuada.

- Solos: TEPB, SPPB, TEPI, GIPI, BUPI e PDMA

Verifica-se para o solo de TEPB, aumento acentuado no valor da RCS para o Proctor normal e valores constantes para o Proctor intermediário e o Proctor modificado. Para o solo SPPB, verificou-se aumento acentuado para o Proctor normal, enquanto para o Proctor intermediário e o Proctor modificado, a tendência foi no sentido de diminuir o valor da RCS. O solo TEPI apresentou RCS constante (Proctor normal e Proctor modificado) e aumento na energia do Proctor intermediário. Os solos GIPI e BUPI aumentaram a RCS (Proctor normal) mas no Proctor intermediário e no Proctor modificado a RCS permaneceu constante. O so

lo PDMA aumentou a RCS somente no Proctor intermediário; para as outras energias de compactação a RCS não se alterou.

- Solos: VGMA e MOPA

Os solos VGMA e MOPA aumentaram a RCS para as diferentes temperaturas de secagem e energias de compactação; entretanto no Proctor normal, o solo MOPA apresentou constância de valores, entre as temperaturas de secagem de 25°C e 60°C.

- Solos: VSMA e MAPA

A RCS dos solos VSMA e MAPA não foi afetada pelo aumento da temperatura de secagem para as três energias de compactação.

- Solo SLMA

Os valores da RCS obtidos com a energia do Proctor normal, mostram que houve constância de valores, enquanto o Proctor intermediário apresenta diminuição da RCS; no entanto no Proctor modificado, verifica-se tendência de aumento no valor da RCS com a secagem.

4.3.3 - Análise dos Resultados Obtidos: Valores de Resistência à Compressão Simples Obtidos a 110°C com Relação aos Valores da Resistência à Compressão Simples Obtidos a 25°C

SOLO JPPB

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1780	17,2	160	1790	17,5	80	1790	15,3	1000	-47,1%	+525,0%
INTERMEDIÁRIO	1830	15,7	1100	1855	16,4	120	1850	14,8	2200	-89,1%	+100,0%
MODIFICADO	1900	14,0	4000	1895	15,2	840	1960	14,0	4000	-79,0%	0

SOLO TEPB

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1610	19,5	80	1585	19,6	190	1625	18,6	185	-137,5%	+131,3%
INTERMEDIÁRIO	1670	19,6	280	1630	18,6	320	1685	18,0	330	-14,3%	+ 17,9%
MODIFICADO	1780	16,6	480	1685	18,4	420	1745	17,4	480	- 12,5%	0

Tabela 4.3.1.a - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO SPPB

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1800	19,8	80	1750	20,0	200	1810	18,2	300	+150,0%	+275,0%
INTERMEDIÁRIO	1840	18,2	1300	1795	19,4	280	1970	15,8	2700	- 78,5%	+107,7%
MODIFICADO	1920	17,0	1700	1865	17,4	1000	2015	15,0	4350	- 41,2%	-155,9%

SOLO ARPB

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1725	17,4	360	1715	18,4	120	1820	15,6	150	- 66,7%	- 58,3%
INTERMEDIÁRIO	1825	16,6	480	1765	17,6	140	1915	14,6	900	- 70,8%	- 87,5%
MODIFICADO	1870	15,3	590	1910	17,4	160	1970	14,4	1200	- 72,9%	+103,4%

Tabela 4.3.1.b - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO CTPB

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	1870	14,5	140	1855	16,8	100	1960	11,8	150	- 28,6%	+ 7,1%
INTERMEDIÁRIO	1920	13,6	480	1970	14,8	320	2030	11,5	500	- 33,3%	+ 4,2%
MODIFICADO	2045	12,6	1780	1995	13,0	600	2085	11,0	2950	- 66,3%	+ 65,7%

SOLO TEPI

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	1755	16,4	240	1905	14,5	270	1825	15,8	260	+ 12,5%	+ 8,3%
INTERMEDIÁRIO	1875	15,5	420	1915	13,8	650	1855	15,4	440	+ 54,8%	+ 4,8%
MODIFICADO	1925	14,4	1250	1945	13,6	1240	1930	13,8	1300	- 0,8%	+ 4,0%

Tabela 4.3.1.c - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO CAPI

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	2005	12,6	170	1905	12,8	45	2020	10,0	70	- 73,5%	- 58,8%
INTERMEDIÁRIO	2050	11,6	320	1985	12,4	70	2110	9,6	80	- 78,1%	- 75,0%
MODIFICADO	2080	11,0	500	2110	10,8	140	2215	7,6	580	- 72,0%	+ 16,0%

SOLO PIPI

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	2000	9,5	70	2005	9,6	50	2005	9,5	90	- 28,6%	+ 28,6%
INTERMEDIÁRIO	2125	8,5	270	2135	8,4	160	2100	9,2	150	- 40,7%	- 44,4%
MODIFICADO	2195	7,2	500	2190	8,0	370	2185	8,0	350	- 26,0%	- 30,0%

Tabela 4.3.1.d - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação



SOLO GIPI

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1710	14,0	150	1700	14,4	220	1770	15,2	220	+ 46,7%	+ 46,7%
INTERMEDIÁRIO	1820	13,7	250	1770	14,0	240	1850	12,9	340	- 4,0%	+ 36,0%
MODIFICADO	1885	13,2	430	1910	12,0	470	1895	12,3	590	+ 9,3%	+ 37,2%

SOLO BUPI

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1900	11,2	100	2030	10,2	230	1910	9,9	200	+130,0%	+100,0%
INTERMEDIÁRIO	1980	9,7	240	2105	10,4	260	2060	8,6	350	+ 8,3%	+ 45,8%
MODIFICADO	2045	8,6	410	2130	10,0	360	2090	8,0	840	- 12,2%	+104,9%

Tabela 4.3.1.e - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO PDMA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1840	14,3	240	1905	14,1	250	1905	12,6	320	+ 4,2%	+ 33,3%
INTERMEDIÁRIO	1975	12,8	420	1950	13,3	560	1930	12,6	450	+ 33,3%	+ 7,1%
MODIFICADO	1995	12,4	730	2020	13,2	830	1980	11,4	970	+ 13,7%	+ 32,9%

SOLO SLMA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	2075	9,8	90	2020	9,3	105	2075	9,8	80	+ 16,7%	- 11,1%
INTERMEDIÁRIO	2120	8,8	330	2095	9,0	240	2110	9,0	140	- 27,3%	- 57,6%
MODIFICADO	2135	8,4	250	2160	7,8	450	2175	8,8	220	+ 80,0%	- 12,0%

Tabela 4.3.1.f - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO VGMA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	1845	16,3	80	1935	12,8	250	1950	12,8	240	+212,5%	+200,0%
INTERMEDIÁRIO	1940	14,8	170	2000	11,7	400	1960	12,4	340	+135,3%	+100,0%
MODIFICADO	2000	12,4	290	2060	11,4	800	1980	12,0	770	+175,9%	+165,5%

SOLO VSMA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ kg/m <sup>3</sup>	U <sub>ot</sub> %	RCS kPa		
NORMAL	1870	13,8	50	1910	12,2	70	1940	9,8	50	+ 40,0%	0
INTERMEDIÁRIO	1990	12,7	100	1965	11,3	75	2010	9,4	150	+ 25,0%	+ 50,0%
MODIFICADO	2040	11,8	110	2010	10,8	140	2070	9,0	330	+ 27,3%	+200,0%

Tabela 4.3.1.g - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

SOLO MOPA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1615	21,6	400	1625	21,3	420	1620	20,5	540	+ 5,0%	+ 35,0%
INTERMEDIÁRIO	1730	20,2	320	1695	20,0	1050	1730	19,6	1080	+228,0%	+237,5%
MODIFICADO	1770	18,5	520	1840	16,2	2250	1785	18,6	1100	+332,7%	+111,5%

SOLO MAPA

TEMP. SECAGEM	25°C			60°C			110°C			RCS VARIACÃO 25/60	RCS VARIACÃO 25/110
PARÂM. PROCTOR	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa	$\gamma_{smáx}$ kg/m <sup>3</sup>	Uot %	RCS kPa		
NORMAL	1745	18,8	45	1790	16,4	60	1785	14,0	180	+ 33,3%	+300,0%
INTERMEDIÁRIO	1800	17,2	80	1805	16,2	80	1840	13,2	380	0	+375,0%
MODIFICADO	1895	14,8	205	1870	15,2	200	1810	12,6	700	- 2,4%	+241,5%

Tabela 4.3.1.h - Valores da Resistência à Compressão Simples (RCS) para os Solos Estudados nas Diversas Energias de Compactação

- Solos: TEPB, ARPB e JPPB

Para o solo de TEPB houve aumento apenas na RCS para o Proctor normal e valores constantes para o Proctor intermediário e modificado. O solo ARPB diminuiu a RCS na energia do Proctor normal, mas verificou-se aumento de RCS nas outras energias de compactação. Para o solo JPPB a secagem a 110°C do Proctor normal não definiu tendência com relação ao efeito da temperatura de secagem; entretanto, observou-se que, para o Proctor intermediário, a secagem a 110°C tendeu a aumentar o valor da resistência à compressão simples, enquanto para o Proctor modificado nenhuma variação pôde ser observada.

- Solos: CAPI, PIPI e SLMA

Os solos de CAPI, PIPI e SLMA apresentaram tendência a diminuir o valor da RCS com a secagem a 110°C. O solo PIPI mostrou tendência para repetir os valores no Proctor normal, enquanto para o solo SLMA esta tendência foi observada no Proctor normal e no Proctor modificado.

- Solos: SPPB, GIPI, BUPI, VGMA, MOPA, MAPA, PDMA e VSMA

Os solos acima apresentam tendência para aumentar o valor da RCS, com a secagem a 110°C para o Proctor normal, Proctor intermediário e o Proctor modificado, exceções apenas foram observadas para o solo PDMA (Proctor intermediário) e VSMA (Proctor normal) quando a tendência foi de repetir os valores

da RCS.

As Tabelas 4.3.3i à 4.3.3l apresentam, para as três energias de compactação e, considerando o efeito do aumento da temperatura de secagem, os solos grupados segundo a tendência observada com relação ao efeito da temperatura de secagem nos valores de RCS. Como se observa nestas tabelas, os solos de maneira geral, definem o comportamento, em termos de grupamento, com relação ao efeito do aumento da temperatura de secagem nos valores da resistência à compressão simples.

#### 4.3.4 - Causas para as Variações dos Valores da Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos Devido ao Aumento da Temperatura de Secagem

Sabe-se que a formação do solo laterítico está, de alguma forma, relacionada à energia térmica. Esta, por sua vez, pode afetar algumas propriedades de engenharia. Os estudos efetuados com os solos lateríticos mostraram esta evidência. Por exemplo: de acordo com Gradwell (1954), Newiell (1961), Hirashima (1948), Frauhauf (1946) e Townsend (1969) citado por Gidigasú e Yeboa (1972) o comportamento de certas propriedades de engenharia de alguns solos lateríticos, quanto a sensibilidade à secagem, depende do argilo mineral predominantemente na fração tamanho argila (no caso a haloisita) e da estrutura granular peculiar destes solos. Outras propriedades devem ser levadas em consideração como a composição química em termos de elementos totais, a composição química em termos de elementos parciais (constituintes amorfos) e composição mineralógica.

A composição química e a relação molecular sílica/ses

EFEITO DA SECAGEM	TENDÊNCIA A DIMINUIR A RCS	TENDÊNCIA A AUMENTAR A RCS	RCS CONSTANTE
S O L O S	JPPB CTPB ARPB CAPI PIPI	TEPB SPPB GIPI BUPI PDMA VGMA VSMA MOPA MAPA	TEPI SLMA

Tabela 4.3.3.i - Grupamento dos Solos segundo o Efeito da Temperatura de Secagem no Valor da RCS (Proctor Normal).

EFEITO DA SECAGEM	TENDÊNCIA A DIMINUIR A RCS	TENDÊNCIA A AUMENTAR A RCS	RCS CONSTANTE	TENDÊNCIA NÃO DEFINIDA
S O L O S	CTPB CAPI PIPI SLMA	TEPI GIPI BUPI PDMA VGMA MOPA MAPA	TEPB	JPPB SPPB ARPB VSMA

Tabela 4.3.3.j - Grupamento dos Solos Segundo o Efeito da Temperatura de Secagem no Valor da RCS (Proctor Intermediário).

EFEITO DA SECAGEM	TENDÊNCIA A DIMINUIR A RCS	TENDÊNCIA A AUMENTAR A RCS	RCS CONSTANTE	TENDENCIA NÃO DEFINIDA
S O L O S	CAPI PIPI	GIPI BUPI PDMA SLMA VGMA VSMA MOPA MAPA	TEPB TEPI	SPPB ARPB CTPA JPPB

Tabela 4.3.3.1 - Grupamento dos Solos Segundo o Efeito da Temperatura de Secagem no Valor da RCS (Proctor Modificado).

tuintes amorfos em termos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . O percentual de  $\text{SiO}_2$  amorfo varia de 6,50% e 15,17%, enquanto o de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  amorfo apresenta uma faixa de variação entre 2,52% e 9,28% e o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  amorfo de 0,30% a 4,20%. De acordo com os estudos realizados por Queiroz de Carvalho (1979, 1981) é de se esperar que estes constituintes amorfos contribuam para a agregação/cimentação das partículas. Assim é de se esperar que exista alguma relação entre o comportamento dos valores da resistência à compressão simples, quando submetidos a diferentes temperaturas de secagem e diferentes níveis de energia mecânica com os constituintes amorfos. No entanto, o que se observa é que não existe relação do tipo "quanto maior o teor de silício/alumínio ou ferro, maior o efeito definido de aumentar a RCS com o aumento de temperatura". Por exemplo, o solo GIPI apresentou os menores teores de constituintes amorfos e tendência a aumentar a resistência à compressão simples com a temperatura de secagem, enquanto o solo de PIPI apresentou os maiores teores de constituintes amorfos e tendência a diminuir a RCS com a temperatura de secagem. Mesmo sem existir relação direta entre o aumento da RCS com o aumento da temperatura de secagem, observa-se, por outro lado, que os maiores percentuais de silício, alumínio e ferro, têm a tendência de serem encontrados em solos que aumentam a RCS com o aumento da temperatura de secagem.

A possível explicação para a ausência de relação entre a composição química em termos de Si, Al e Fe (totais e amorfos) e o aumento da RCS pode ser atribuído ao fato de que os altos percentuais destes elementos já tenham ultrapassados os limites mínimos em que podem afetar diretamente a RCS.

Com relação à composição mineralógica, observa-se das



4.3h; entretanto, foram observadas as seguintes exceções:

1. com relação à temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , o solo SLMA a apresentou resistência à compressão simples (RCS) no Proctor intermediário, maior que no Proctor mo dificado, enquanto o solo de VSMA apresentou a RCS no Proctor intermediário com relação ao Proctor modificado, dentro dos limites de repetibilidade do ensaio e, finalmente, o solo de MOPA apresentou RCS constante entre o Proctor intermediário e o Proctor modificado;
2. com relação à temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , os solos de GIPI, BUPI, VSMA e MAPA, apresentaram tendência de repetir os valores da resistência à compressão sim ples no Proctor normal e no Proctor intermediário. O solo ARPB, apresentou tendência para repetir os valores com o aumento da energia mecânica;
3. com relação à temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$ , o solo CAPI foi o único a apresentar tendência a repetir os valores da RCS entre o Proctor intermediário e o Proctor modificado.

Os resultados obtidos com relação à influência da e nergia mecânica na resistência à compressão simples, mostram que um aumento na energia mecânica, tende a aumentar - de manei ra geral - o valor da RCS. Isto pode ser atribuído ao fato de que o aumento no esforço de compactação provoca maior aproximaç ão entre as partículas do solo, principalmente na fração taman ho areia + silte (predominantemente nos 16 solos estudados) e/ou aumento nas tensões de sucção, o que acarreta aumento na

resistência à compressão simples. É importante observar que o aumento na energia de compactação pode quebrar as concreções existentes no solo, modificando, assim, a granulometria dos solos, podendo, neste caso, ser verificado tanto aumento como diminuição na resistência à compressão simples, dependendo de como se apresenta a granulometria do solo, pois a degradação das estruturas propicia aumento ou redução, tanto no ângulo de atrito, quanto no da coesão do solo.

#### 4.3.6 - Influência Combinada da Temperatura de Secagem e da Energia Mecânica na Resistência à Compressão Simples

Os resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 4.3.6a à 4.3.6h, mostram, claramente, que a tendência dos valores da resistência à compressão simples era de aumentar com o efeito dos aumentos combinados da temperatura de secagem e da energia mecânica. Observa-se, entretanto, que alguns dos solos estudados não apresentaram esta tendência, mas este fato já era esperado em virtude de que a observação das curvas de resistência à compressão simples, versus umidade, apresentaram, de maneira geral, queda brusca de resistência na vizinhança da umidade ótima, sendo, portanto, a umidade ótima um fator importante na determinação do valor de RCS. Uma explicação provável para este comportamento é fornecido por Lambe (1960), Seed e Chan (1961). Na opinião desses autores a região em torno da umidade ótima, apresenta uma zona de transição entre a estrutura dos sólidos e as condições do fluído nos poros.

Com relação ao estudo realizado, pode-se concluir que

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram concluir que:

#### 1. Com Relação a Metodologia de Ensaio

A metodologia de ensaio adotada na determinação do valor da resistência à compressão simples, incluindo-se a moldagem estática dos corpos de prova, pode ser considerada adequada, em virtude de a repetibilidade encontrada apresentar-se dentro de uma faixa estreita de variação e dentro dos limites e comportamento tolerados.

#### 2. Com Relação ao Efeito do Aumento da Temperatura de Secagem no Valor da Resistência à Compressão Simples

Os solos apresentaram comportamento de acordo com o nível de energia mecânica associado ao nível de temperatura de secagem utilizado, e mostraram tendências distintas, aumentando ou diminuindo a resistência à compressão simples com o aumento da temperatura de secagem.

3. Com Relação ao Efeito do Aumento da Temperatura de Secagem na Resistência à Compressão Simples e sua Relação com a Composição Química e a Composição Mineralógica

Para os solos estudados não foi possível encontrar relação entre o efeito do aumento da temperatura de secagem na resistência à compressão simples com a composição química, não existindo, portanto, relação direta do tipo "quanto maior os teores dos componentes químicos sensíveis à secagem, maior o efeito da temperatura de secagem" para os solos estudados. Com relação à composição mineralógica, os solos estudados apresentaram composição mineralógica, semelhantes, no entanto, mostraram comportamentos diferentes com relação ao efeito da temperatura de secagem no valor da resistência à compressão simples.

4. Com Relação ao Efeito do Aumento da Energia Mecânica no Valor da Resistência à Compressão Simples

O aumento da energia mecânica, causou aumento no valor da resistência à compressão simples para quase todos os solos estudados; as poucas exceções observadas foram no sentido de repetir os valores com o aumento da energia mecânica.

5. Com Relação ao Efeito Combinado da Temperatura de Secagem e da Energia Mecânica na Resistência à Compressão Simples

Os efeitos combinados, provocados pela temperatura de secagem e energia mecânica foram no sentido de aumentar o valor da resistência à compressão simples com predominância do efeito provocado pela energia mecânica.

## CAPÍTULO VI

### SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram que necessário se faz avaliar em profundidade, o efeito da temperatura de secagem sobre outras características específicas dos solos lateríticos, uma vez que esta pesquisa isolou somente um parâmetro dos solos e este mostrou resultados até certo ponto limitado. Com relação à metodologia avaliada para a determinação da resistência à compressão simples, observou-se a necessidade de avaliação mais detalhada, principalmente na reprodução das condições de compactação. Assim, sugere-se, entre outros, os seguintes estudos:

1. avaliar o efeito da temperatura de secagem nas características de plasticidade;
2. relacionar o efeito da temperatura de secagem com propriedades intrínsecas dos solos, e.g., área específica da fração do solo estudado;
3. avaliar o potencial de retenção de água do solo após secagem a diferentes temperaturas;
4. comparar valores da resistência à compressão sim

ples obtidos com compactação estática e dinâmica;

5. avaliar/comparar os parâmetros de compactação obtidos, estaticamente e dinamicamente, com a aplicação de cargas diferentes.

## BIBLIOGRAFIA

- ACKROYD, L.W., 1959, Engineering Classification of Some Western Nigerian Gravels and Their Qualities in Road Making, Overseas Bulletin 10, British Road Research Laboratory, 32p.
- ALEXANDRE, L.T. and CADY, Y.G., 1962, Genesis and Hardening of Laterite in Soils, Technical Bull 1282, U.S. Department of Agriculture, 90 p.
- BARATA, F.E., 1958, Correlação entre Compactação Dinâmica e Compactação Estática, 29 CBMS, pp. 213-227.
- BIRRELL, K.S., 1952, Some Physical Properties of New Zealand Volcanic Ash Soils, Proc. 1st Aust. N.Z. Conf. S.M.F.E., Melbourne, pp. 30-34.
- BRAND, E.W. and HONGSNOI, M., 1969, Effects of Method of Preparation on Compaction and Strength Characteristics of Lateritic Soils, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol. 1, pp. 107-116.
- CARVALHO, J.C., 1981, Influência das Energias Térmica e Mecânica em Propriedades de Engenharia Selecionadas de Alguns Solos Lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil, Tese de MSc, CCT-UFPB, Campina Grande, PB, pp. 184.

CARVALHO BORBA, S., 1981, Estudo das Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Tese MSc, UFRS, Brasil, 149 p.

COSTA, C.R.V., 1983, Variação do Ensaio Índice de Suporte Califórnia (CBR) com e sem Imersão e sua Relação com Mudanças de Energias Térmica e Mecânica, Tese MSc, CCT-UFPB, Campina Grande, PB, Brasil.

DE GRAFT-JOHNSON, J.W.S. and BHATIA, H.S., 1969, The Engineering Characteristics of the Laterite Gravels of Ghana, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol. 2, pp. 13-42.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1974, Levantamento de Recursos Naturais, Projeto RADAM, Brasil.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS, 1977, Materiais para Obras Rodoviárias, Métodos e Instruções de Ensaio, Brasil.

EVANS, E.A., 1958, A Laboratory Investigation of Six Lateritic Gravels from Uganda, Research Note RN/3241/EAE, Road Research Lab. London.

FROST, R.J., 1967, Importance of Correct Pretest Preparation of Some Tropical Soils, Proc. First Southeast Asian Regional Conference on Soil Engineering, Bangkok, pp. 43-53.



- FRUHAUF, B., 1946, A Study of Lateritic Soils, Proc. Highway Research Board, Vol. 26, pp. 579-593.
- GALVÃO, M.V., 1976, Regiões Bioclimáticas do Brasil, Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, Brasil.
- GIDIGASU, M.D. and YEBOA, S.L., 1972, Significance of Pretesting Preparations in Evaluating Index Properties of Laterite Materials, Highway Res. Rec. n° 405, pp. 105-116.
- GIDIGASU, M.D., 1974, Identification of Problem Laterite Soils in Highway Engineering: A Review, Transportation Research Record, Washington, pp. 96-111.
- GRADWEEL, M. and BIRRELL, K.S., 1954, Physical Properties of Certain Volcanic Soils N.Z.J. Sci. Tech., Vol. 36, pp. 108-122.
- HIRASHIMA, K.B., 1948, Highway Experience with Thixotropic Volcanic Clay, H.R.B. Proc., Vol. 28, pp. 481-494.
- LAMBE, T.W., 1960, A Mechanistic Picture of Shear Strength in Clay, Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, June, pp. 555-580.
- LAMBE, T.W., 1969, Soil Testing for Engineers, John Wiley & Sons, Inc., p. 165.
- LIMA, R.C., 1983, Granulometria de Solos Lateríticos: Metodolo

gia Efeitos das Energias Térmica e Mecânica e Relação com a Composição Química e Mineralógica, Tese de MSc, CCT/UFPB, Campina Grande, PB, p. 110.

L.N.E.C. (Lisboa), L.E.A. (Luanda), L.E.M.M.S. (Lourenço Marques) e J.A.E.A. (Luanda), 1969, Portuguese Studies on Engineering Properties of Lateritic Soils, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol. 1, pp. 85-96.

LYON ASSOCIATES INC. AND BRAZILIAN NATIONAL HIGHWAY DEPARTMENT by W.J. MORIN and PETER C. TODOR, 1975, Laterite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of the Tropics, Col. 1, p. 369.

MATYAS, E.L. and RADHAKRISHNA, H.S., 1968, Volume Change Characteristics of Partially Saturated Soils Geotechnique, 18: 4, pp. 432-448.

MEIRELES, J.M.F., 1971, Mechanical Effect on Geotechnical Properties of Lateritic Soils, Fifth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Luanda, Angola, p.3.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA e SUDENE, 1972, Levantamento Exploratório Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, Boletim Técnico nº 15, Série Edafologia nº 8, Rio de Janeiro, Brasil.

MITCHELL, J.K., 1976, Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, Inc., p. 422.

MOH, ZA - CHIEH and MOZHAR, M.F., 1969, Effects of Method of Preparation on Index Properties of Lateritic Soils, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico Vol. 1, pp. 23-35.

NEWILL, D., 1961, A Laboratory Investigation of Two Red Clays from Kenya, Geotechnique, n<sup>o</sup> 11:4, pp. 302-318.

NEWILL, D. and DOWLING, J.M.F., 1969, Laterites in Western Malaysia and Northern Nigeria, Proc. of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, Vol. 2, pp. 133-150.

NOVAIS FERREIRA, H. and MEIRELES, J.M.F., 1972, Influência nas Propriedades Geotecnicas de Solos Lateríticos do Umedecimento e da Temperatura, Laboratório de Engenharia de Angola, Publicação n<sup>o</sup> 164, Luanda, pp. 251-259.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., 1979, Soil Properties Affecting the Lime Stabilization of Red Tropical Soils from North-East Brazil, PhD Thesis, Universidade de Leeds, Inglaterra, p. 344.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., 1981, Amorphous Materials and Lime

Stabilized Soils, Anais do X Congresso Internacional de Me  
cânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Estocolmo, Su  
écia, V.III, pp. 761-764.

SEED, H.B. and CHAN, C.K., 1959, Structure and Strength Characteristic  
of Compacted Clays, Proc. Am. Soc. Civ. Eng.,  
Journal S.M.F. Division, Vol. 85, n<sup>o</sup> SM 5, pp. 87-128.

SEED, H.B., MITCHELL, J.K. and CHAN, C.K., 1960, Research Con  
ference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp.  
877-964.

SUDENE, 1974a, Capacidade de Uso das Terras, Série Edafologia,  
n<sup>o</sup> 4, Recife, Brasil.

SUDENE, 1974b, Departamento de Solos, Mapa de Regiões Bioclimáticas  
e Mapa de Isoietas, Recife, Brasil.

SUDENE, 1977, Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Re  
cife, Brasil.

SHUSTER, J.A., 1970, Mechanical Durability of Lateritic Gravels  
from South East Asia: Suggested Tests and Test Standards  
for Highway Uses. Journ. Australian Road Research Board,  
Melbourne, Vol. 4, n<sup>o</sup> 405, pp. 32-44.

TATEISHI, H., 1967, Basic Engineering Characteristics of High-  
Moisture Tropical Soils, Proc. WASHO Conference, U.S.A. p.  
19.

TERZAGHI, K., 1958, Design and Performance of Sasumua Dam.,  
Proc. Institution of Civil Engineers, London, Vol. 9, pp.  
369-395.

TOWNSEND, F.C., MANKE, G.P. and PARCHER, J.V., 1969, Effect of  
Remolding on the Properties of a Lateritic Soils, Highway  
Research Record 284, pp. 76-84.

TOWNSEND, F.C., MANKE, P.G. and PARCHER, J.V., 1971, The Influence  
of Sesquioxides on Lateritic Soil Properties, H.R.B.  
nº 374, pp. 80-92.

YOUSSEF, M.S., SABRY, A. and EL RAMIL, A.H., 1961, Temperature  
Changes and Their Effects on Some Physical Properties of  
Soils, Proc. 5th Int. Conf. on S.M.F.E., Vol. I, pp. 419-  
421.

## APÊNDICE I

MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA DETERMINA  
ÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

## APÊNDICE I

MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
À COMPRESSÃO SIMPLES

## INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo avaliar/definir a maneira pela qual a resistência à compressão simples não confinada (RCS) dos solos lateríticos, pode ser determinada.

Esta metodologia baseia-se na experiência adquirida no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba e informações disponíveis na literatura inerente.

## AMOSTRA

A amostra utilizada foi aquela que passou na peneira de 9,5mm, obtida antes por quarteamento.

A amostra utilizada na determinação da resistência à compressão simples (RCS) foi cilíndrica de 5 cm de diâmetro (d) por 10 cm de altura (h) compactada estaticamente em molde necessária à moldagem do corpo de prova para a compactação estática é baseada na expressão:

$$P_s = \gamma_s \cdot V_1$$

$$P_h = P_s(1 + U)$$

$$V_1 = \frac{\pi \phi^2 \cdot h}{4}$$

em que:

$P_s$  = peso do solo seco, g

$\gamma_s$  = massa específica aparente seca obtida no ensaio de compactação dinâmica, g/cm<sup>3</sup>

$V_1$  = volume do cilindro de  $\phi = 5\text{cm}$  e  $h = 10\text{cm}$ , cm<sup>3</sup>

$\phi$  = diâmetro interno do cilindro, cm

$P_h$  = peso do solo úmido (g) a ser utilizado no ensaio de resistência à compressão simples

$U$  = umidade desejada correspondente, %

Inicialmente, a carga foi aplicada no topo do cilindro até se obter amostra com  $12,5\text{cm} \pm 0,1\text{cm}$  de altura, a seguir, o molde era invertido e a carga aplicada na base do cilindro até a altura do  $10\text{cm} \pm 0,1\text{cm}$ , e mantidas durante um tempo de 2 minutos nesta condição reproduzindo-se a mesma condição de massa específica aparente seca e umidade obtida por ocasião dos ensaios de compactação dinâmica.

Para cada condição de massa específica aparente seca/umidade, três amostras foram preparadas, compactadas, rompidas e determinada e umidade, a massa específica aparente seca e a com relação a média obtida com as três amostras de  $\pm 5\%$ , para os valores da massa específica aparente seca e umidade e, de  $\pm 10\%$  para os valores da resistência à compressão simples, rejeitados os corpos de prova que obtiveram resultados fora dos valores especificados.



## DETERMINAÇÃO DO VALOR DA RCS

O ensaio de compressão simples foi realizado com de formação controlada à velocidade de 0,8mm/min.

O aparelho de compressão simples era constituído de dois pratos entre os quais o corpo de prova foi comprimido, sen do as deformações medidas por defletômetro e a carga por anel dinamométrico. O valor máximo da carga aplicada dividido pela área do corpo de prova equivaleu ao valor da RCS.

## APÊNDICE II

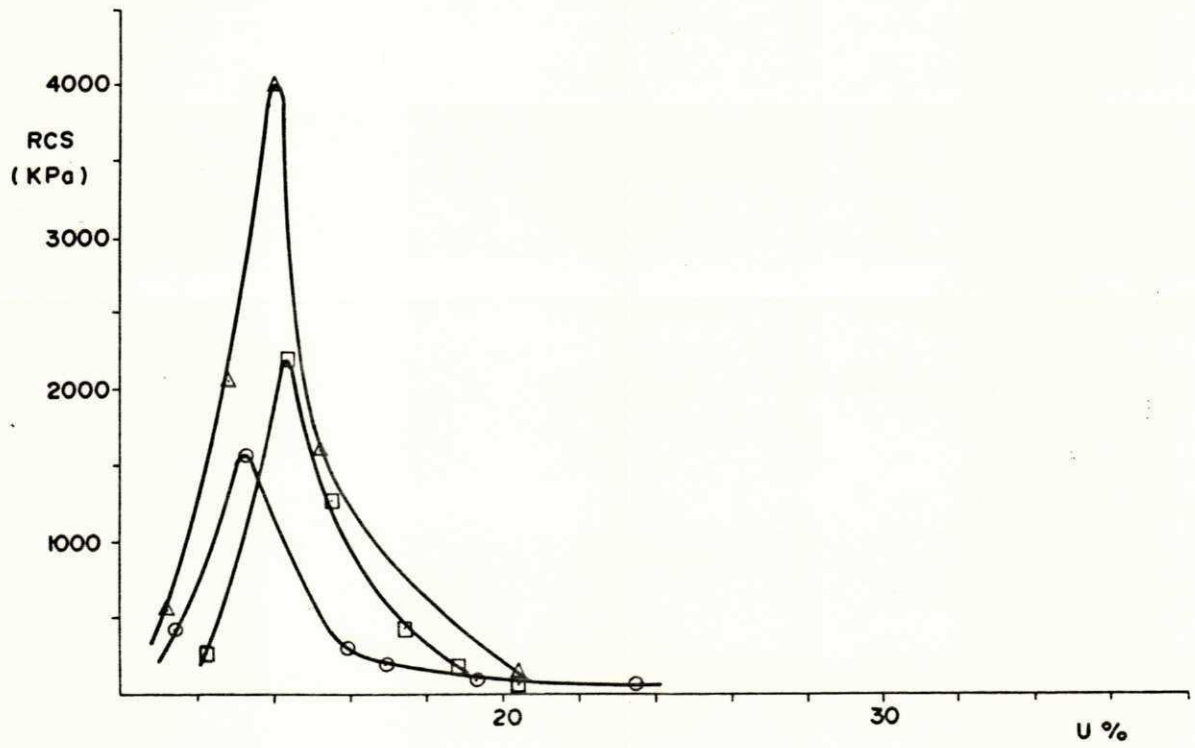
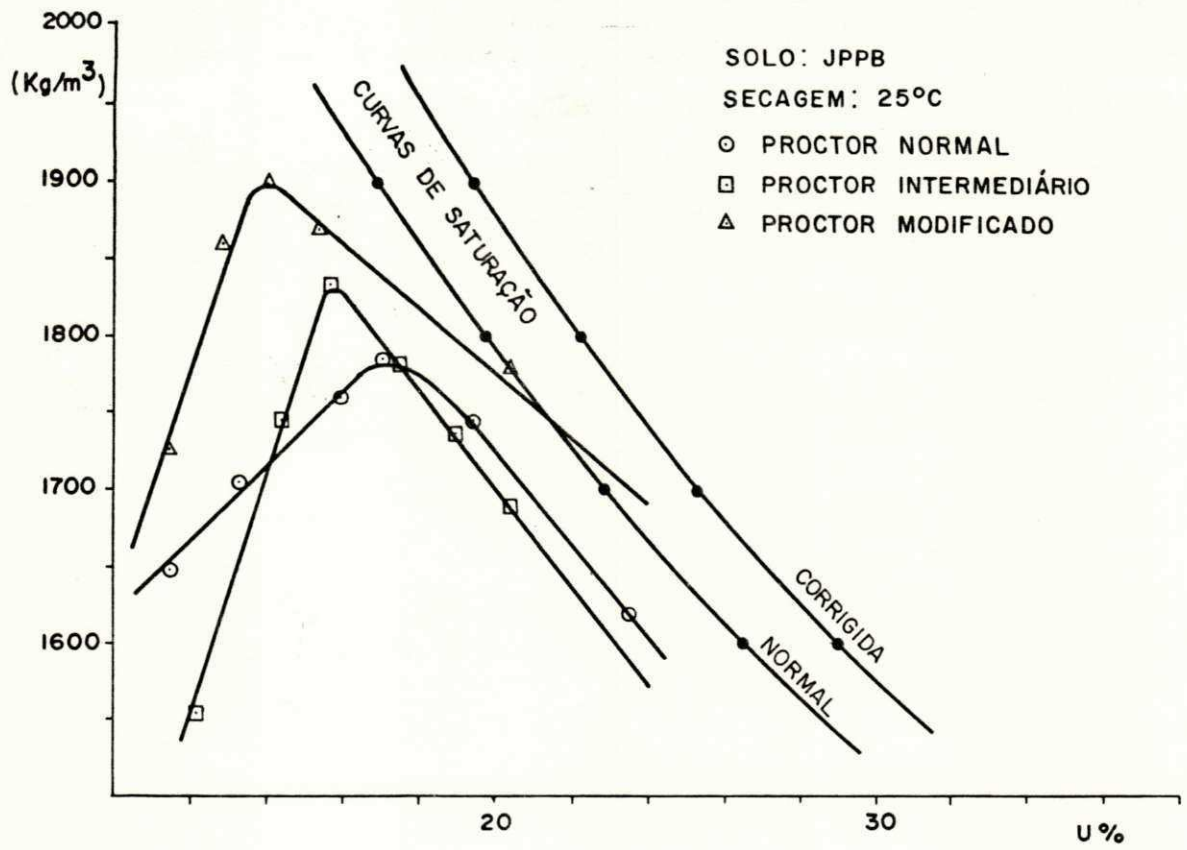
RELAÇÃO ENTRE UMIDADE VERSUS MASSA ESPECÍFICA APARENTE E RESIS  
TÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA AS TEMPERATURAS DE 25°C, 60°C  
E 110°C

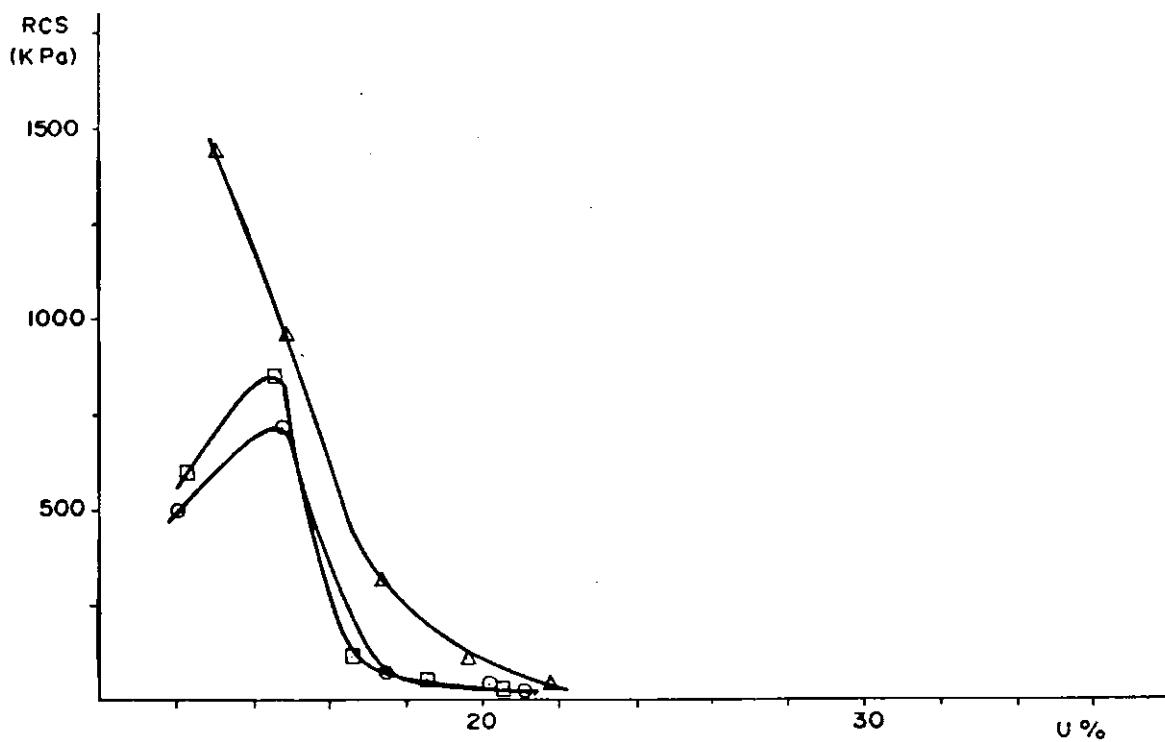
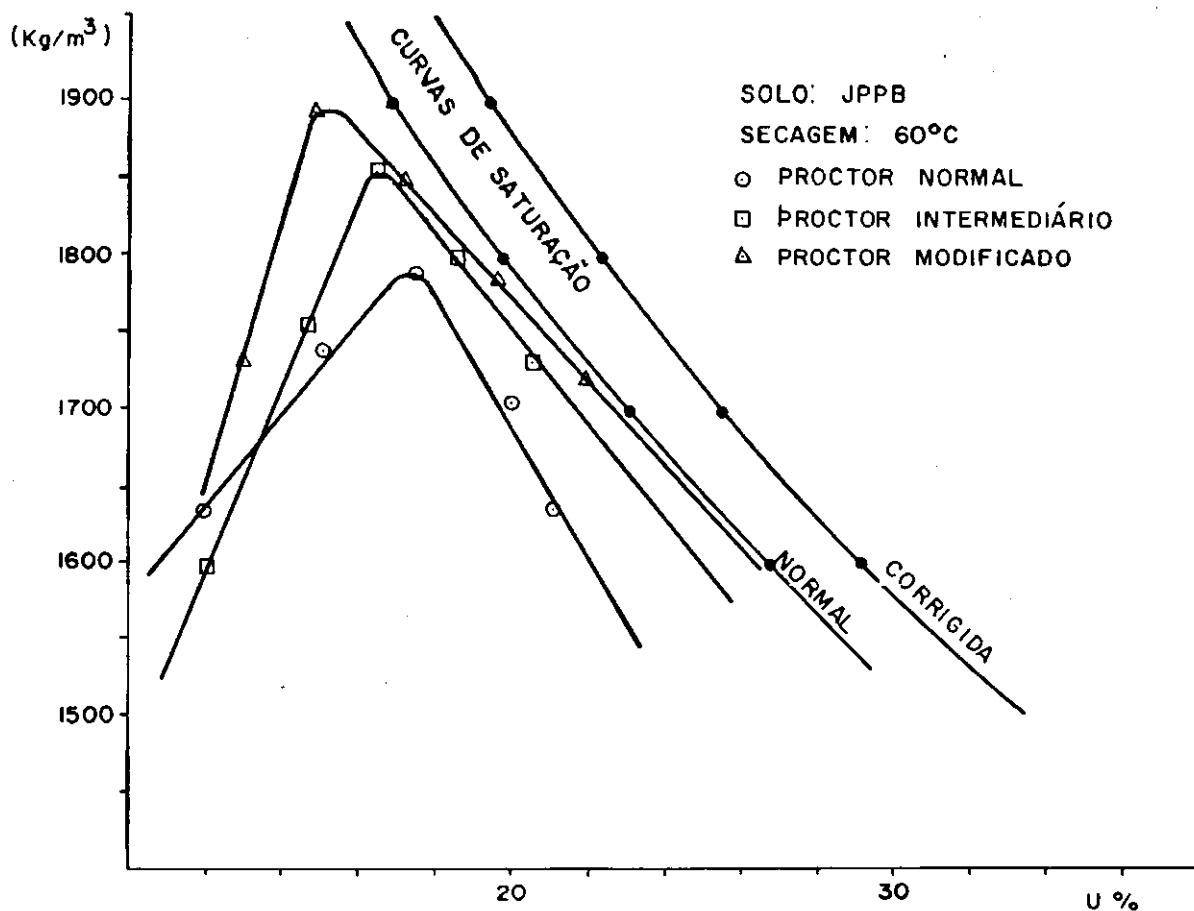
LEGENDA APLICADA AS FIGURAS DESTE APÊNDICE:

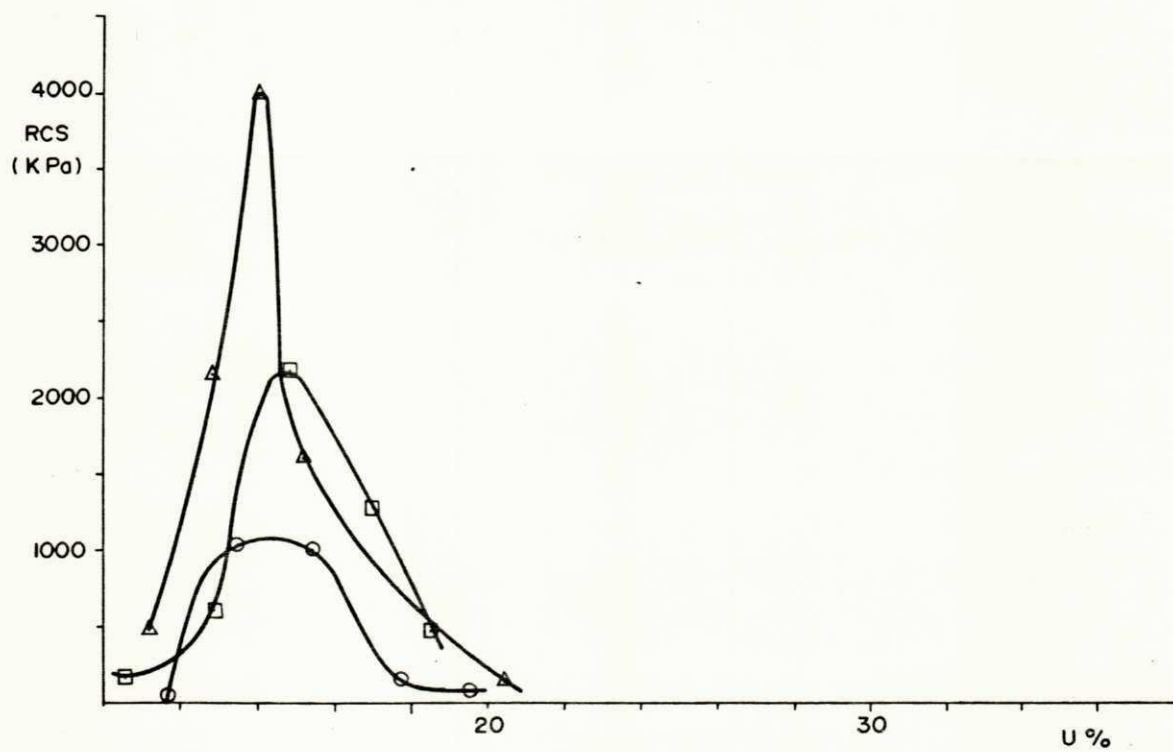
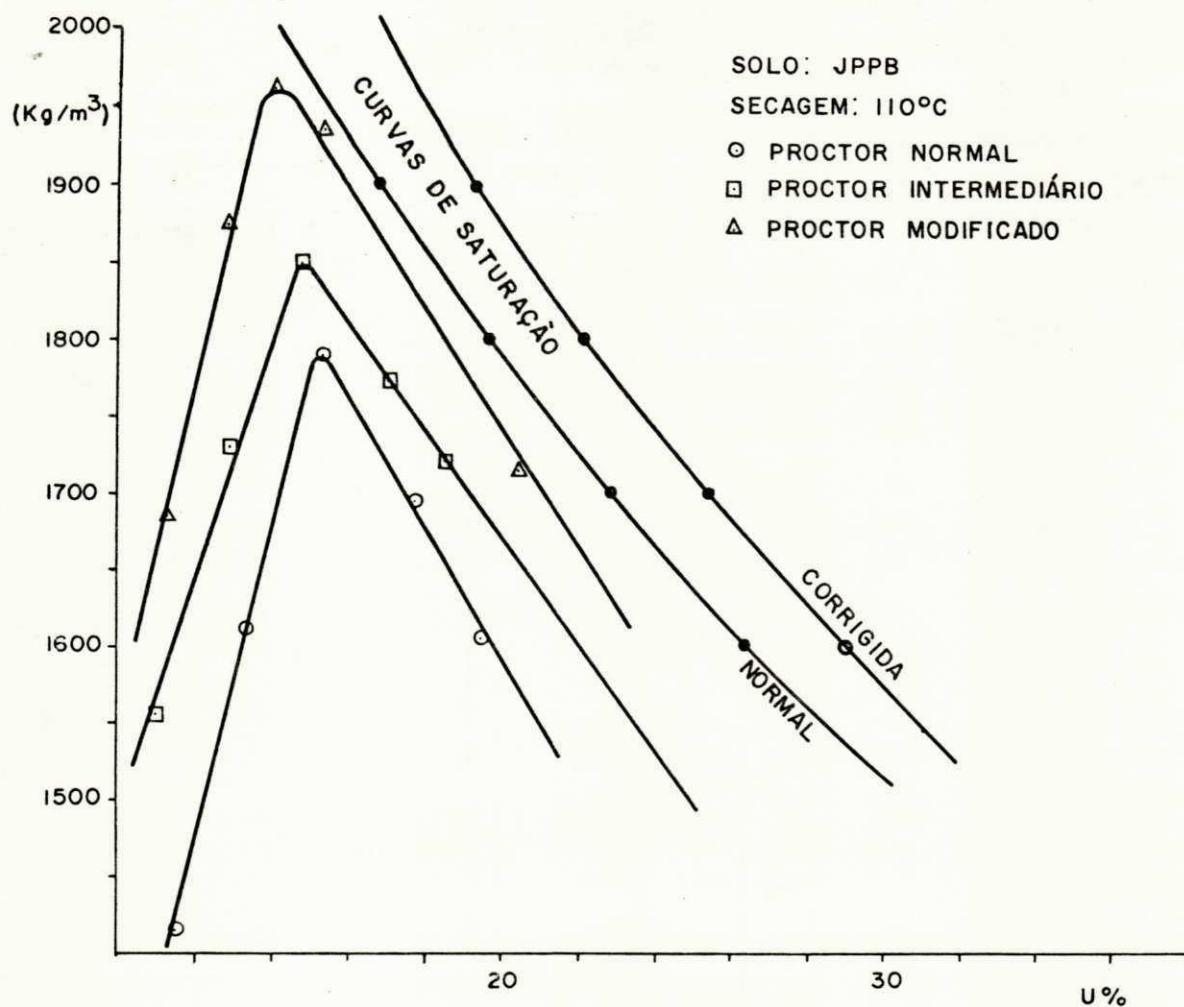
U = UMIDADE

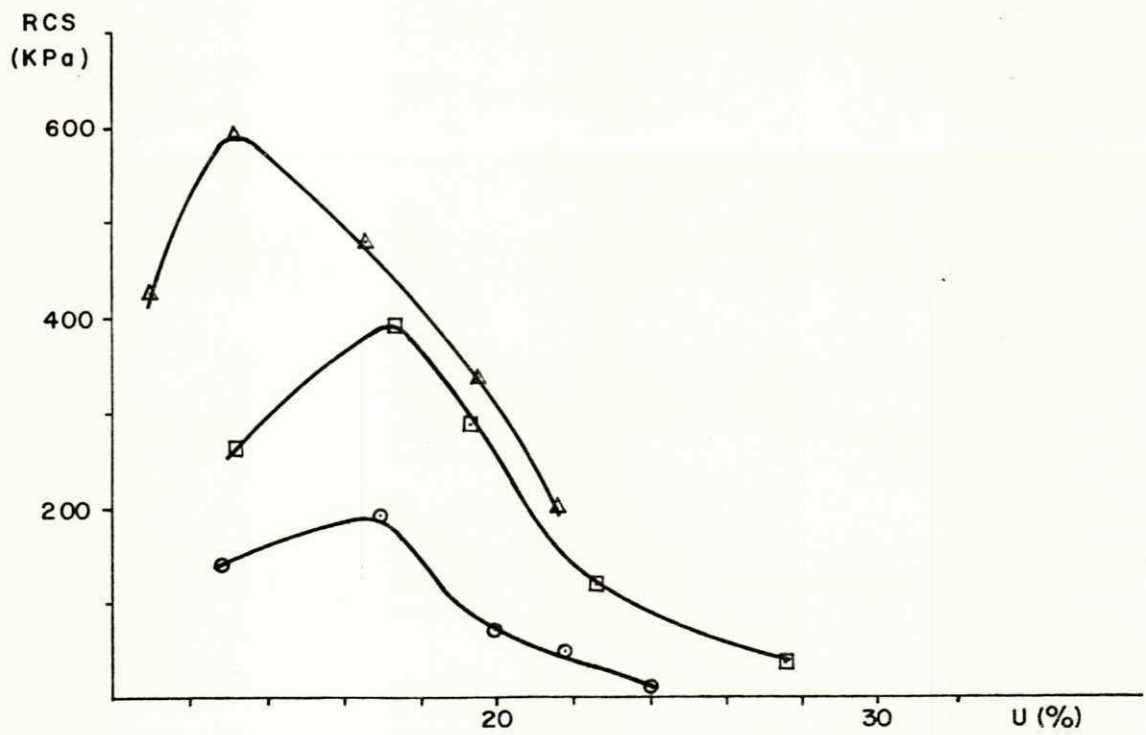
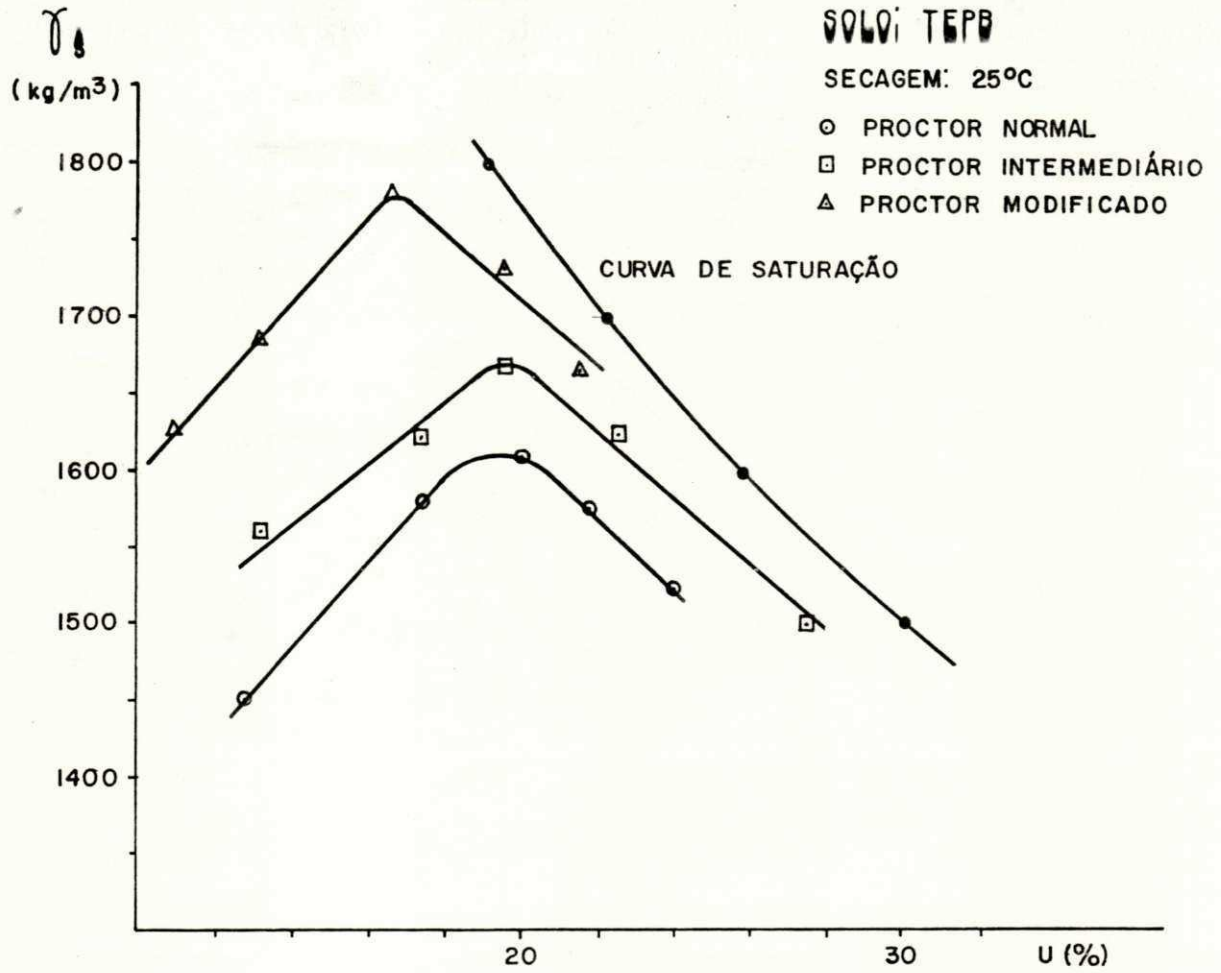
$\gamma_s$  = MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA

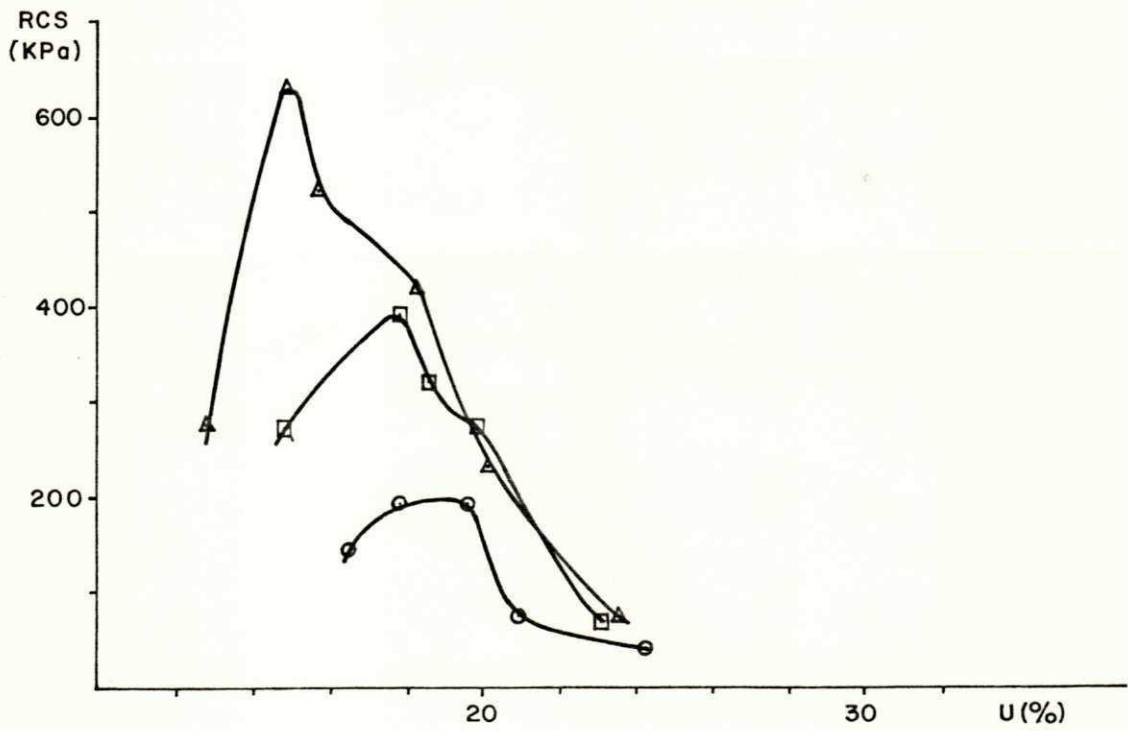
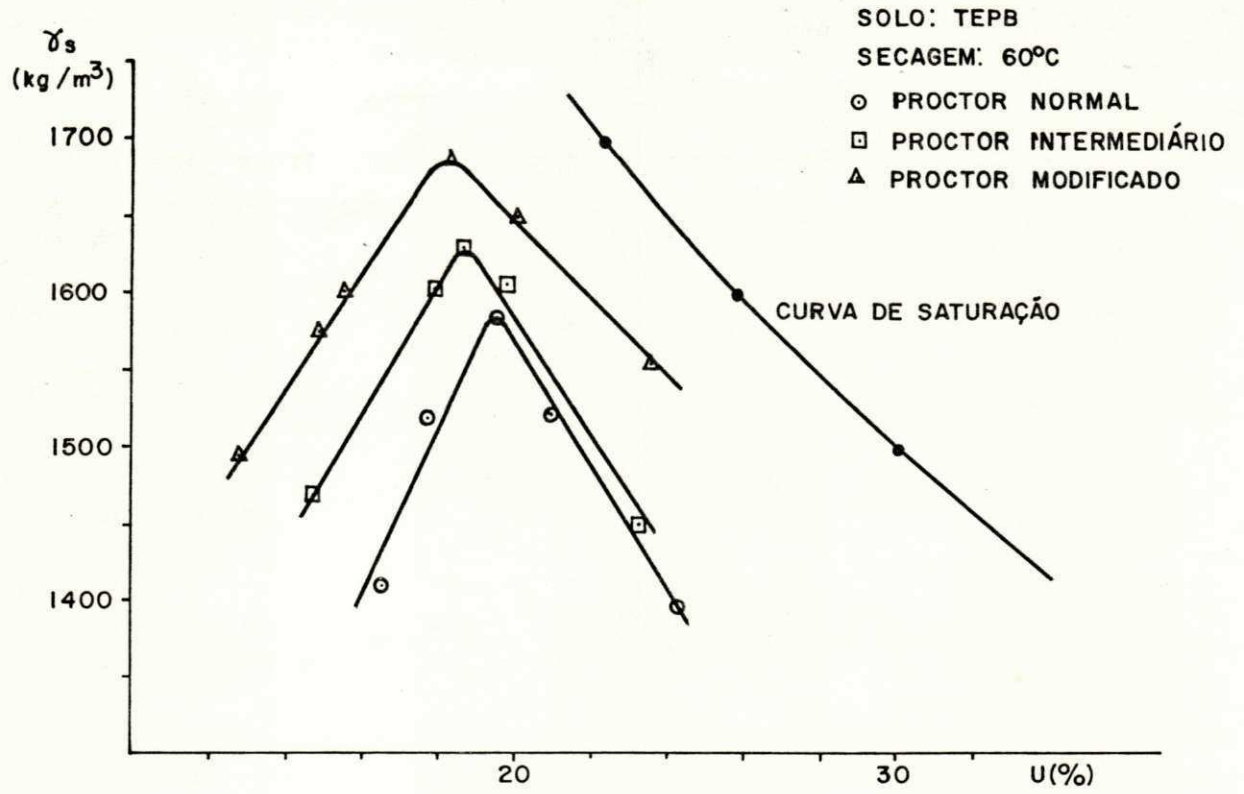
RCS = RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

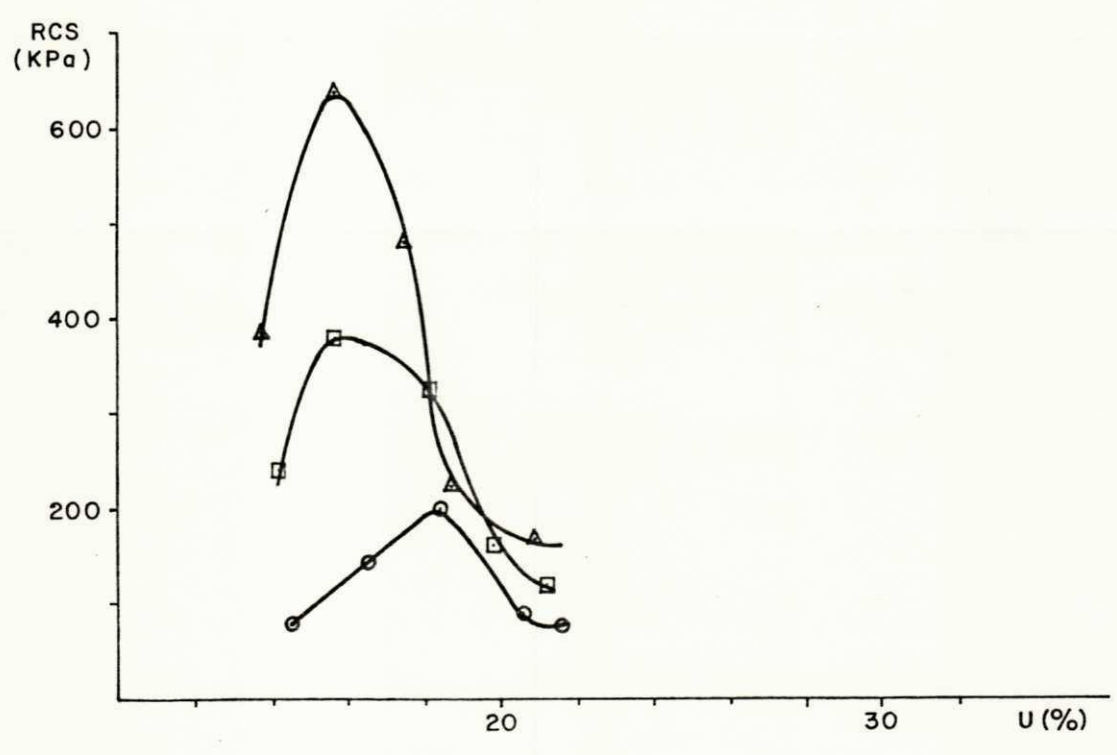
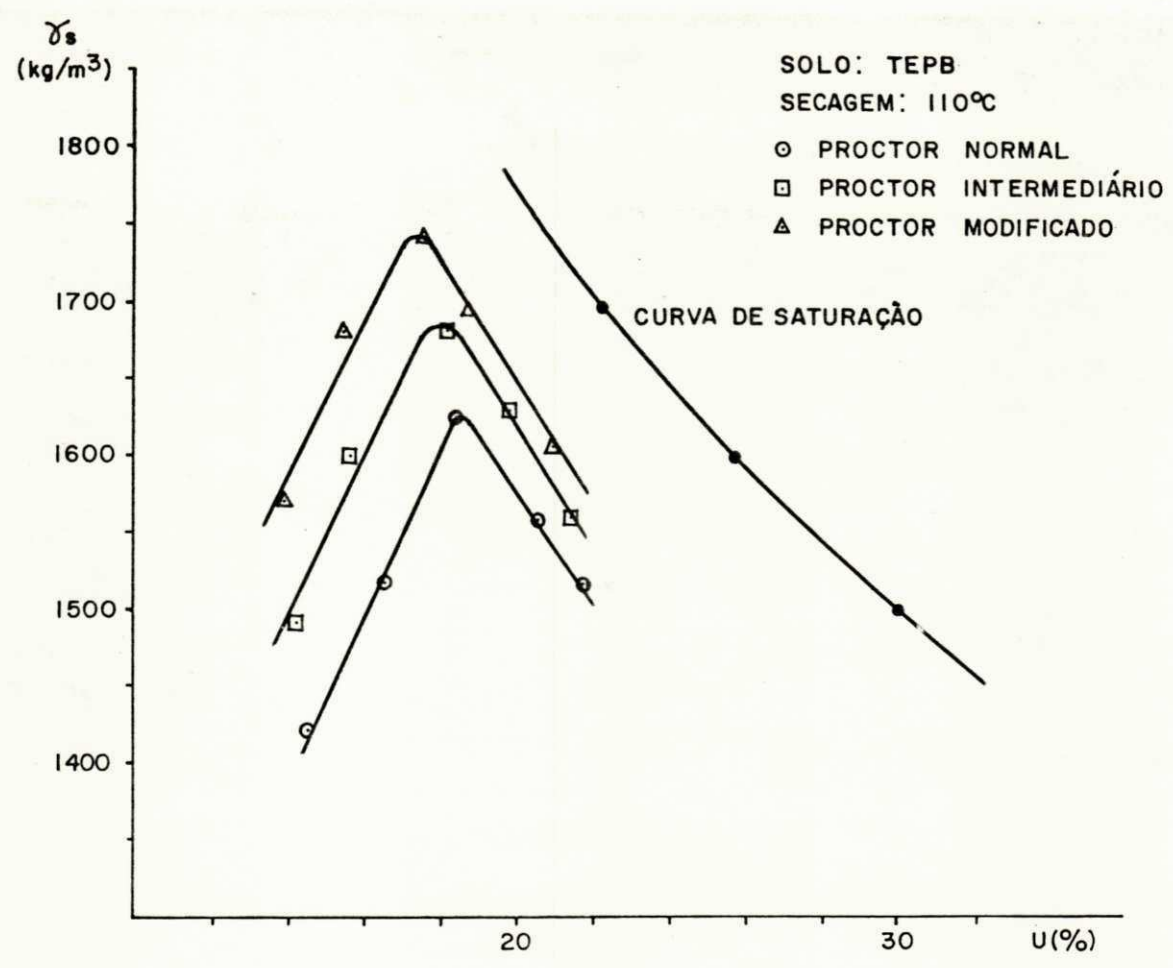




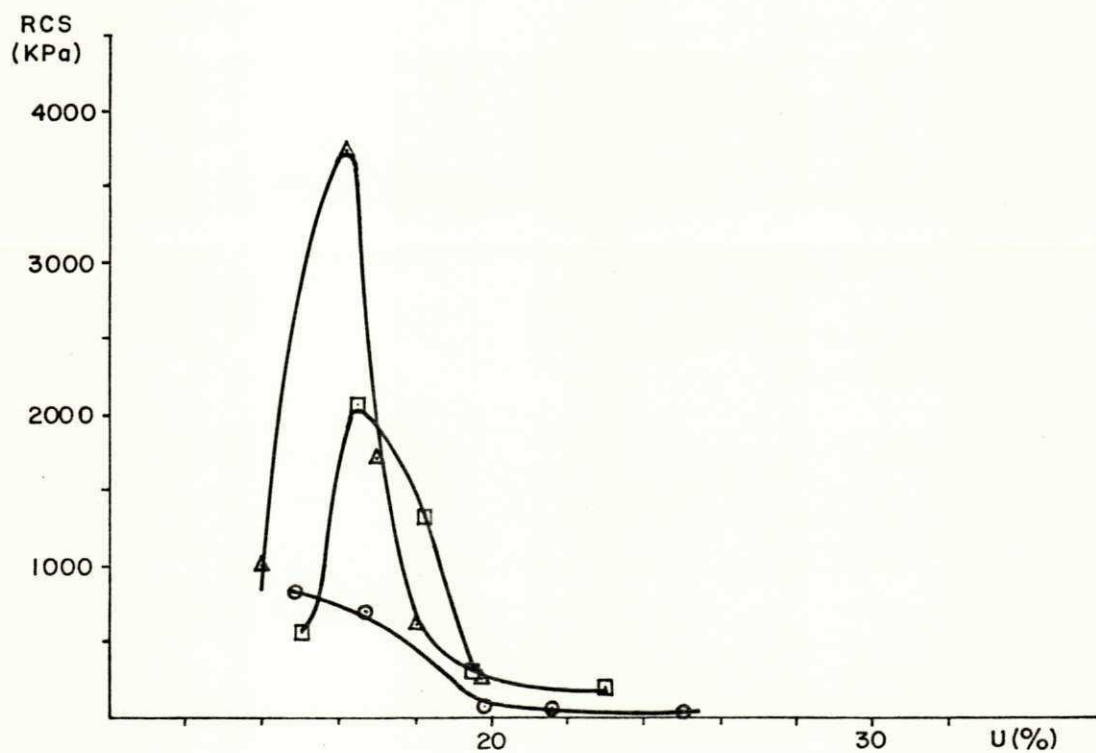
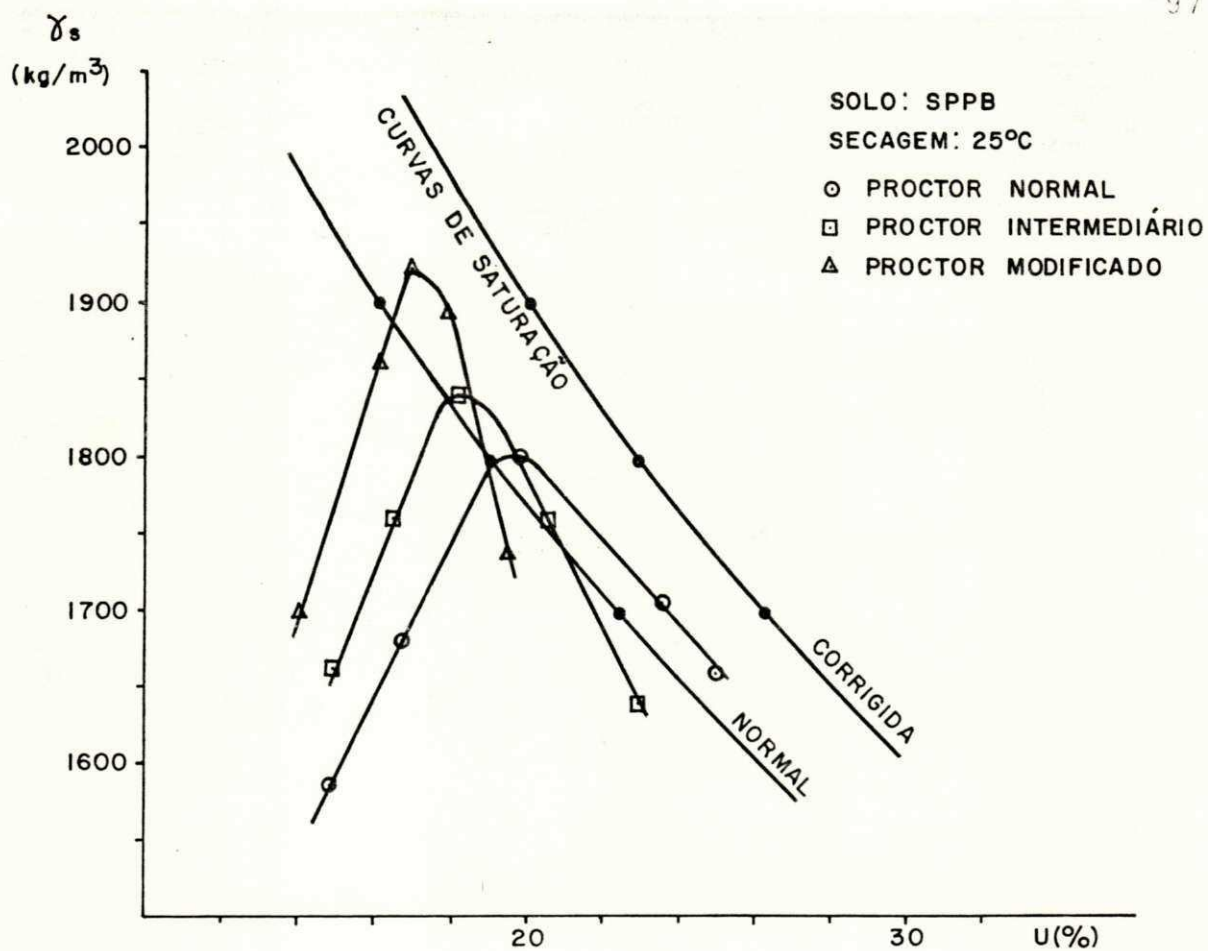


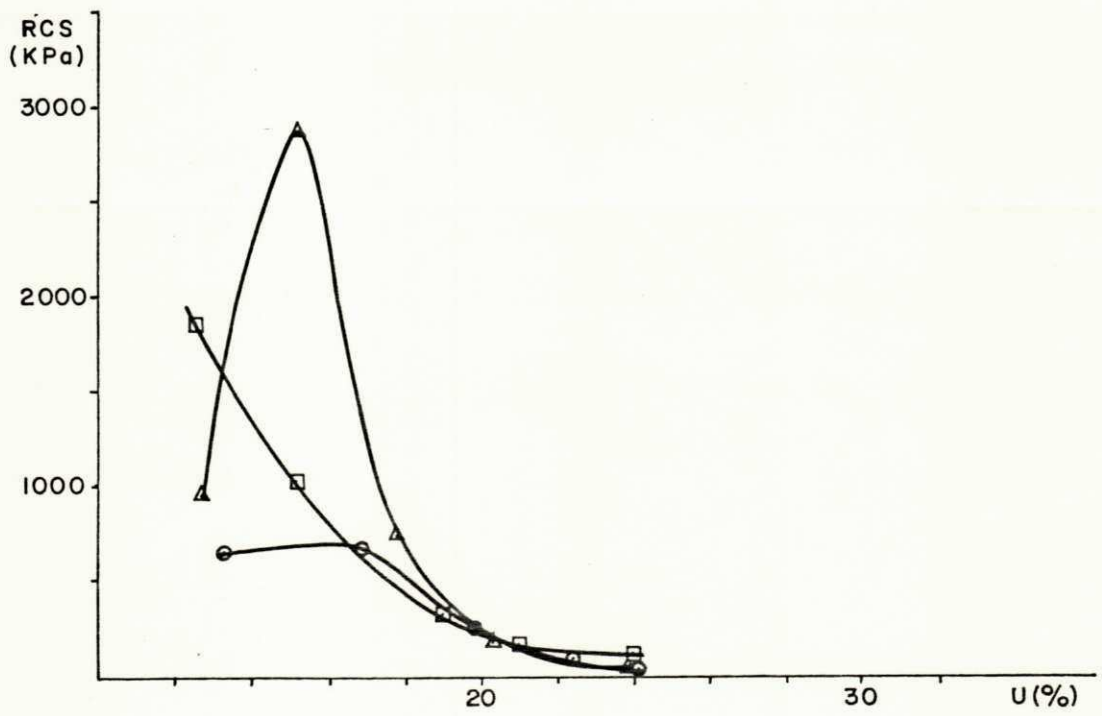
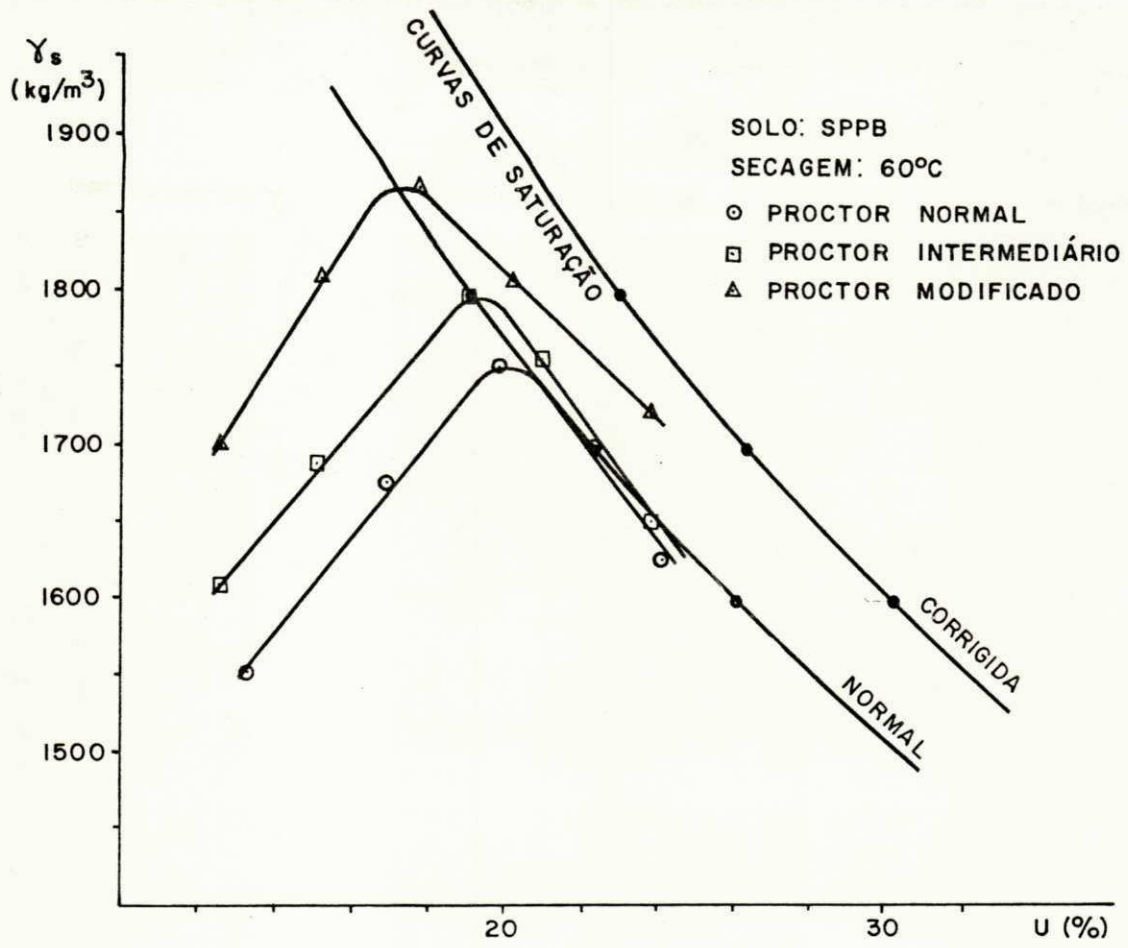


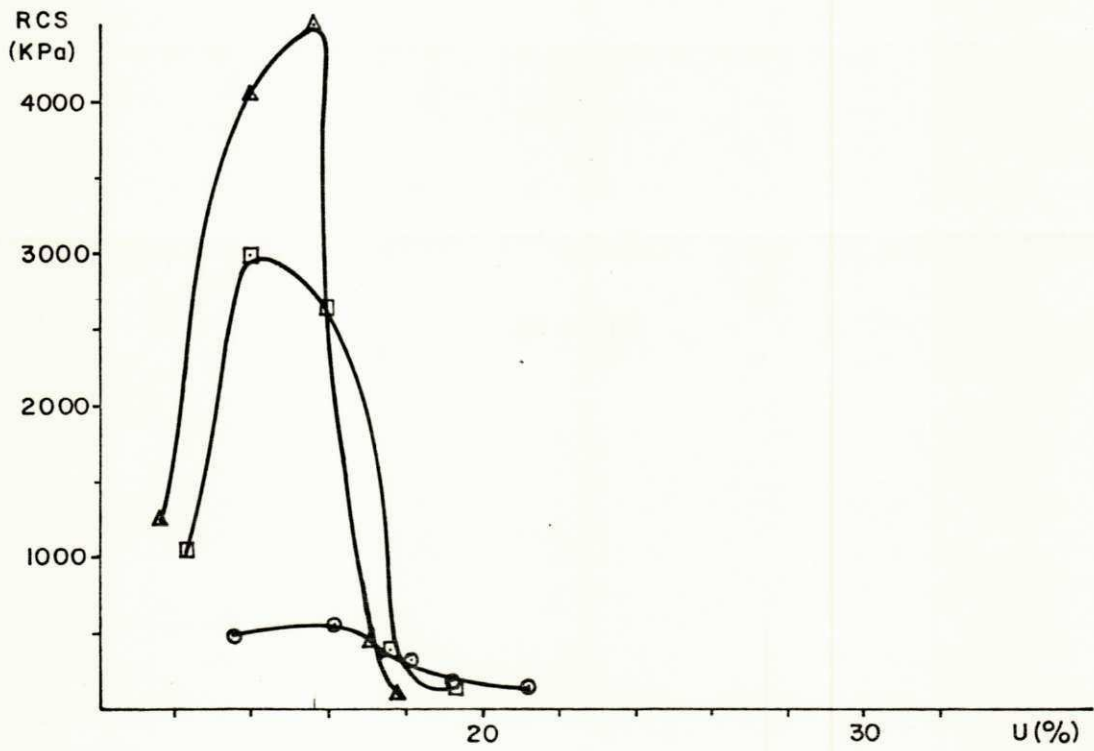
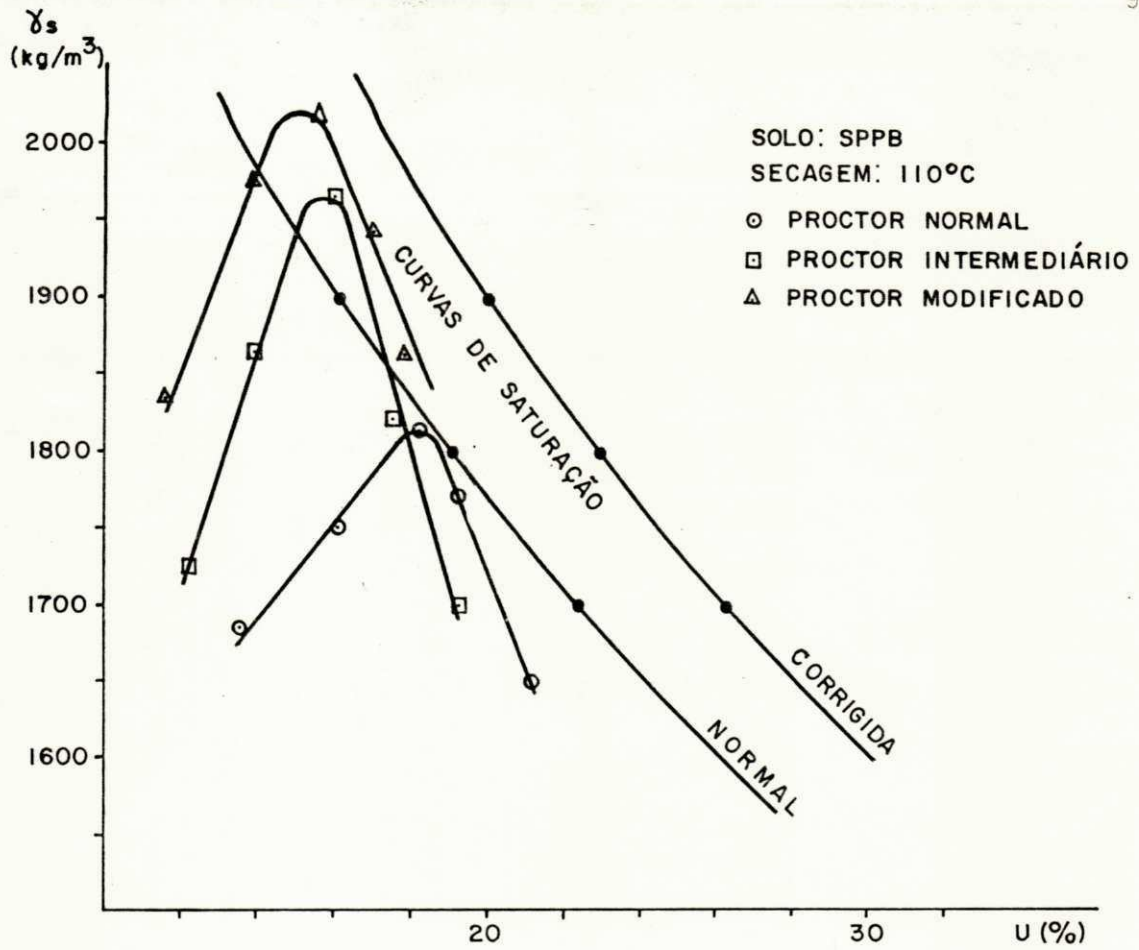


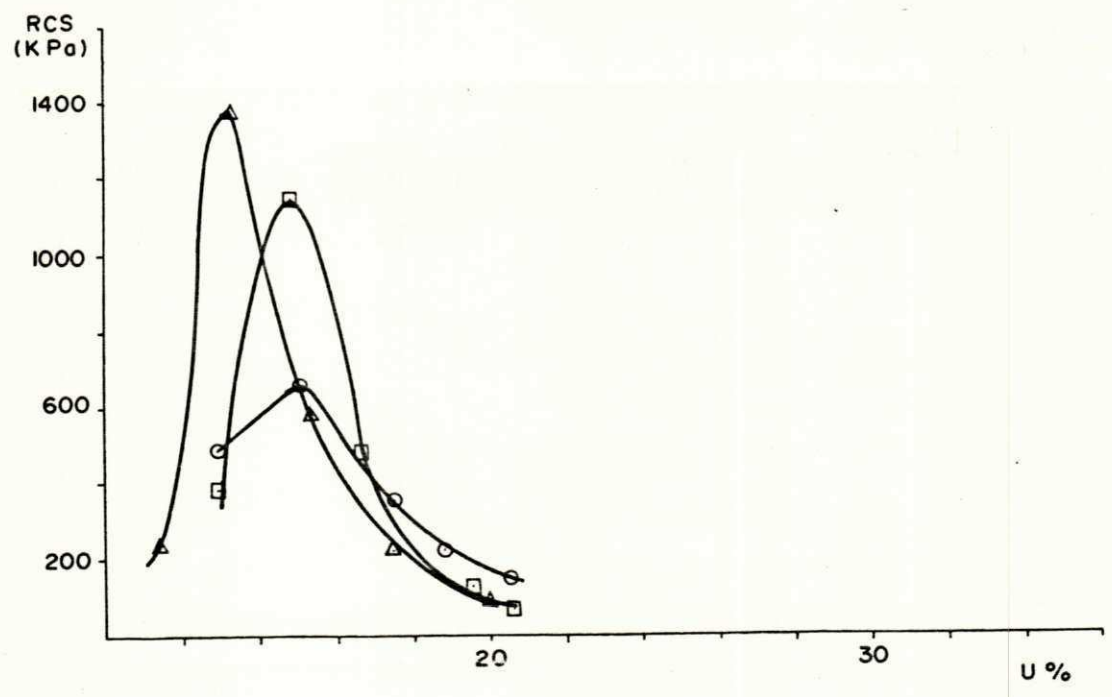
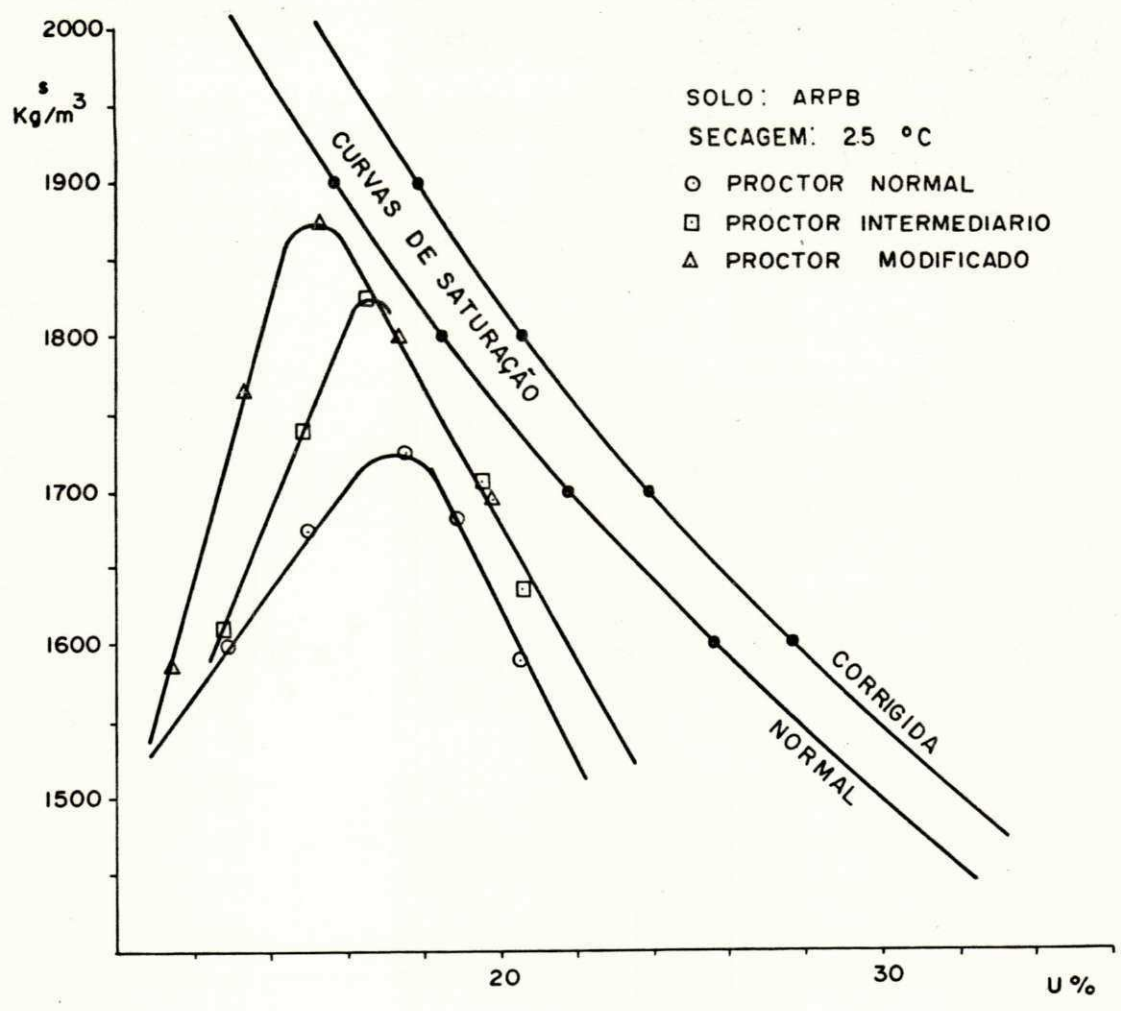


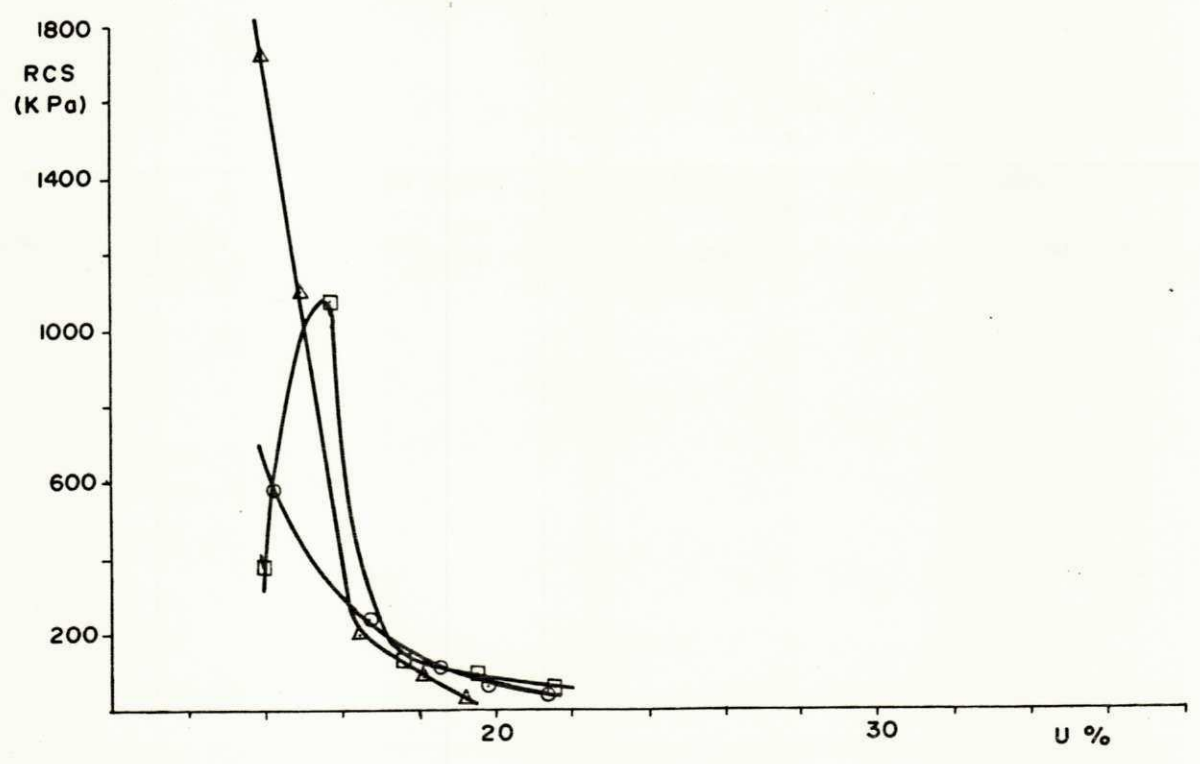
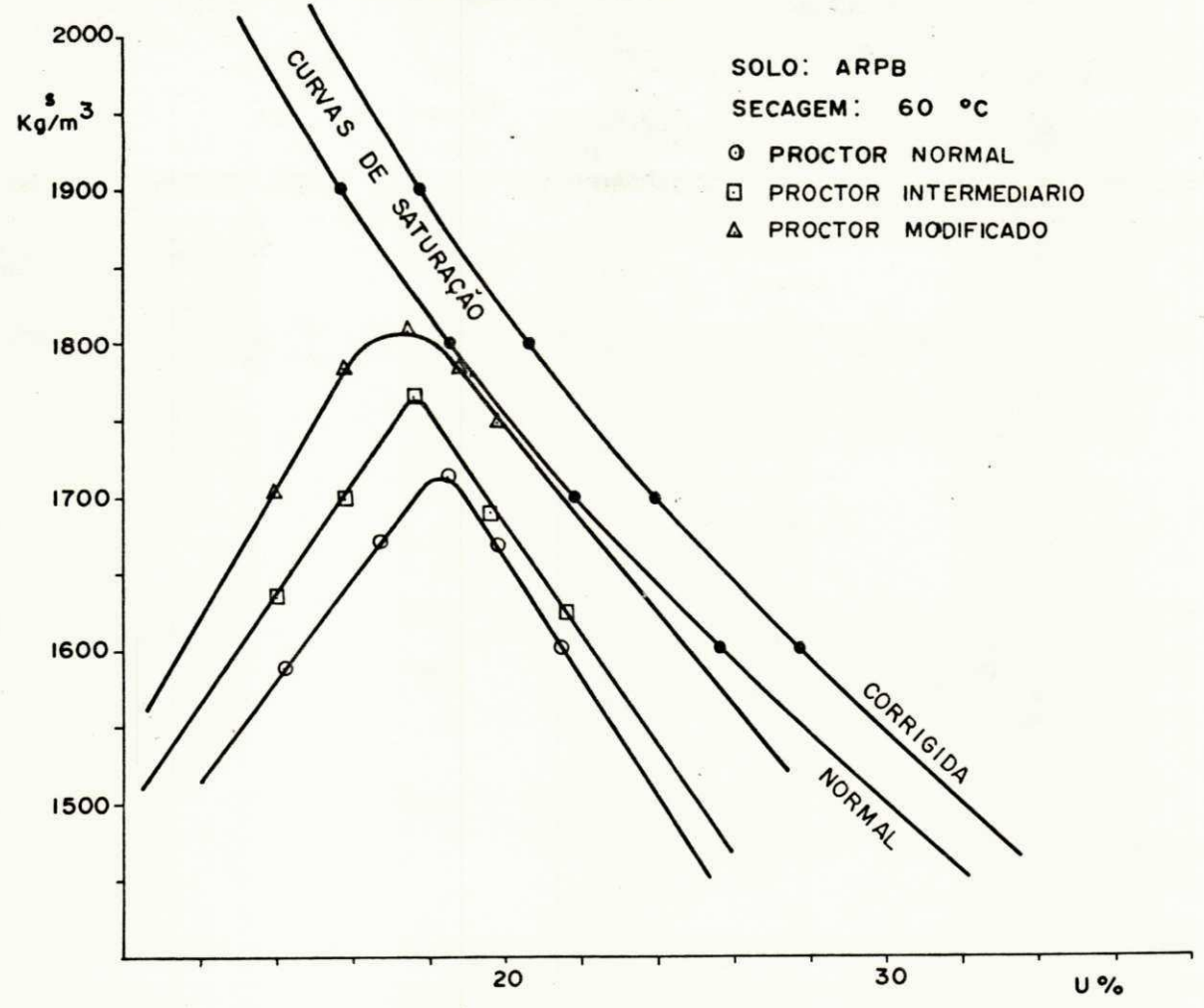


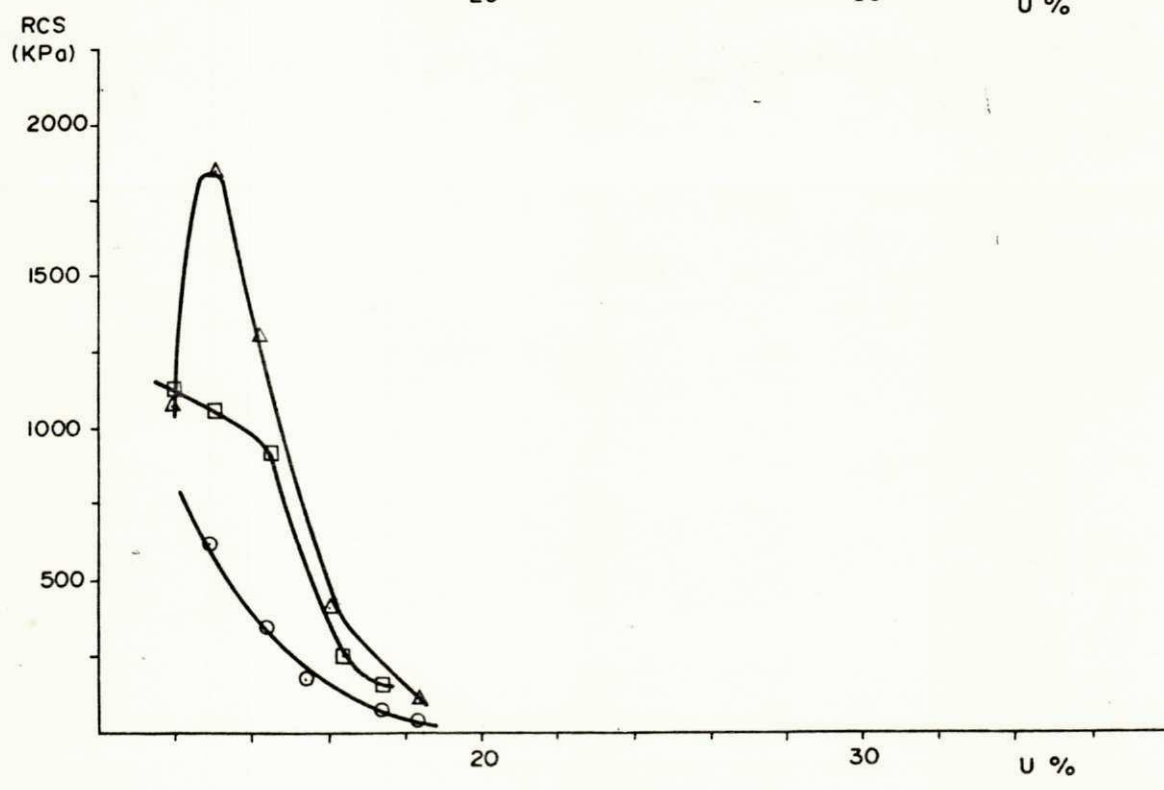
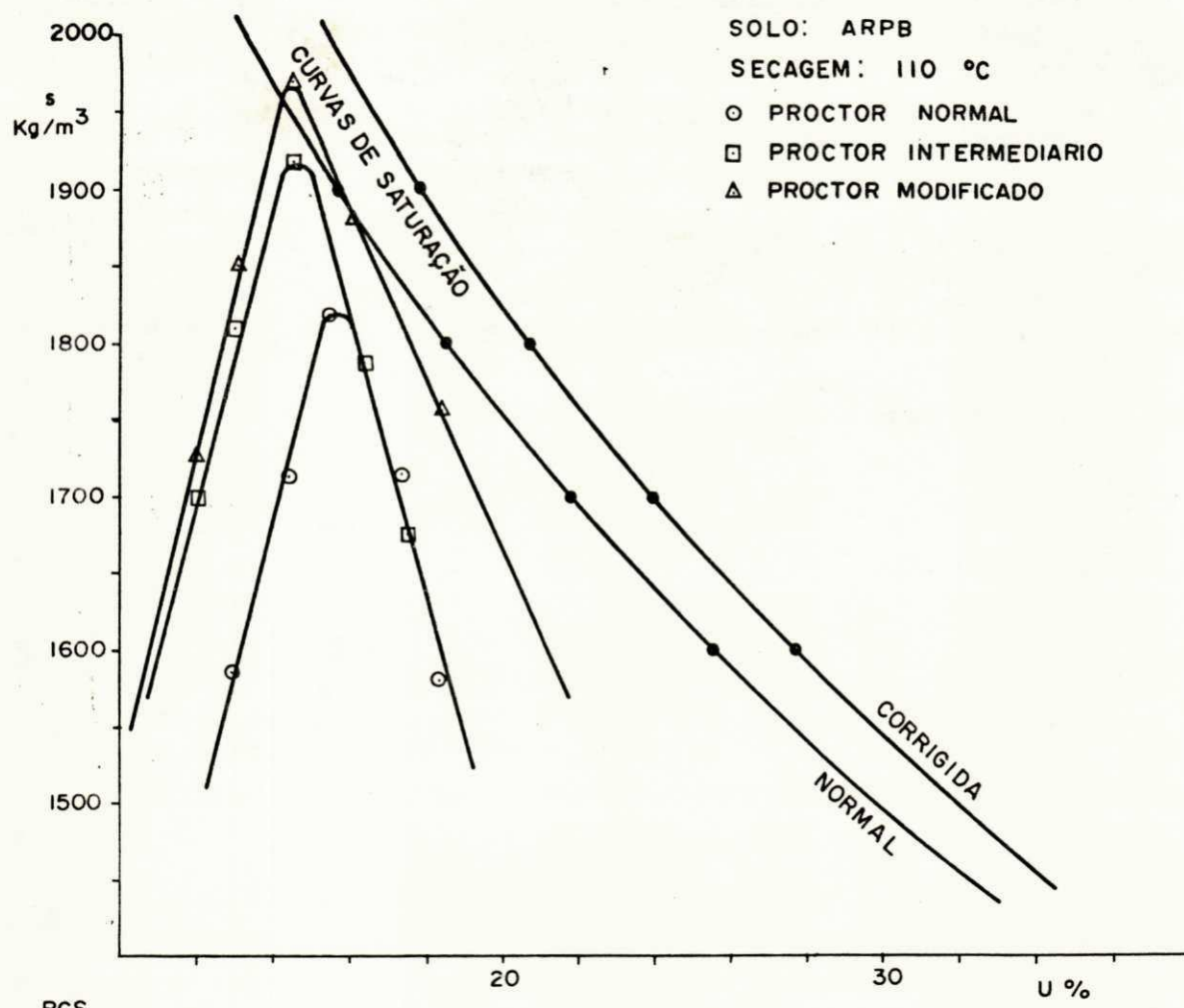


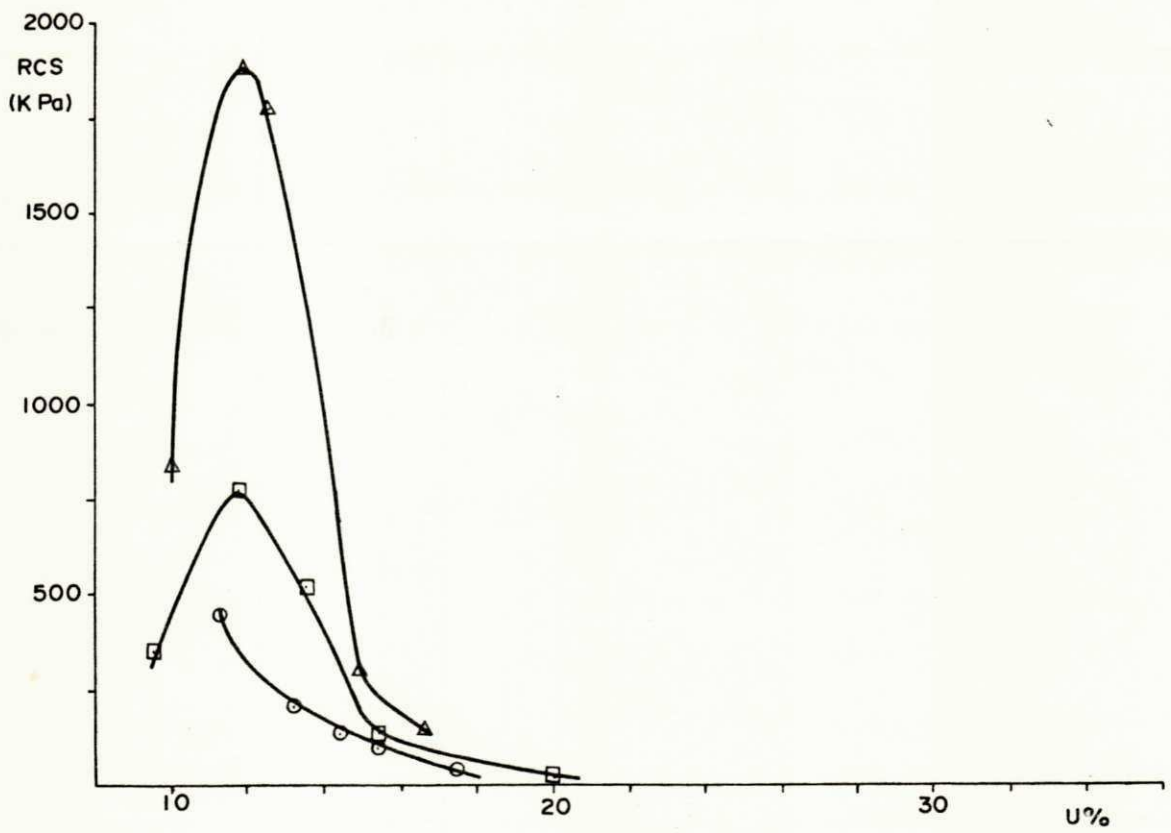
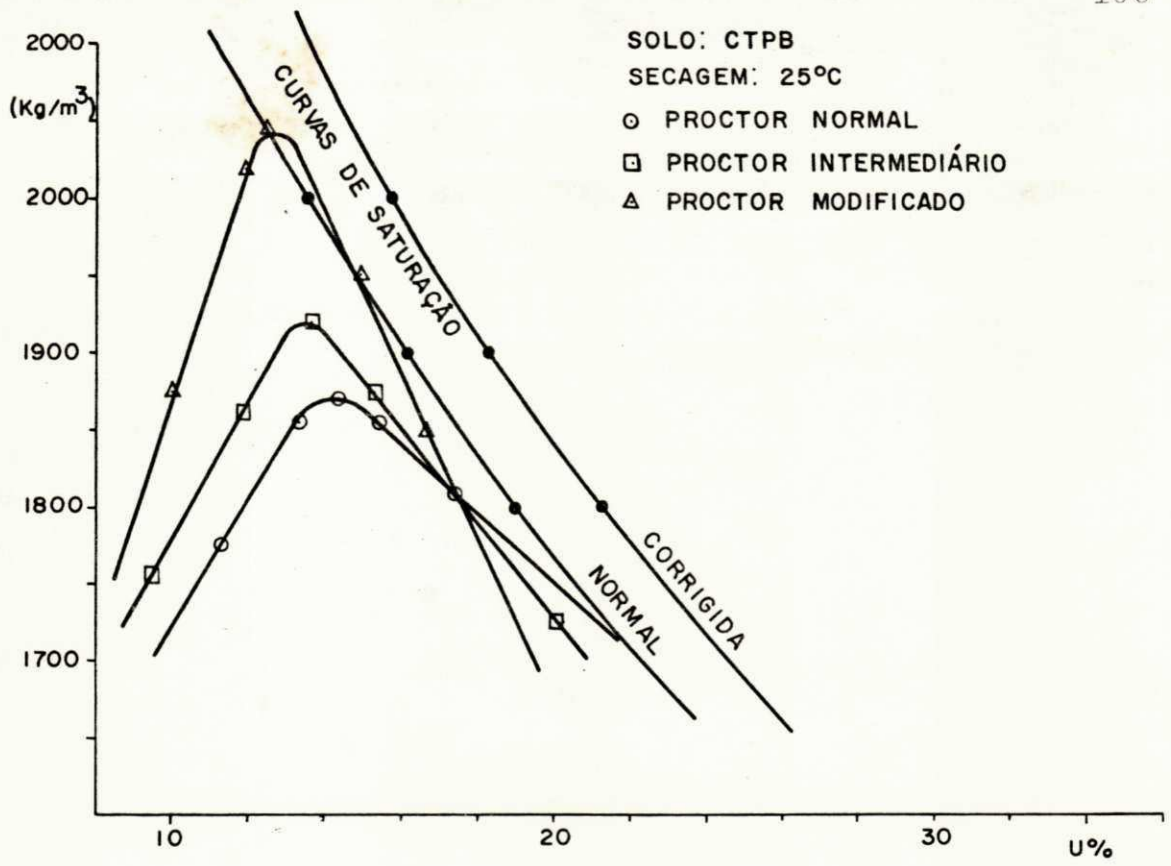


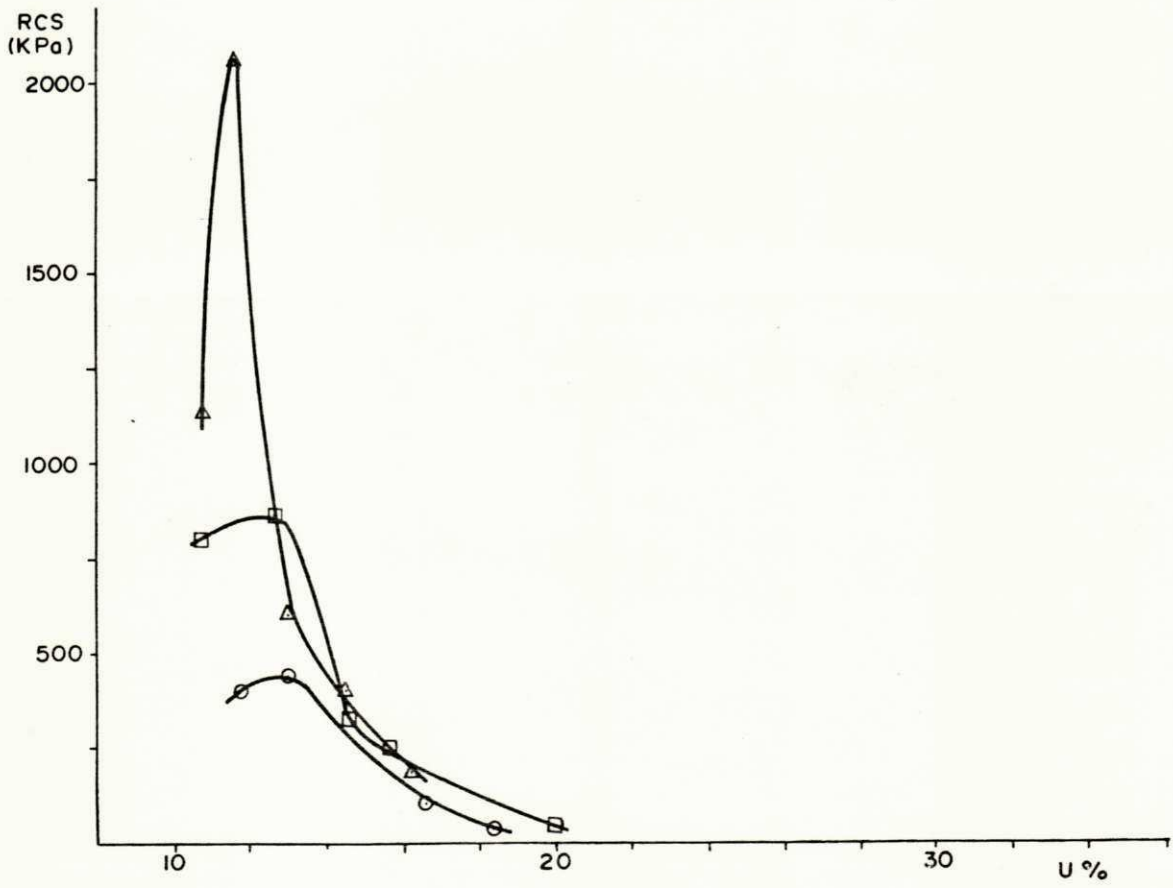
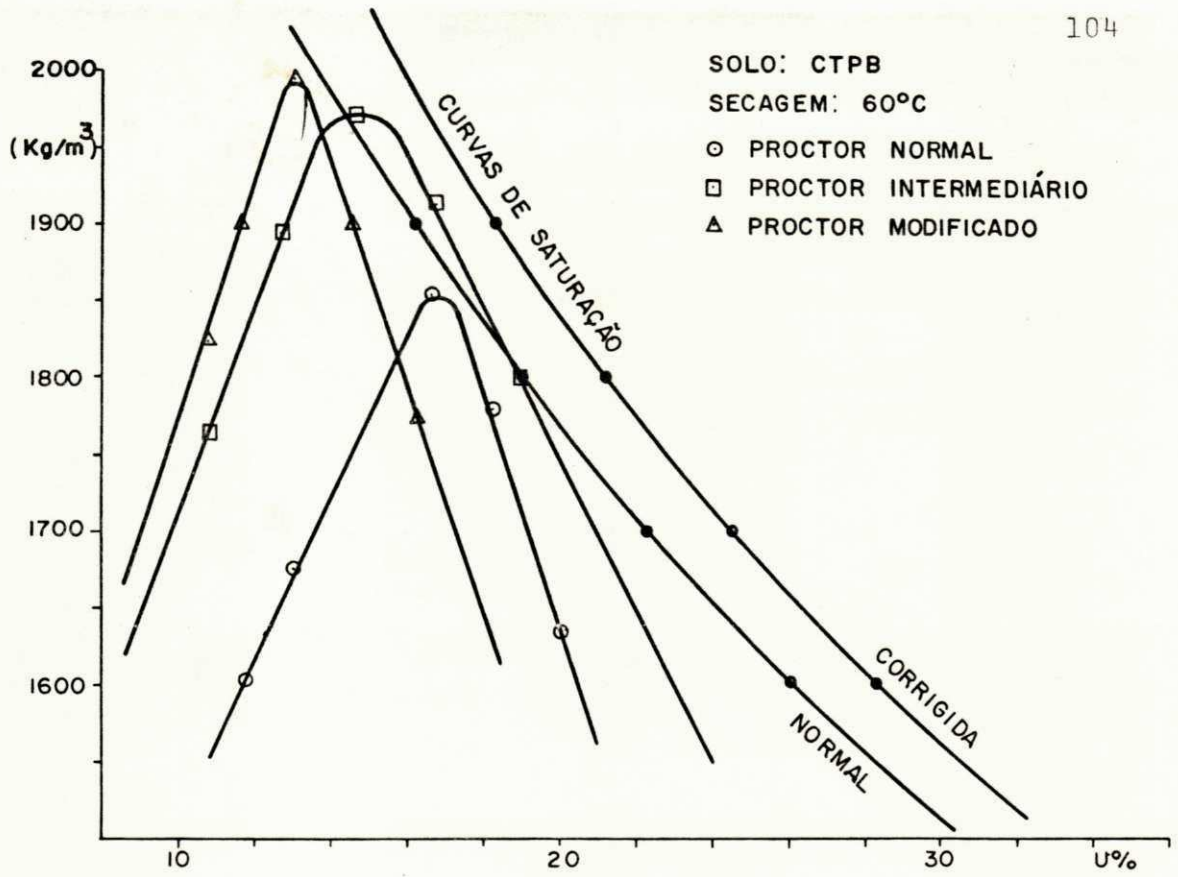




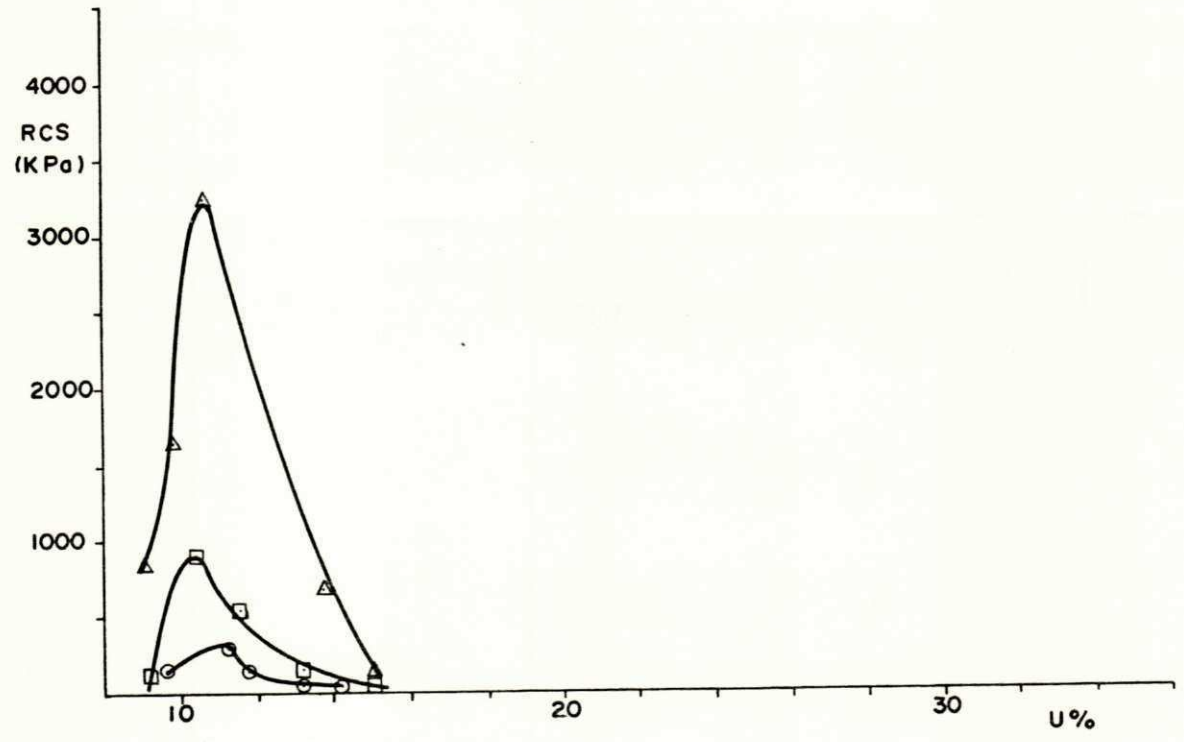
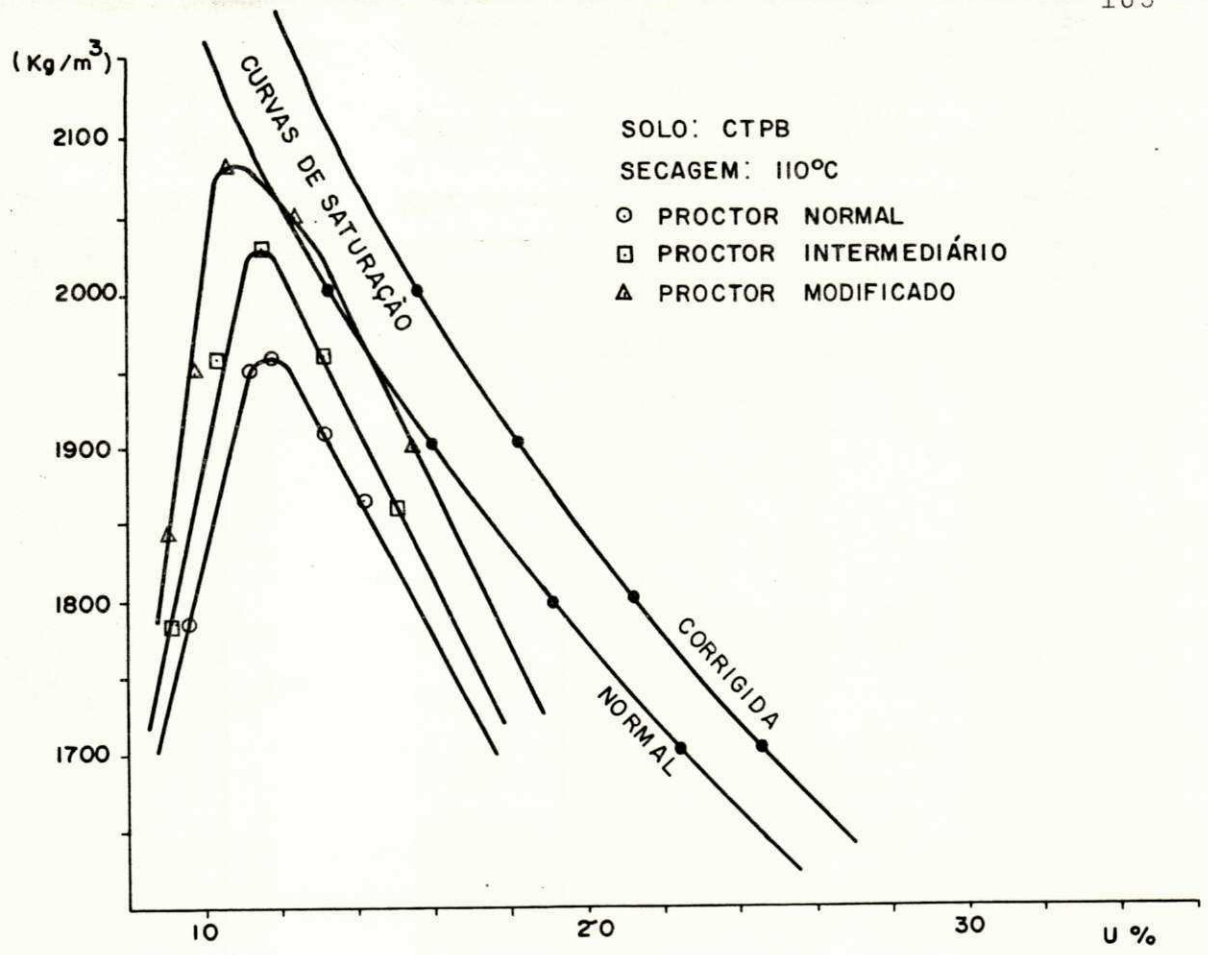


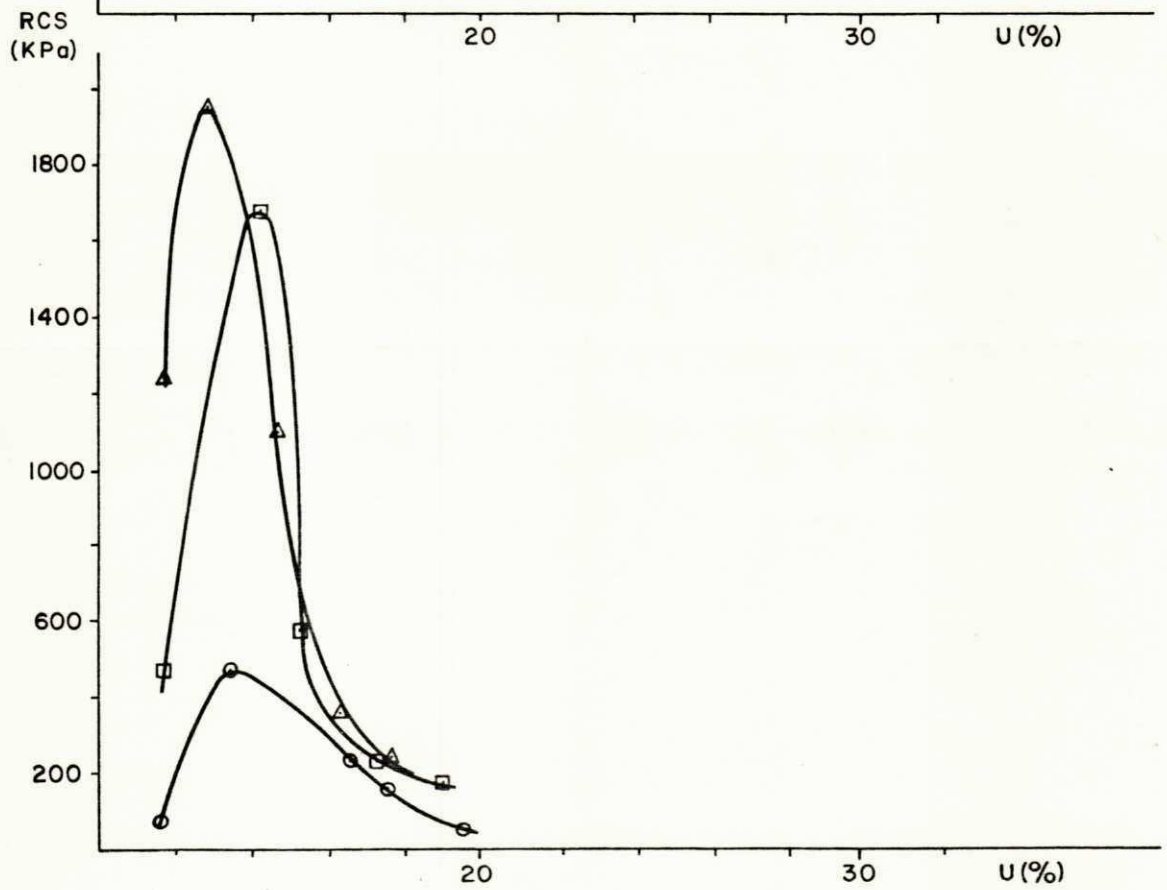
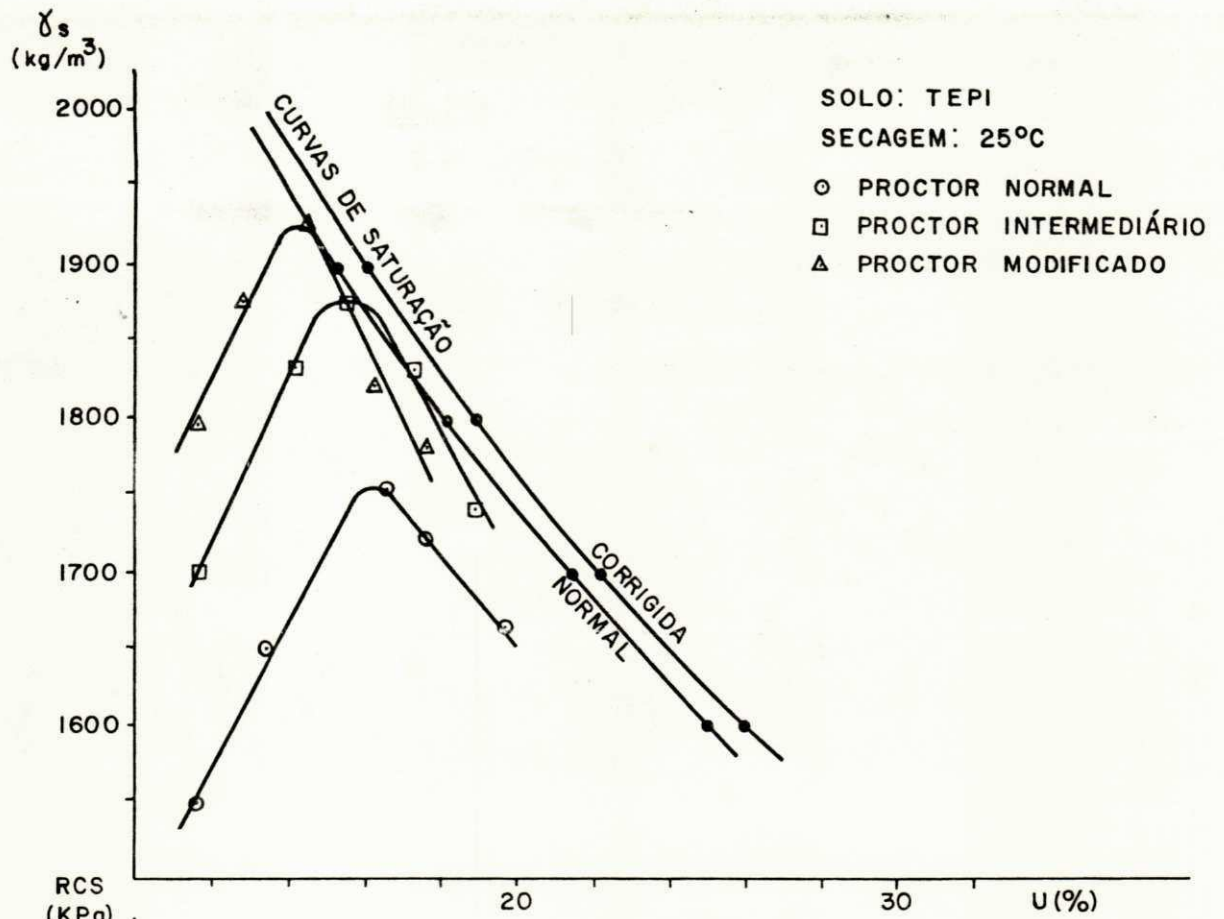


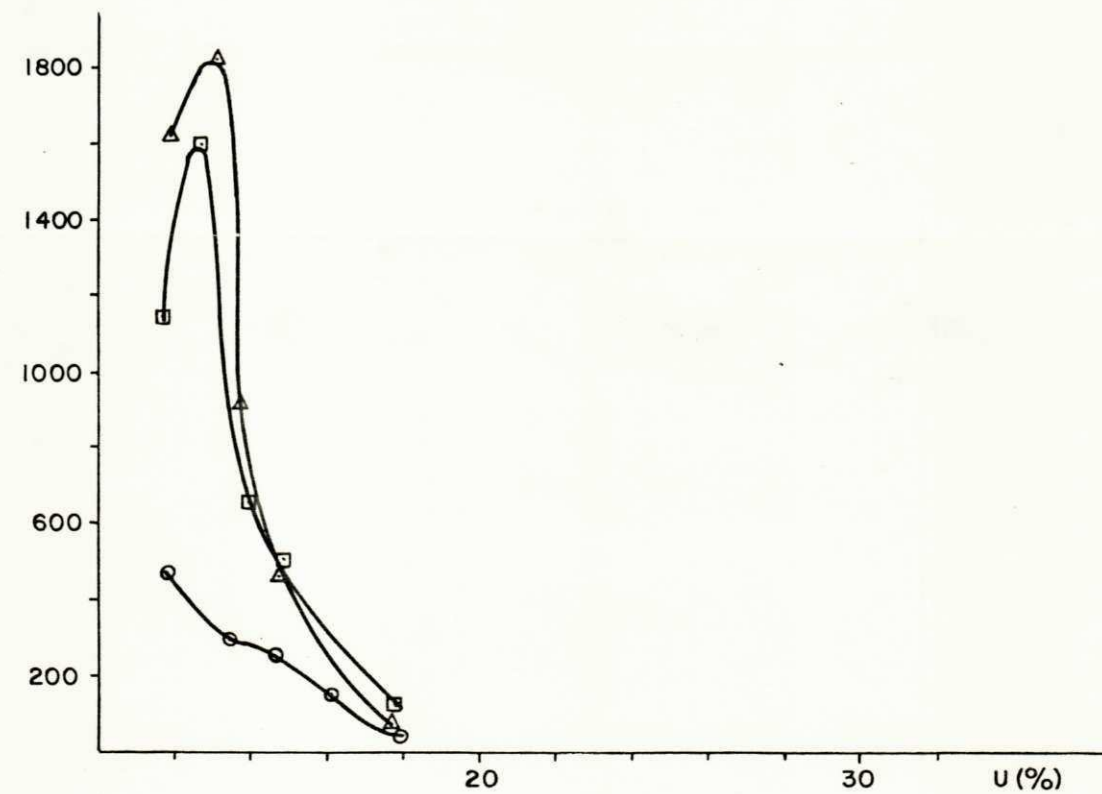
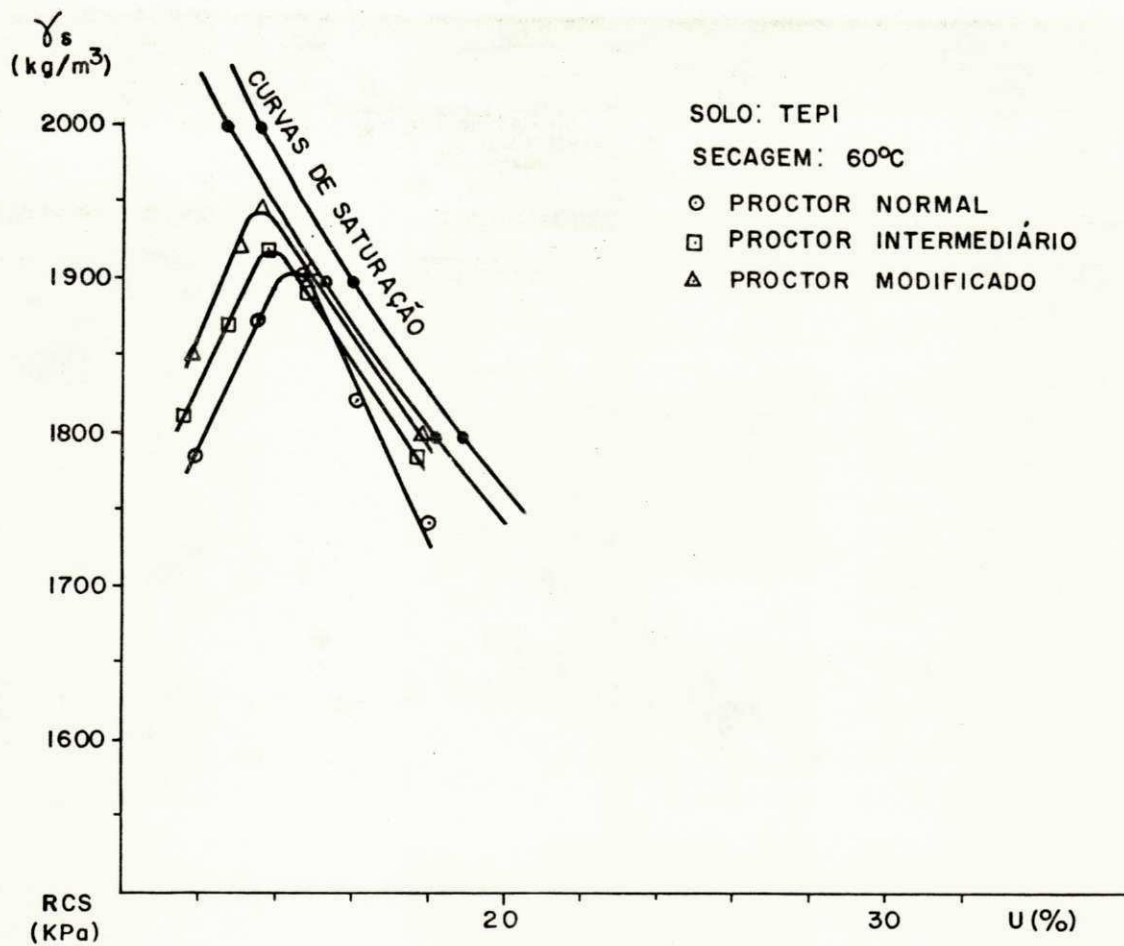


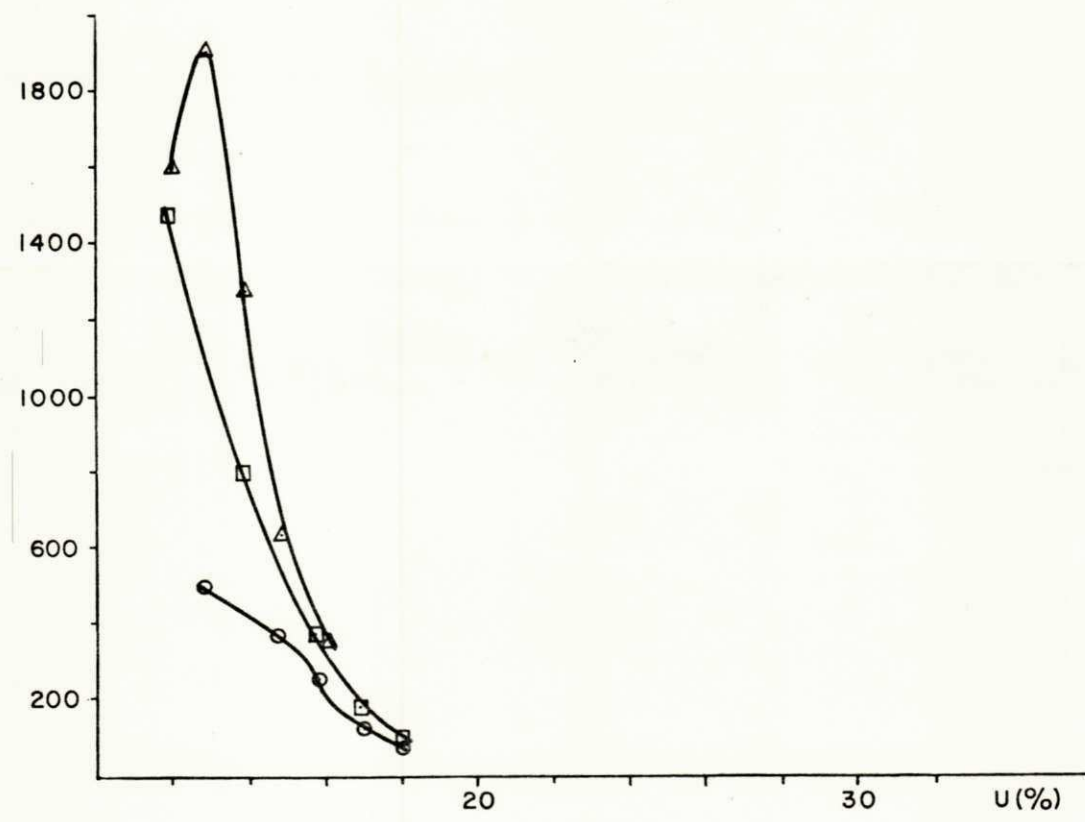
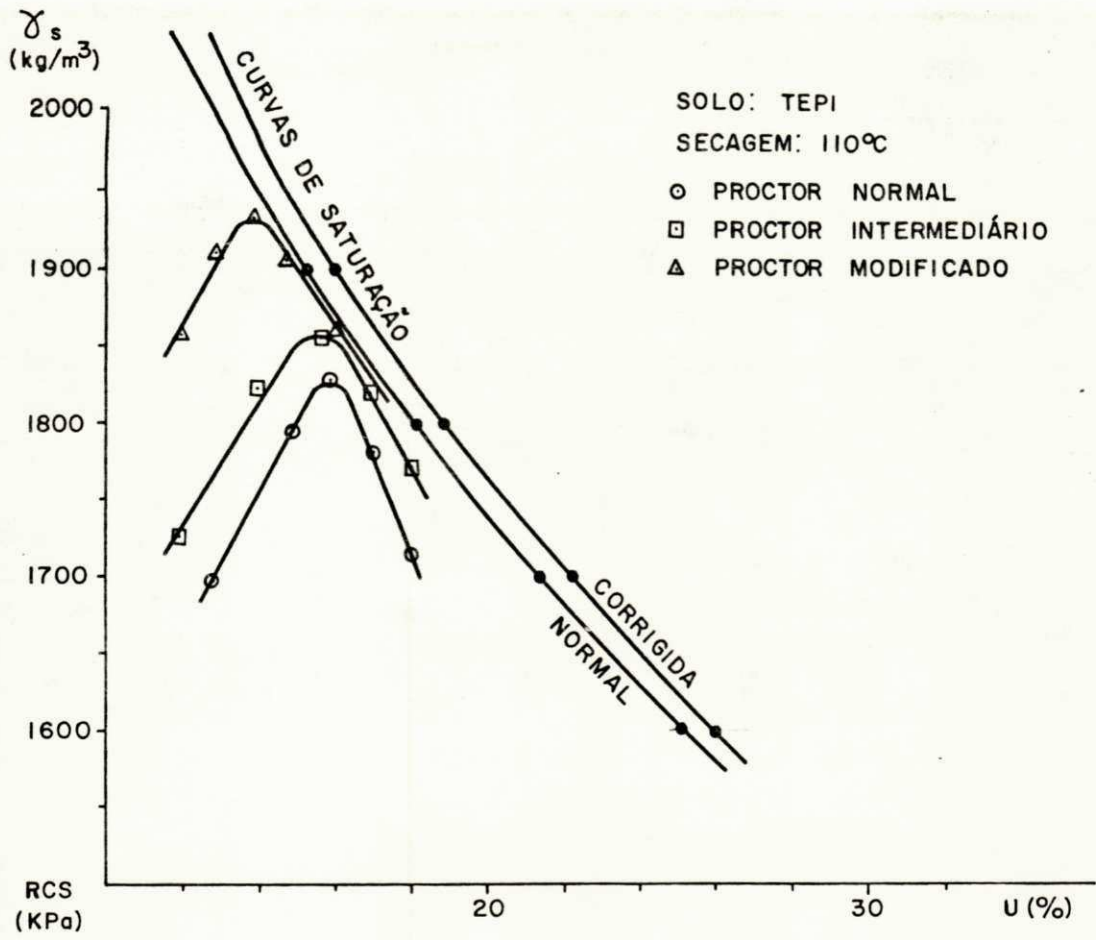


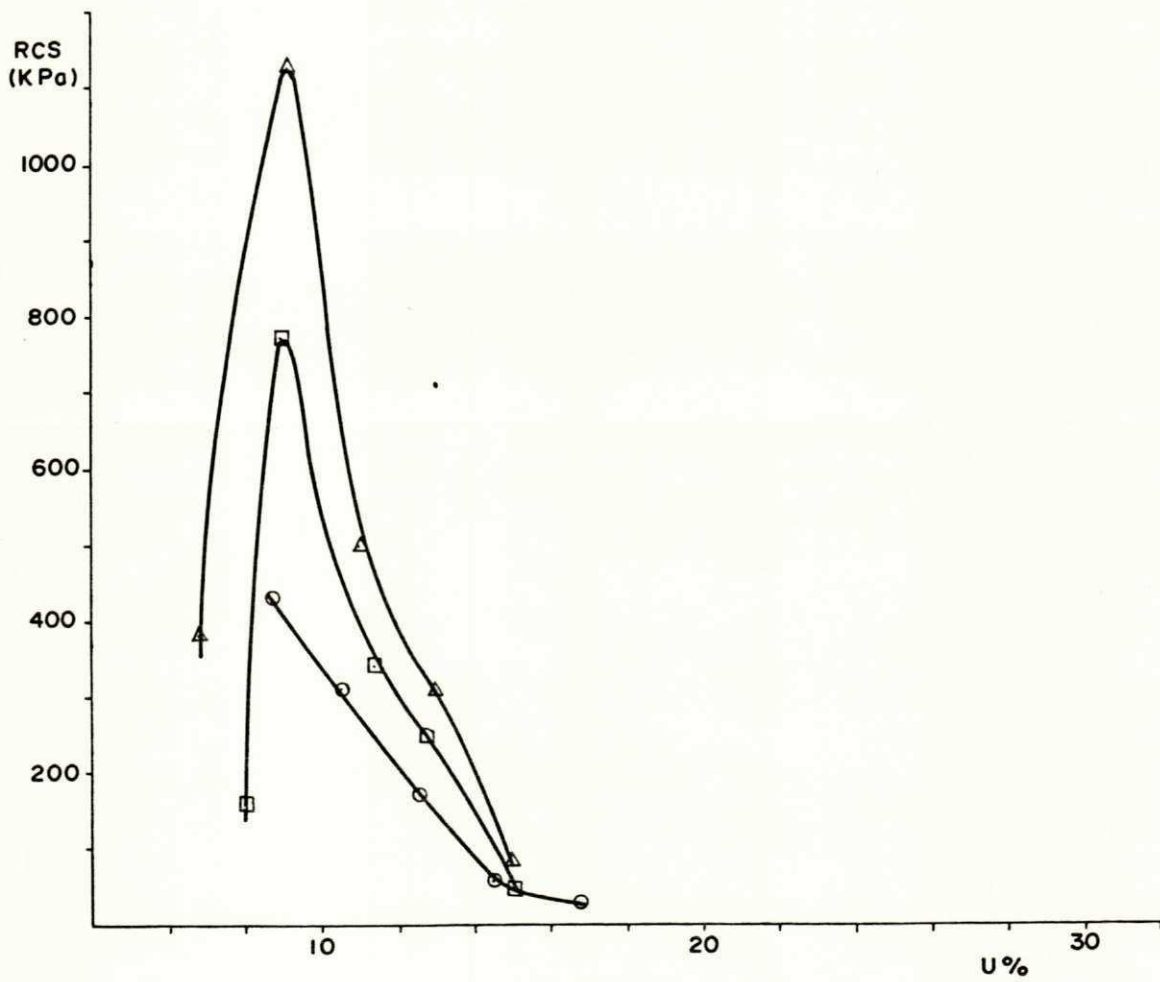
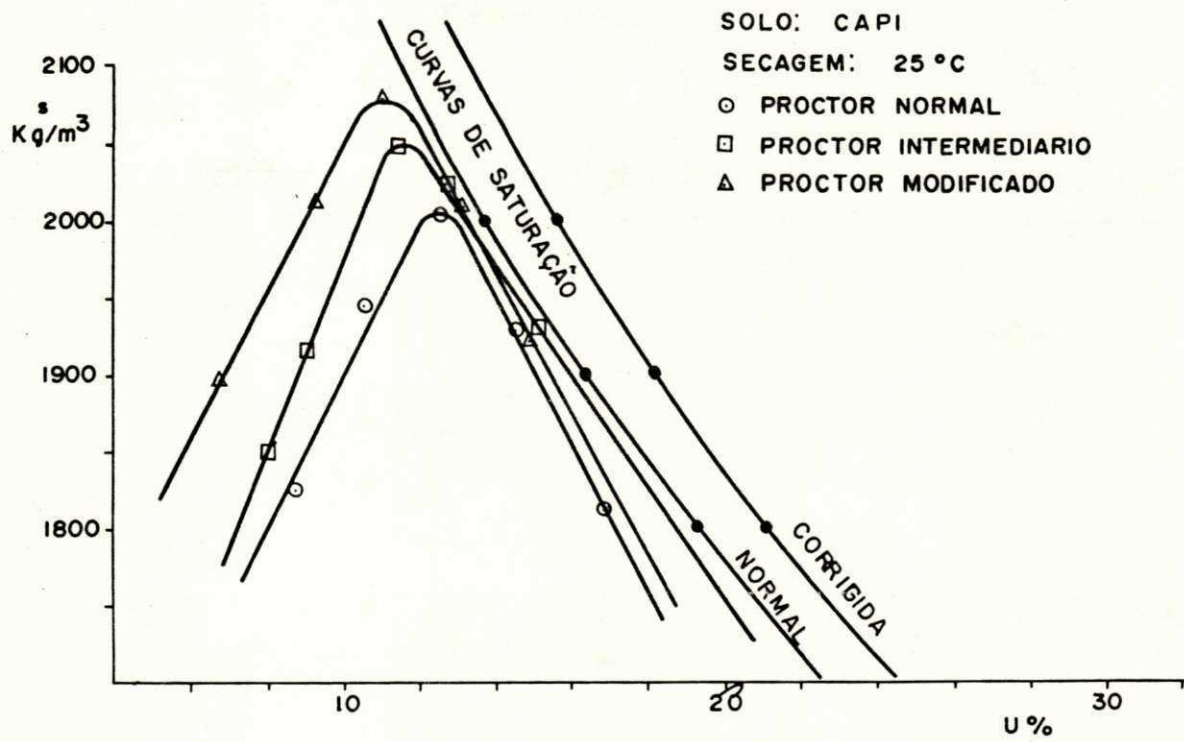


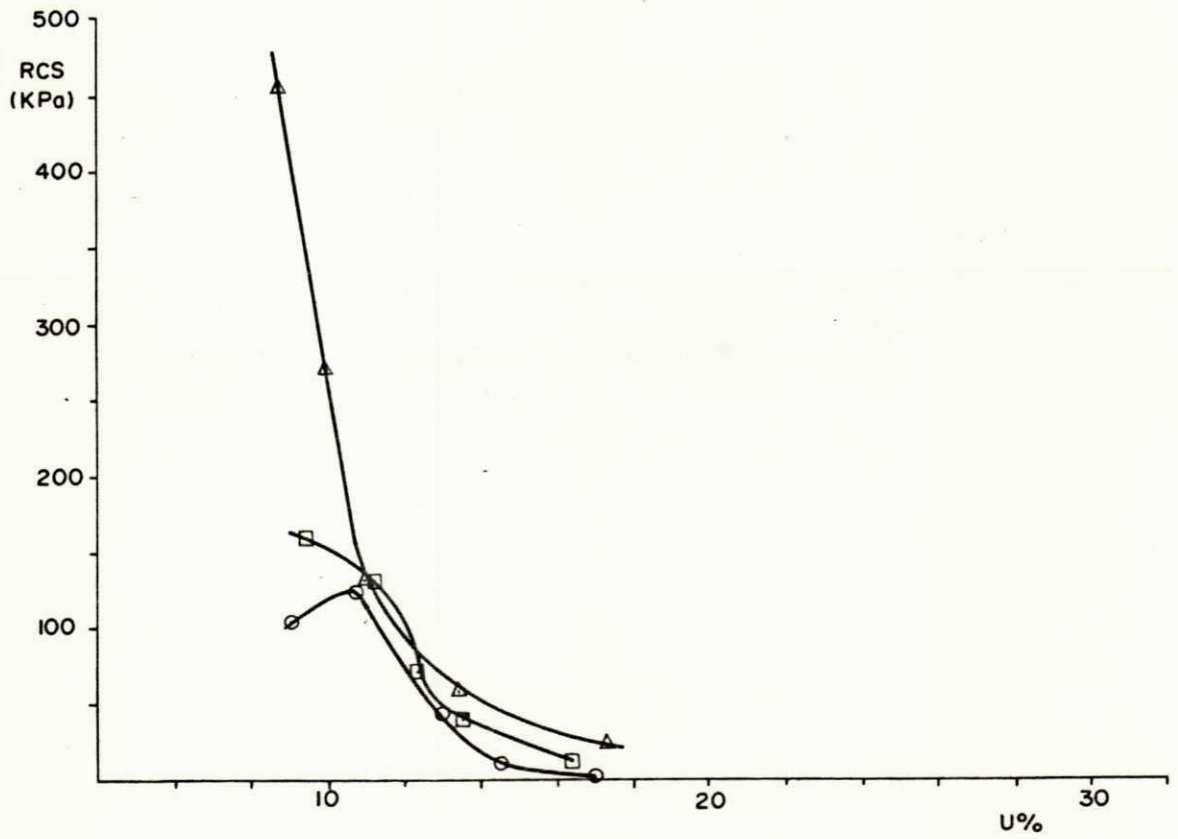
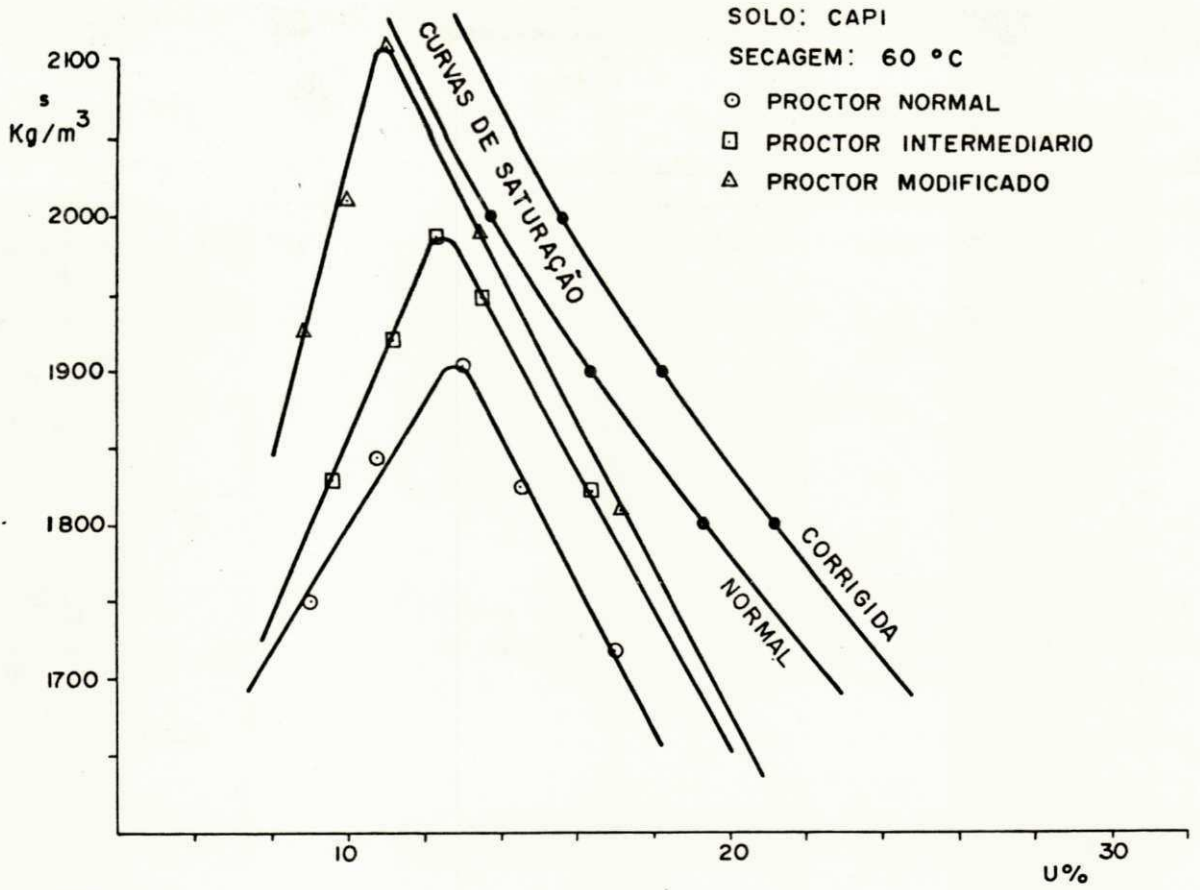


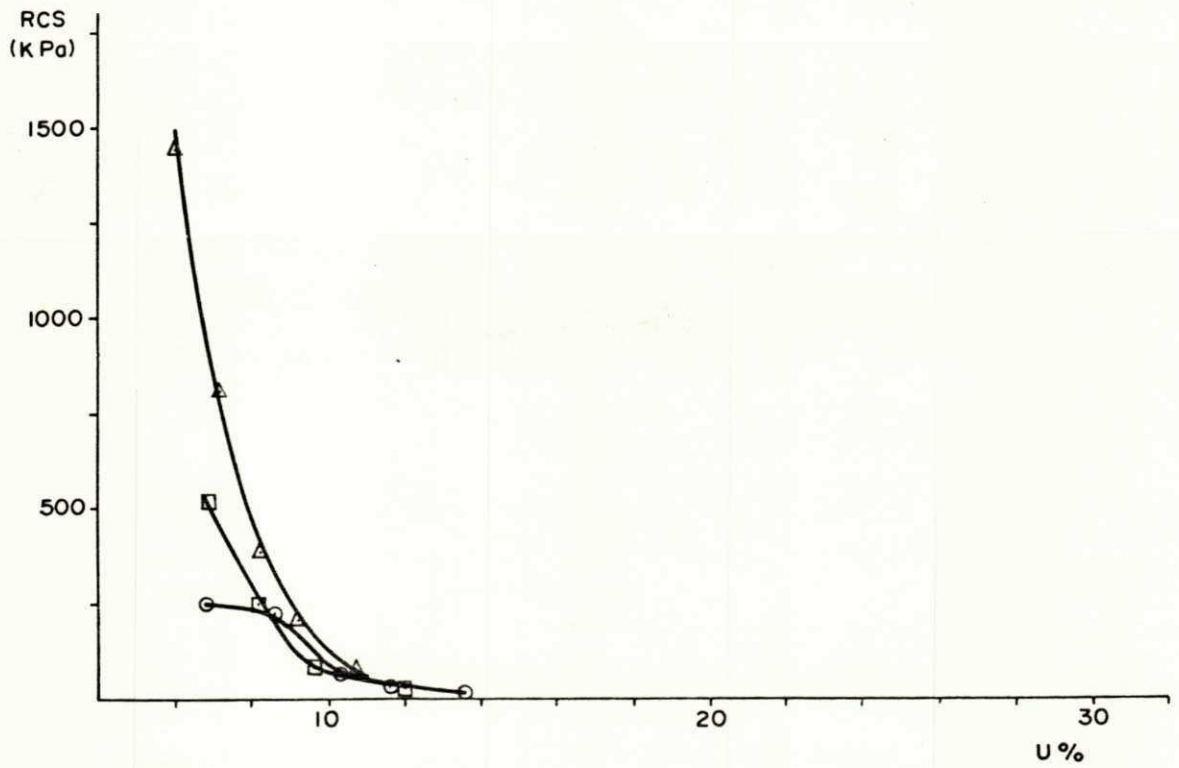
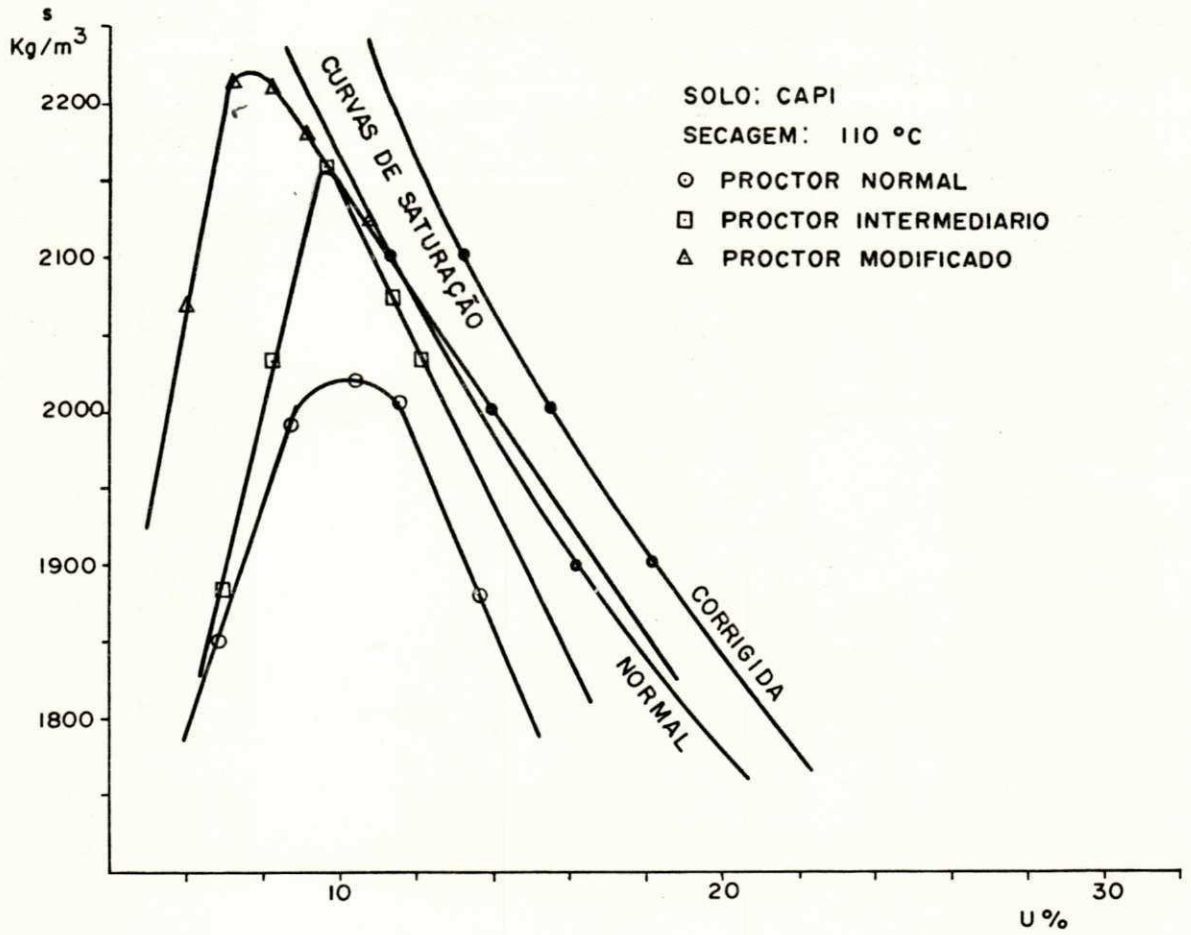


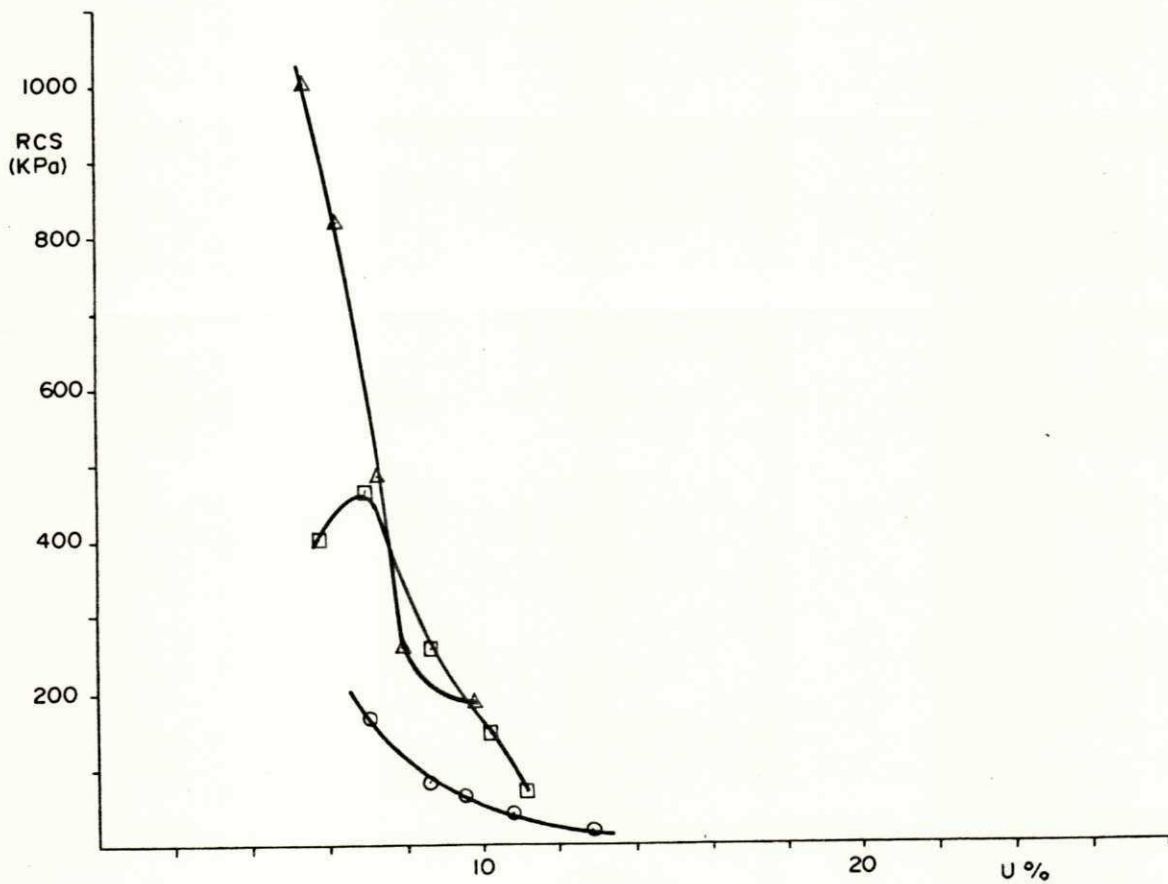
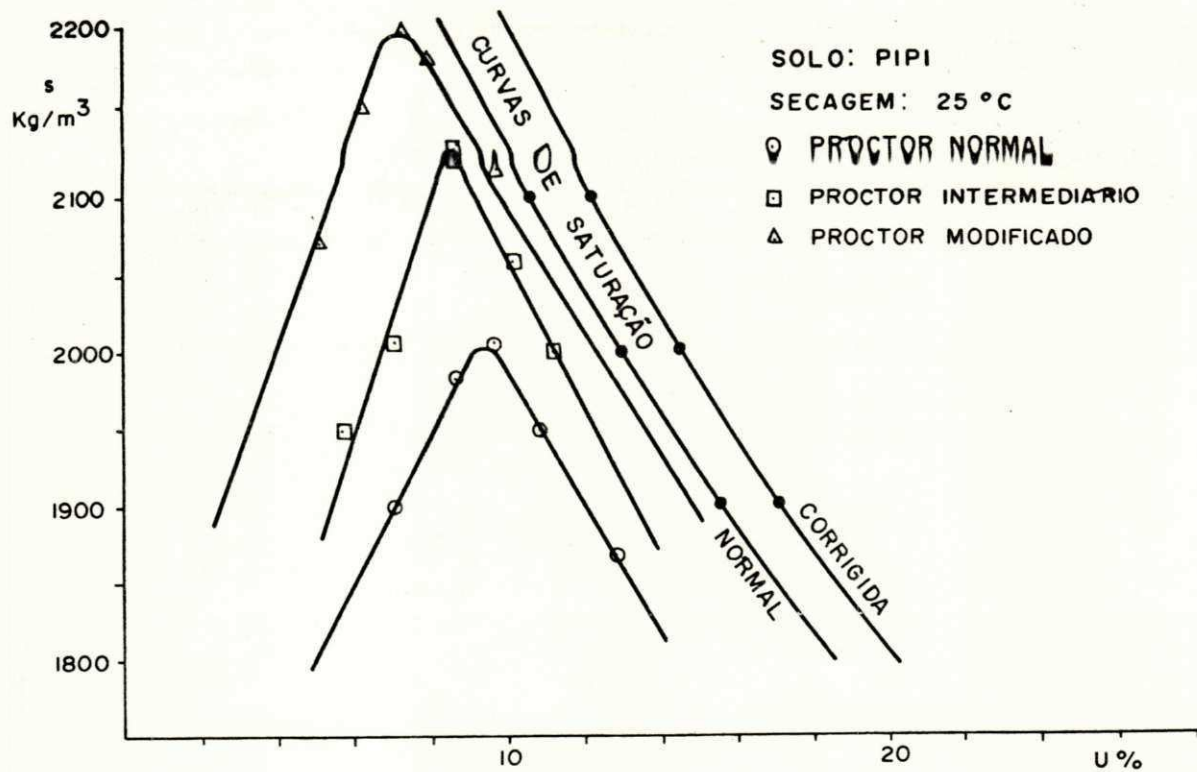




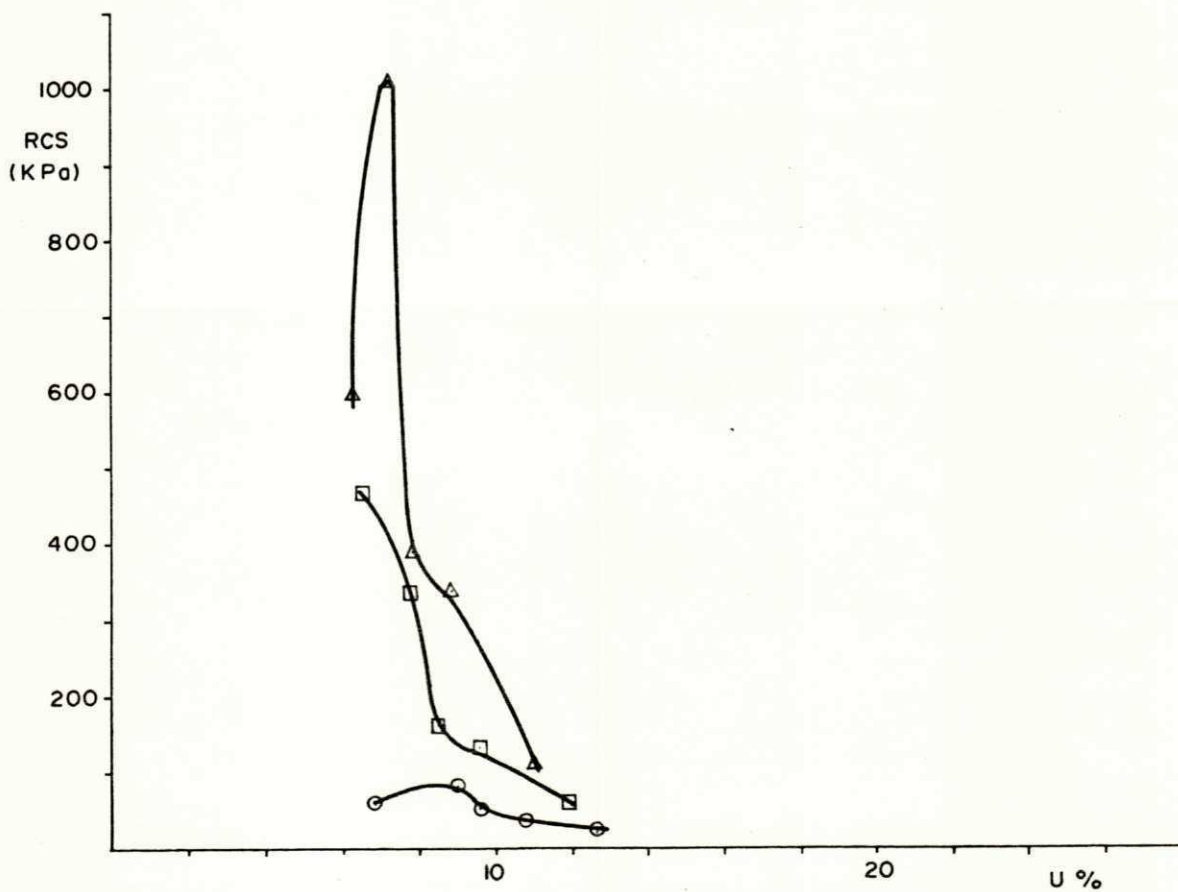
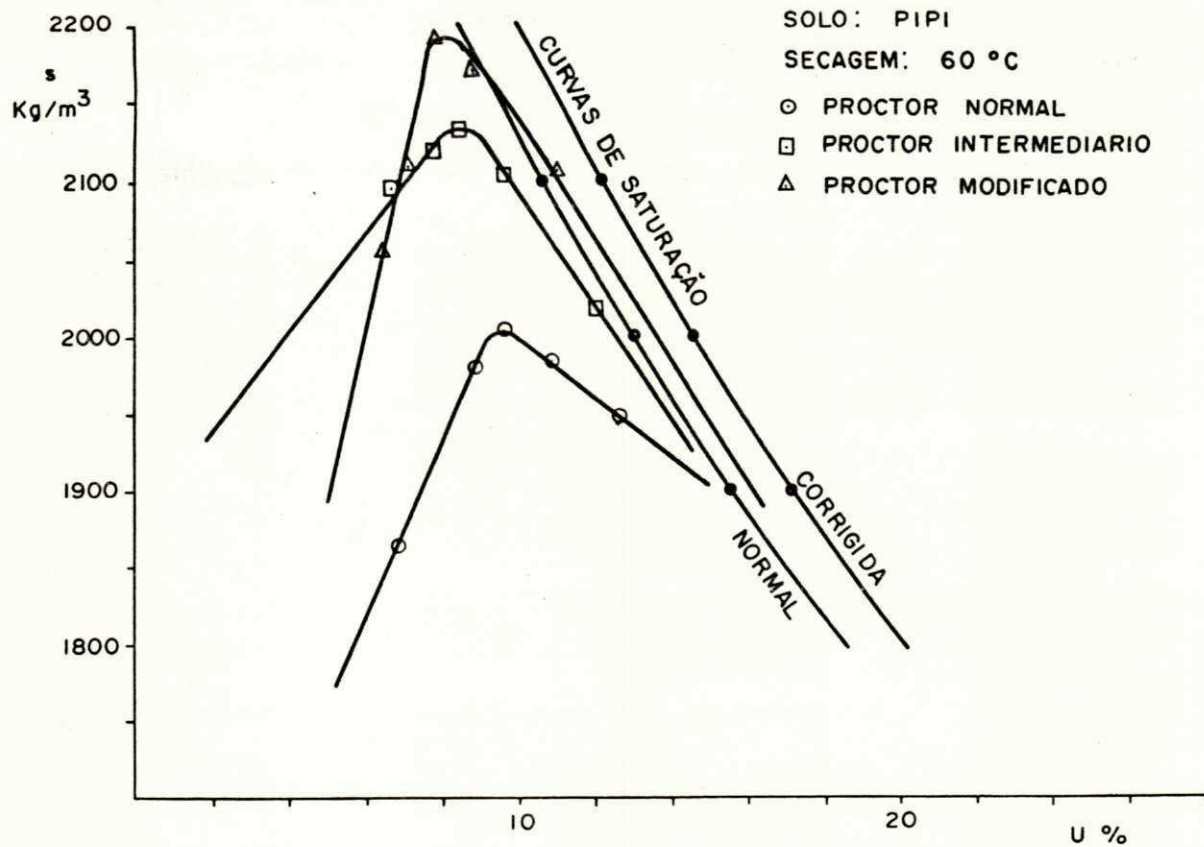


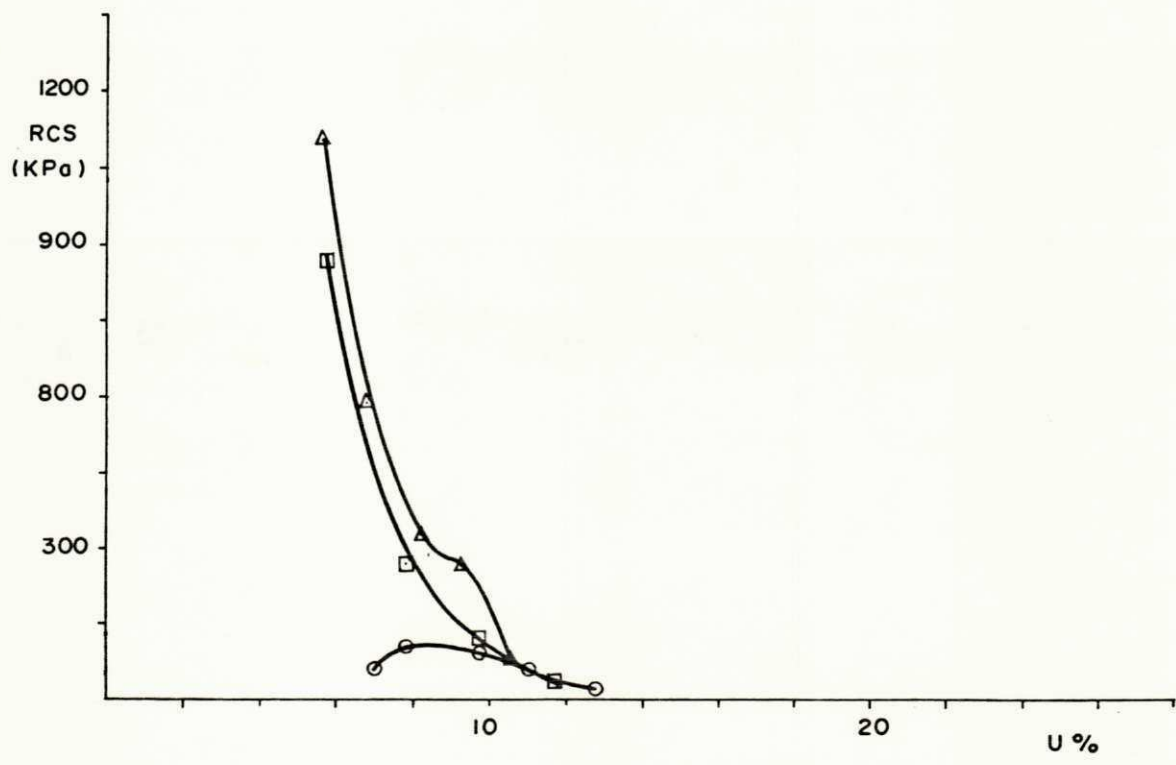
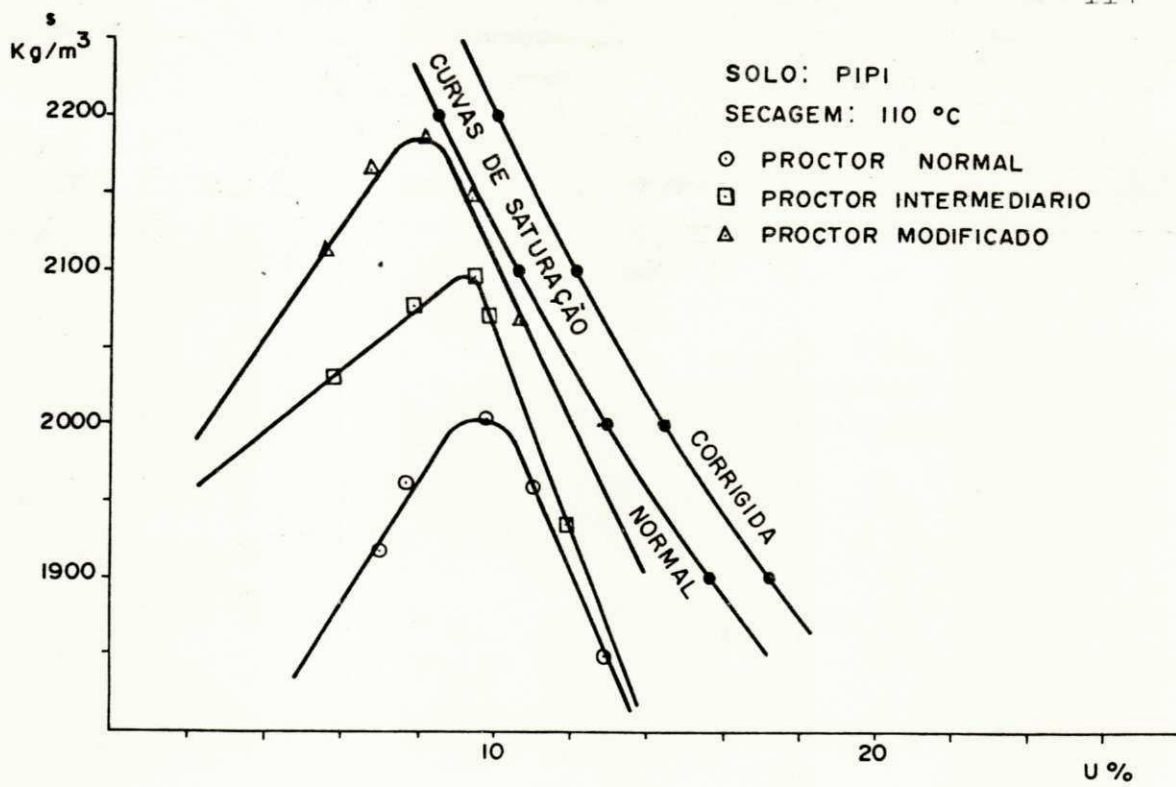


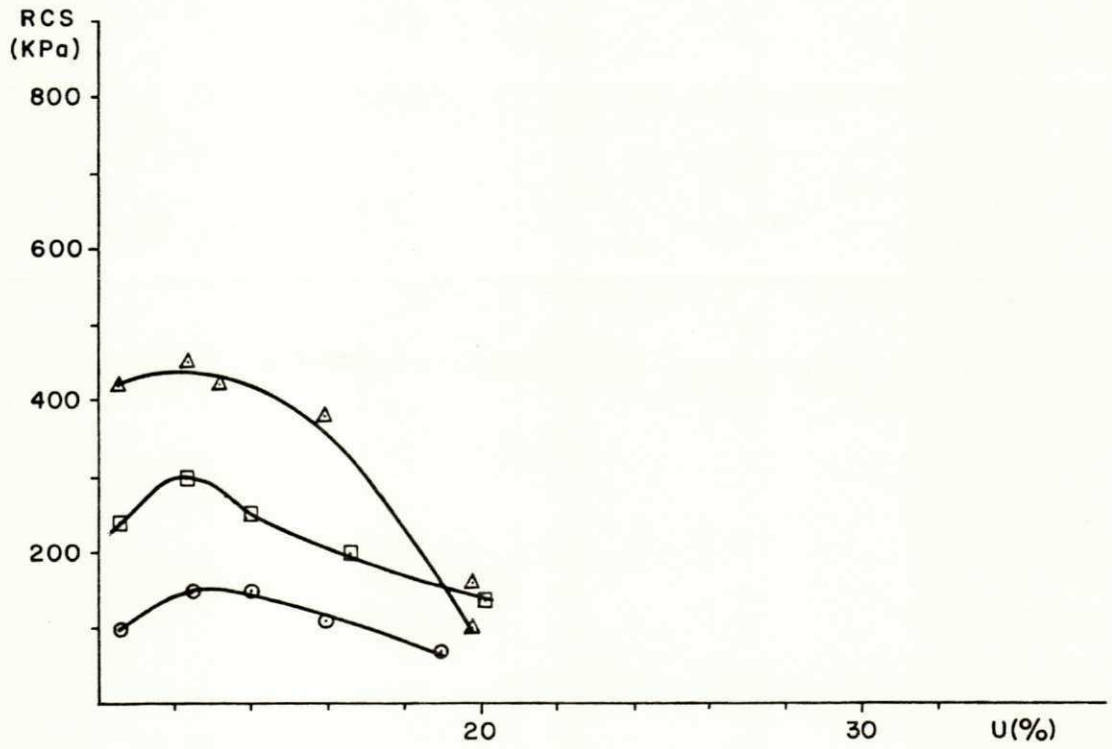
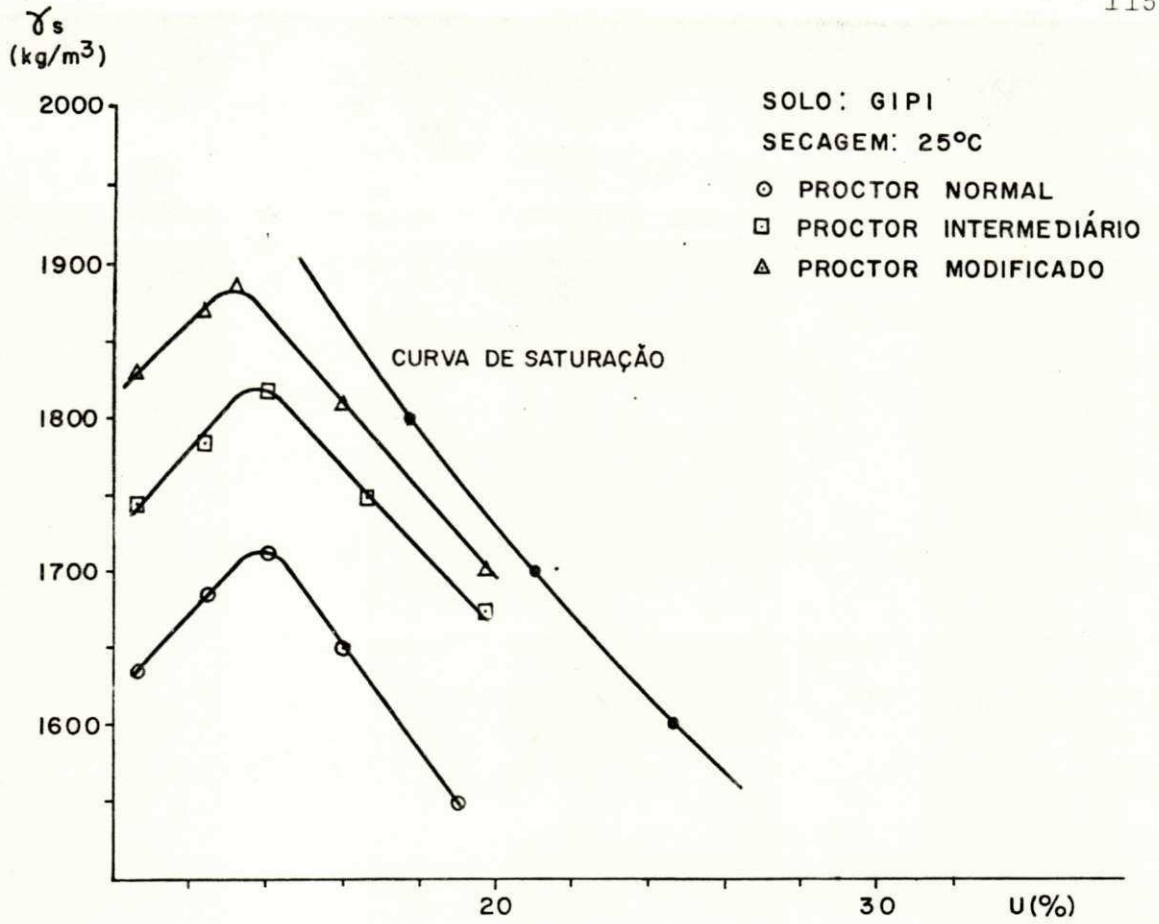


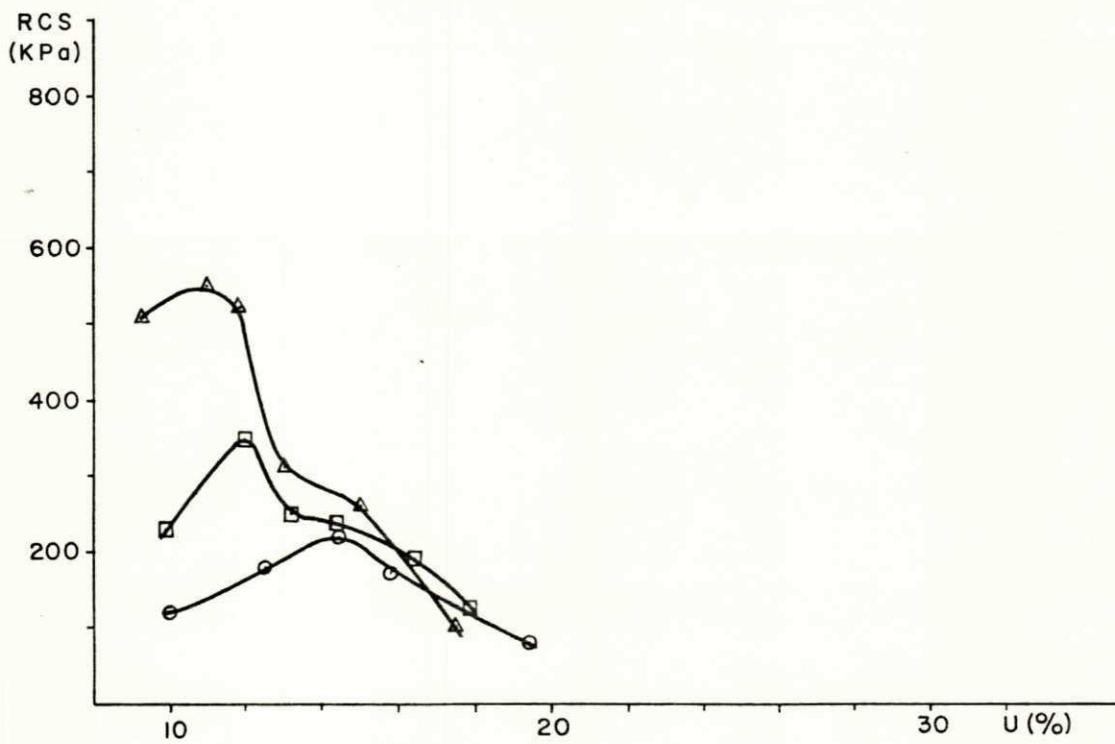
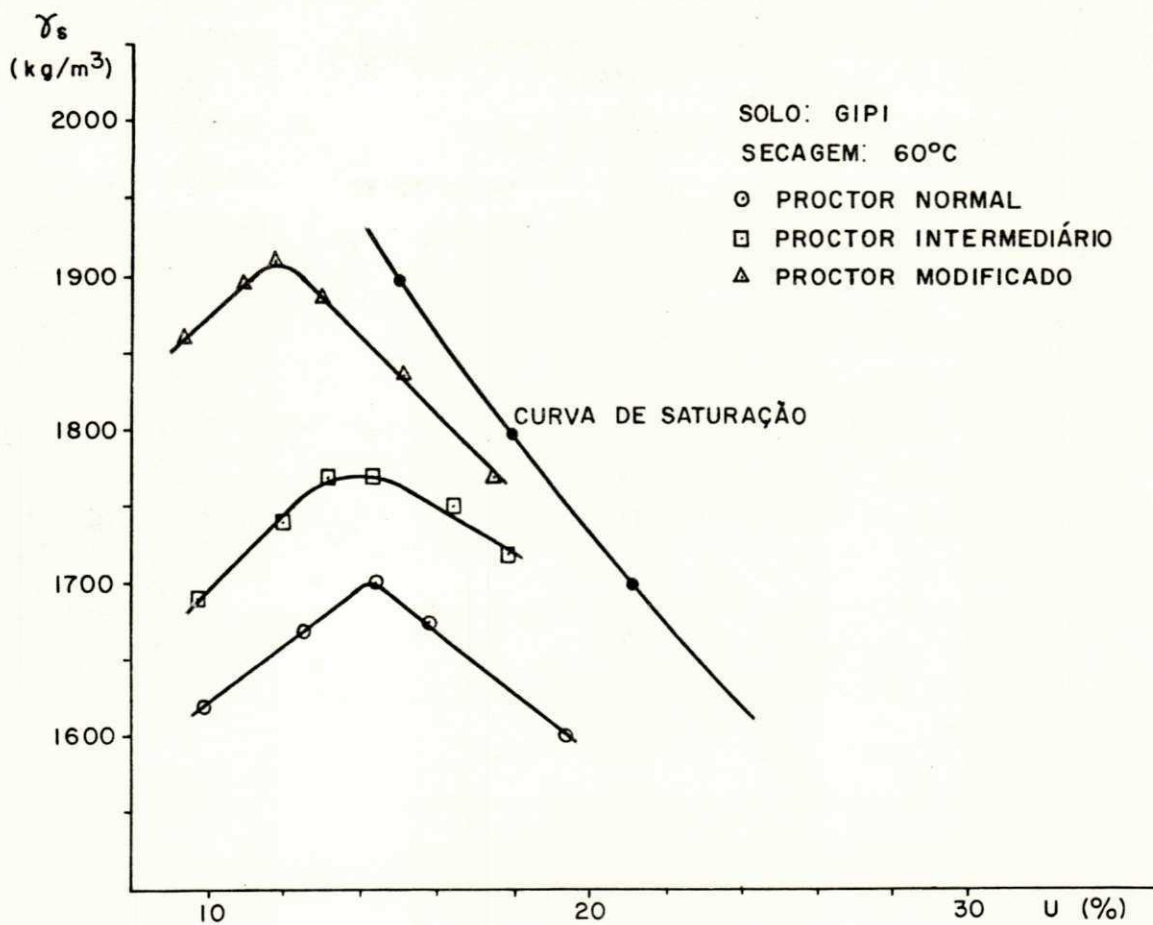


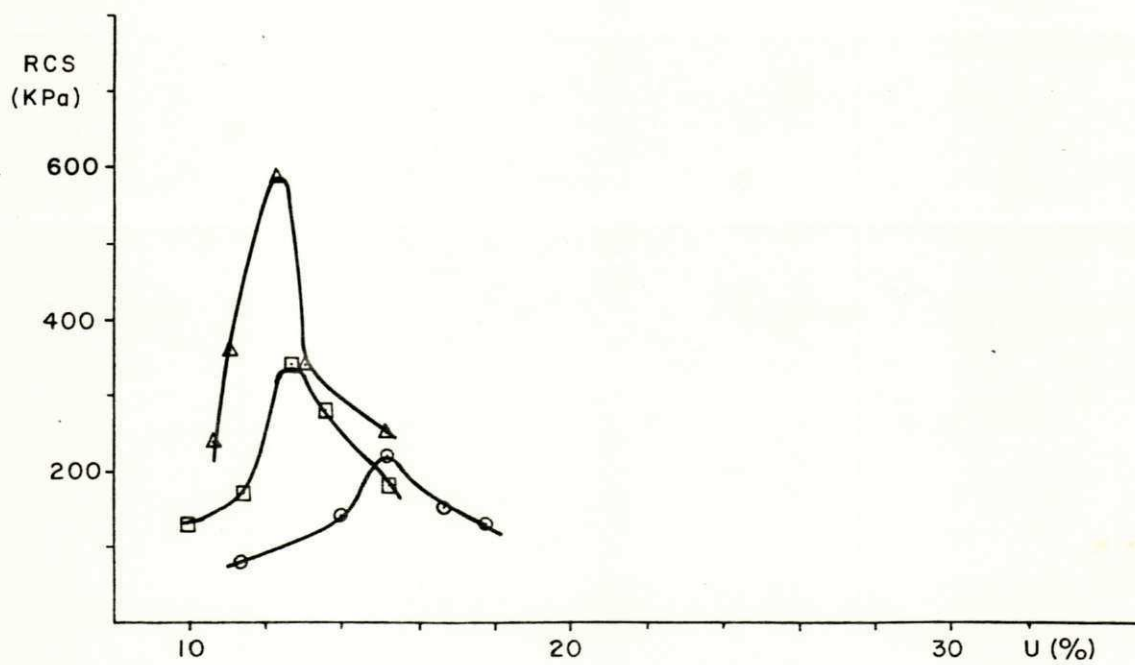
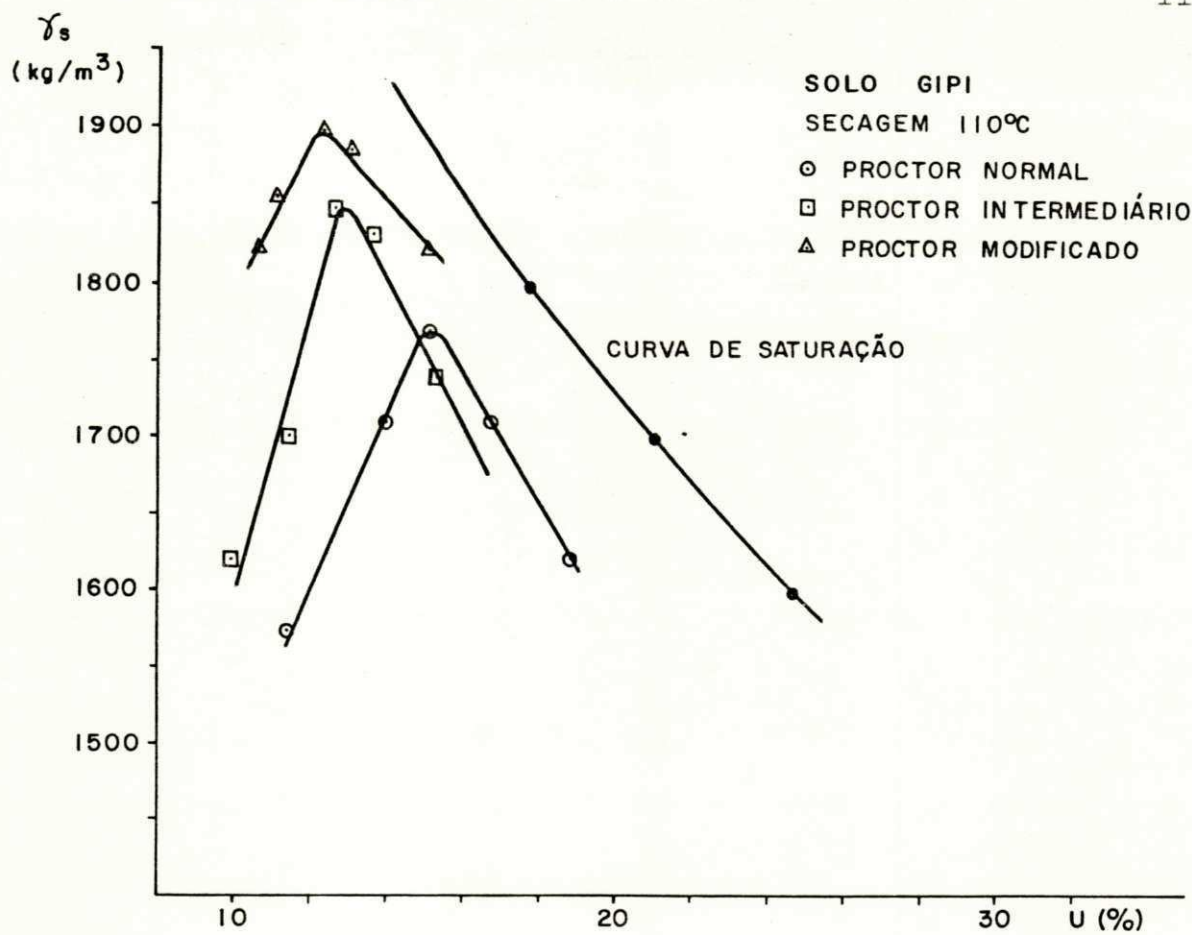


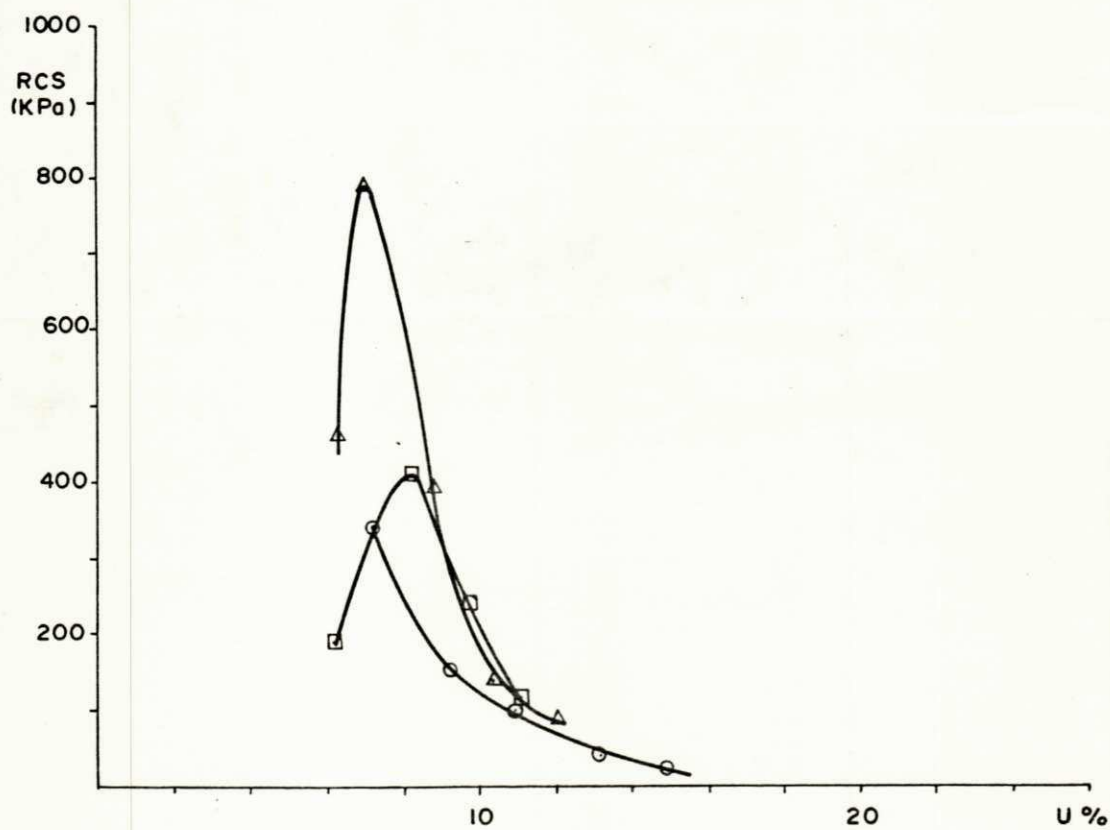
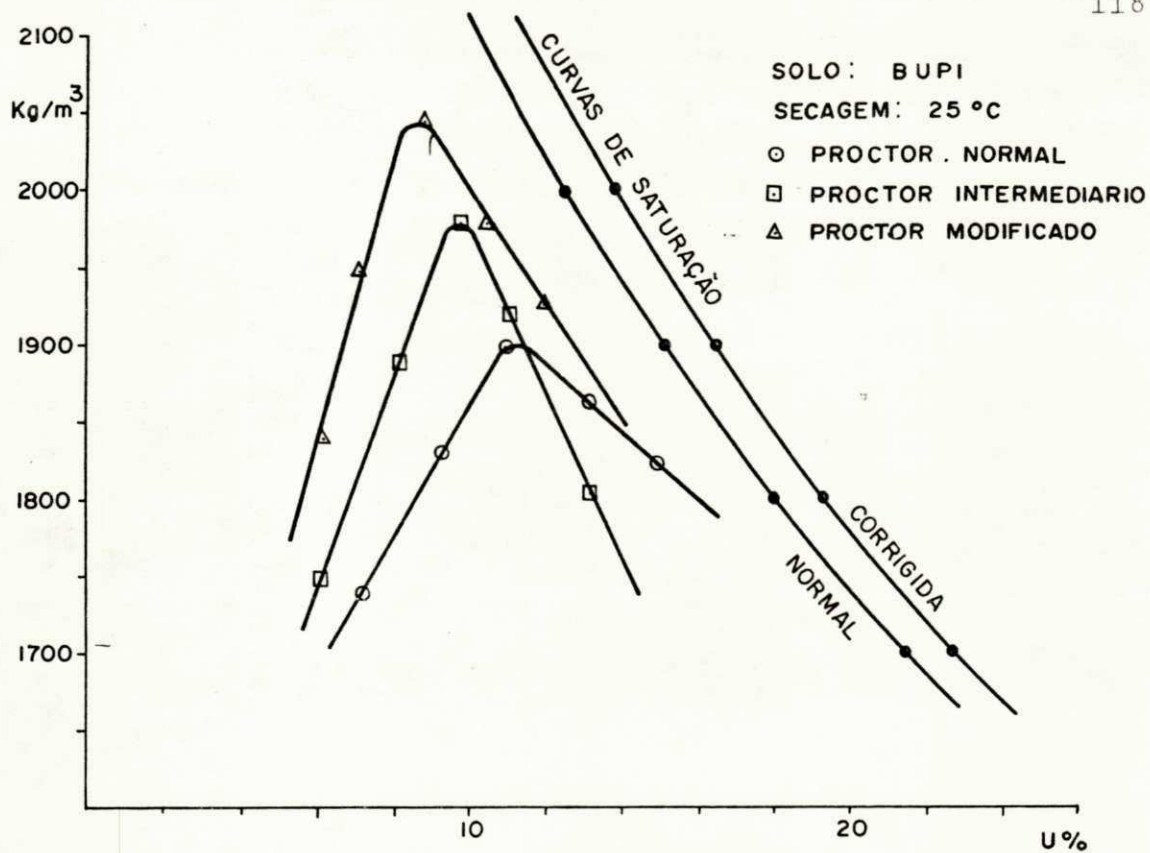


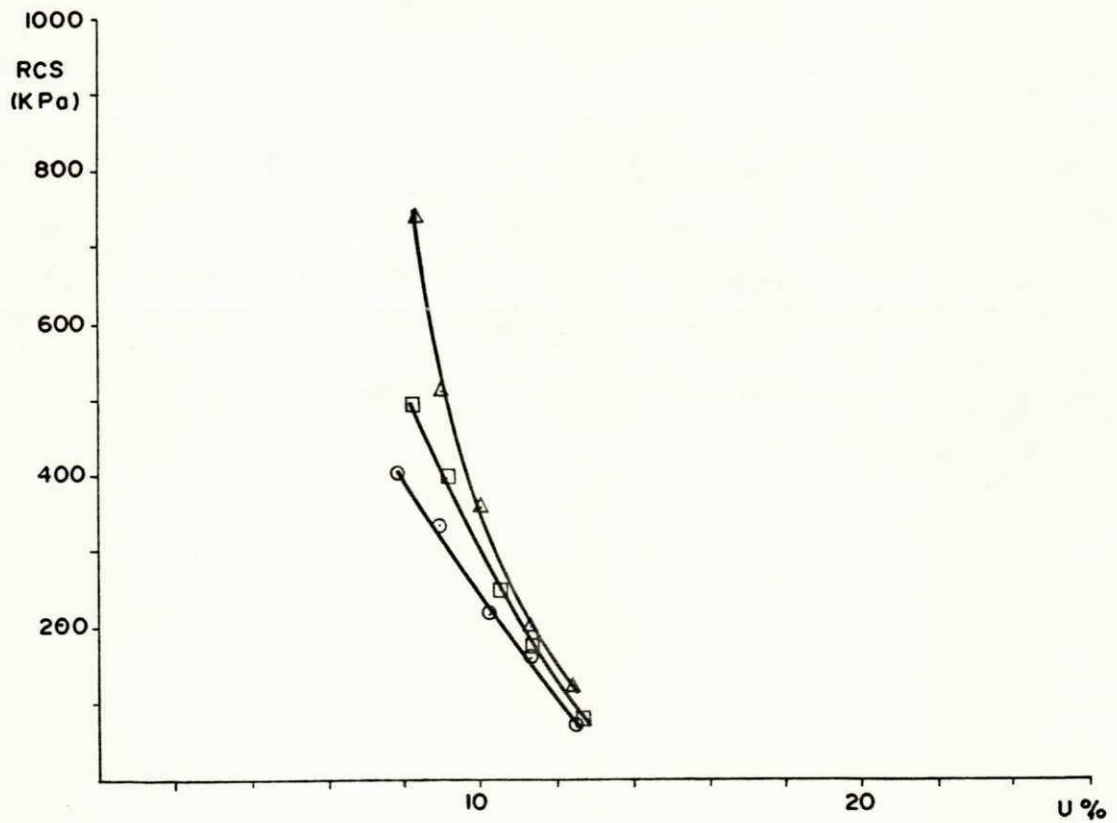
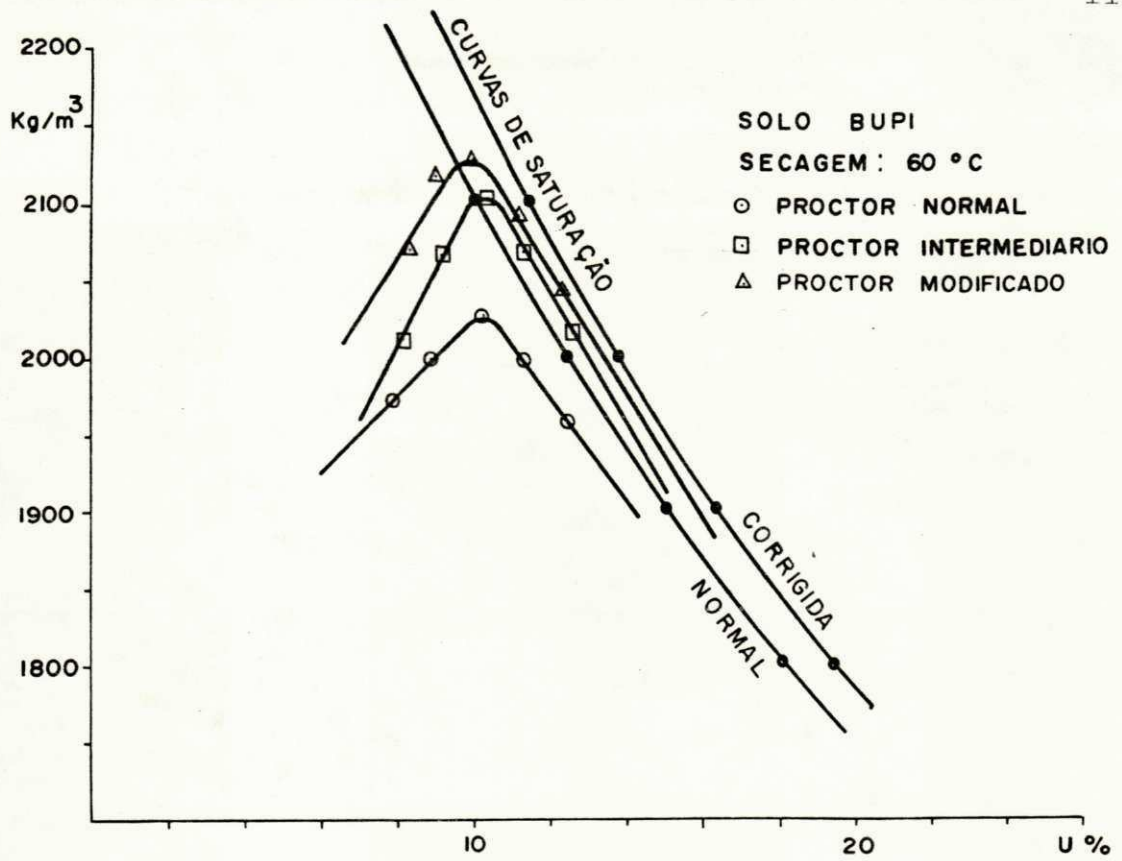


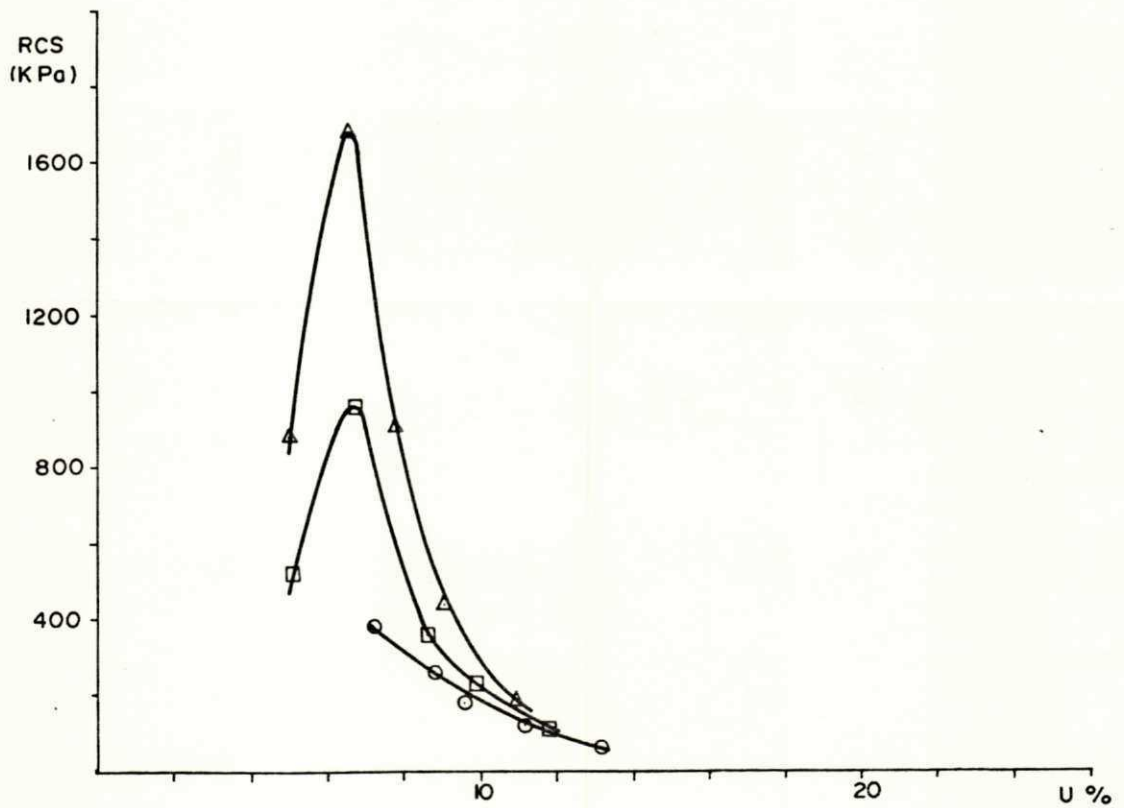
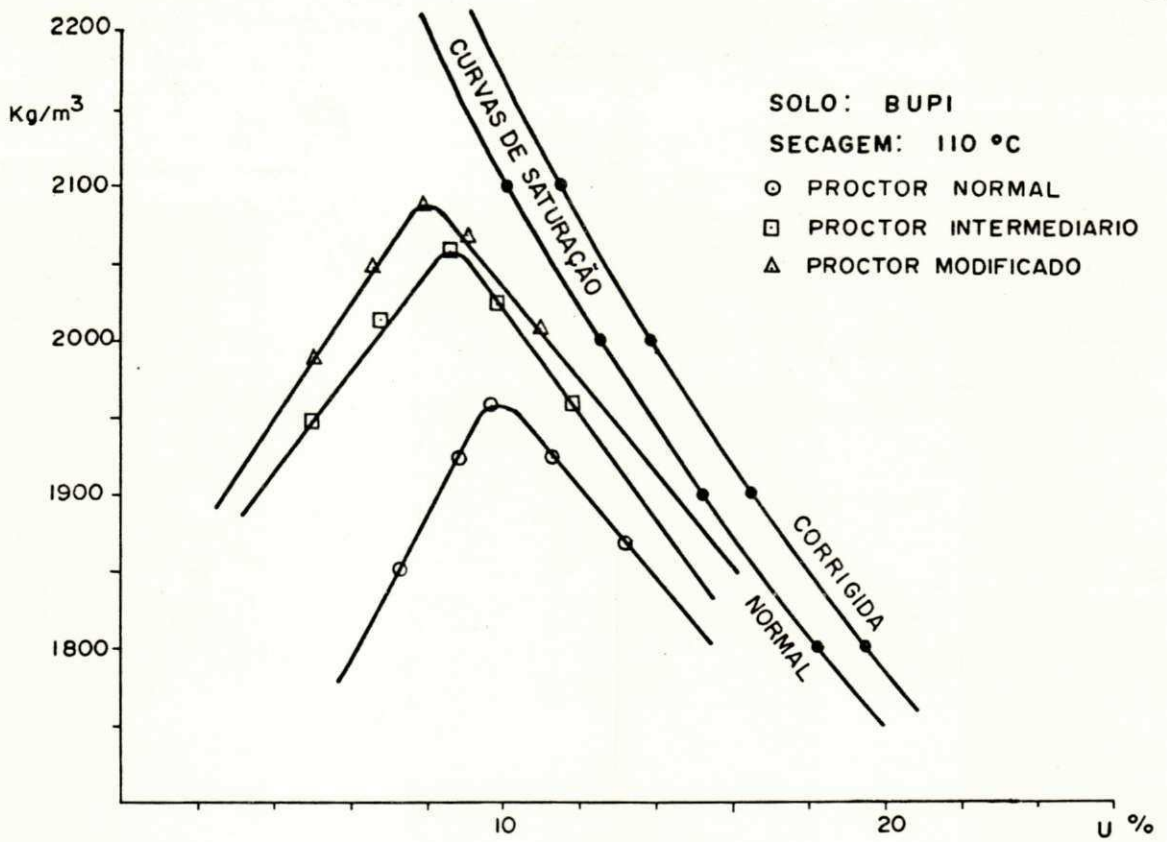




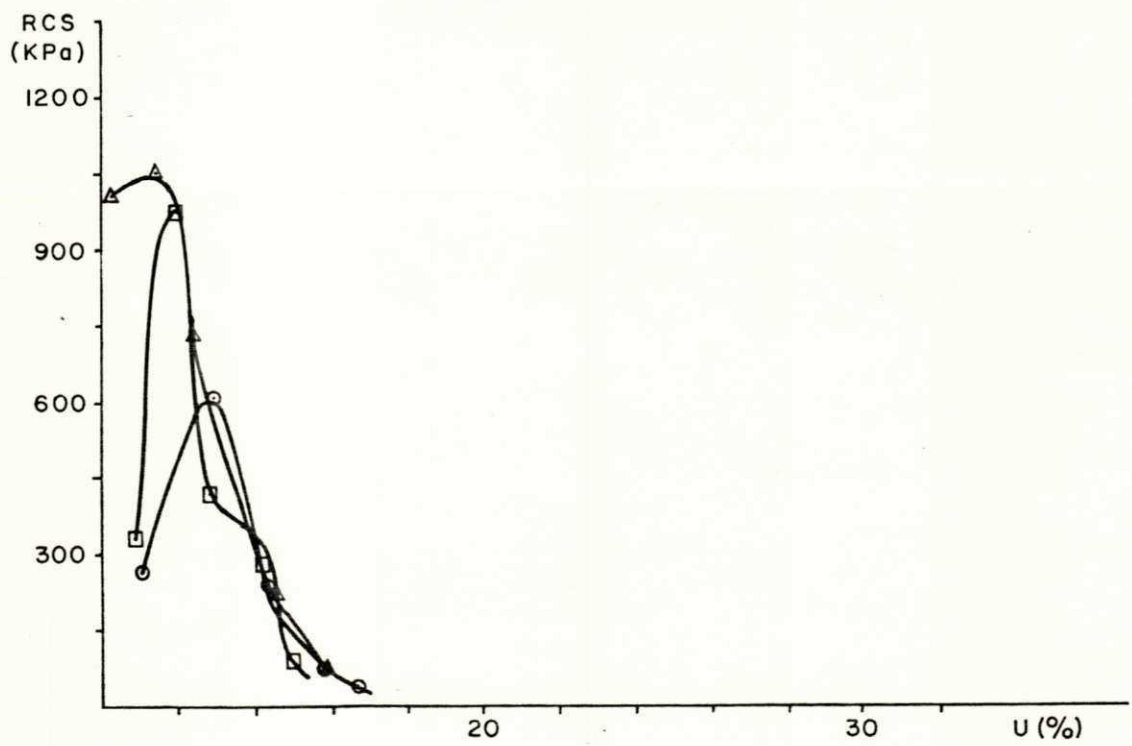
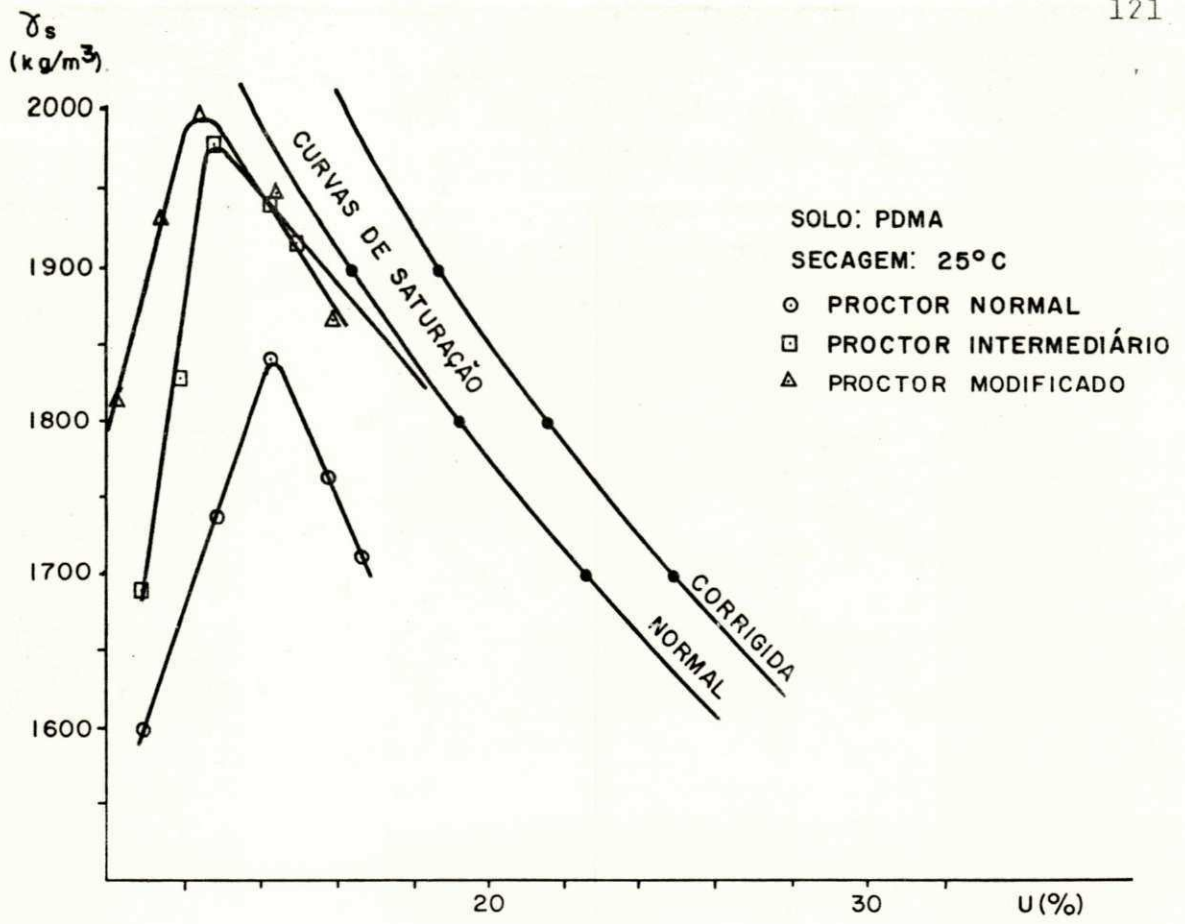


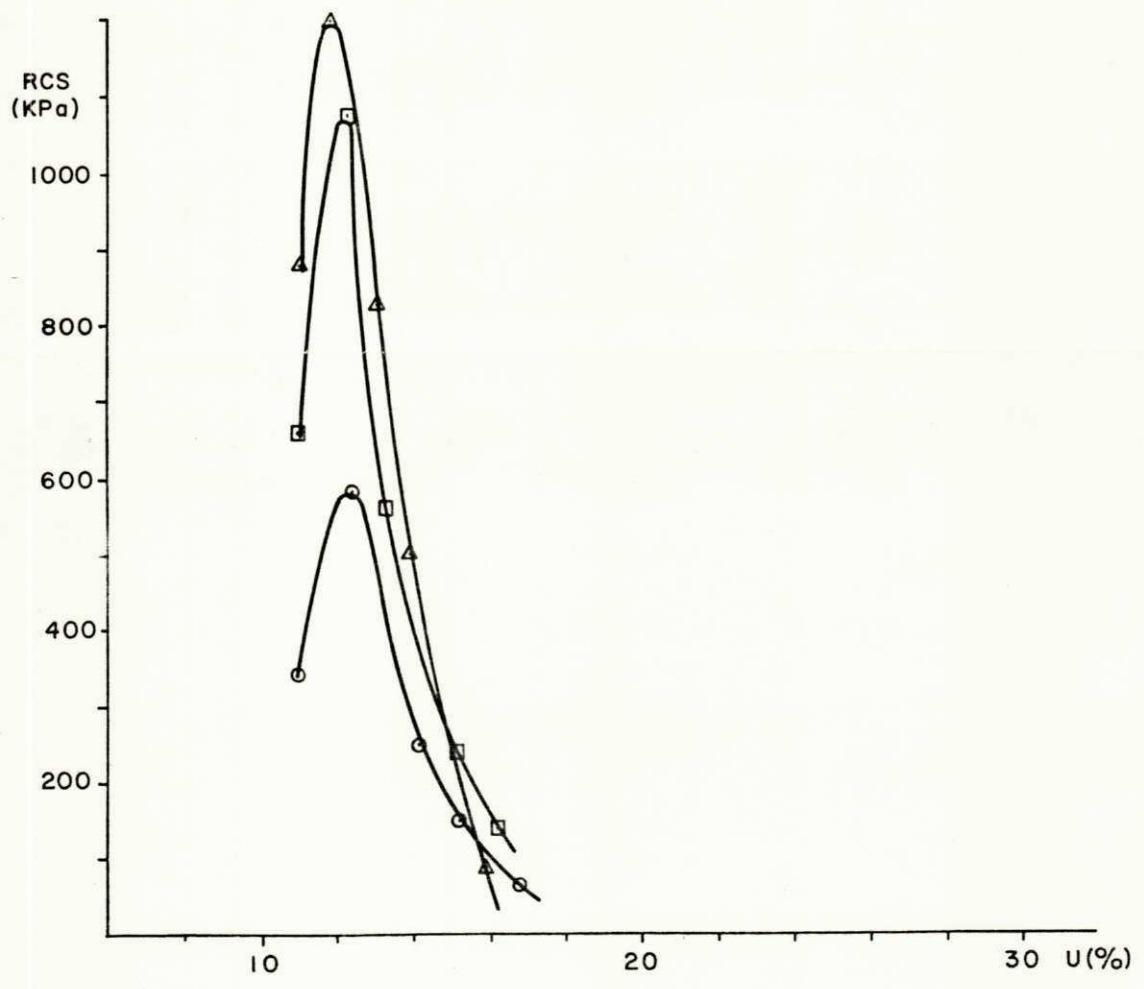
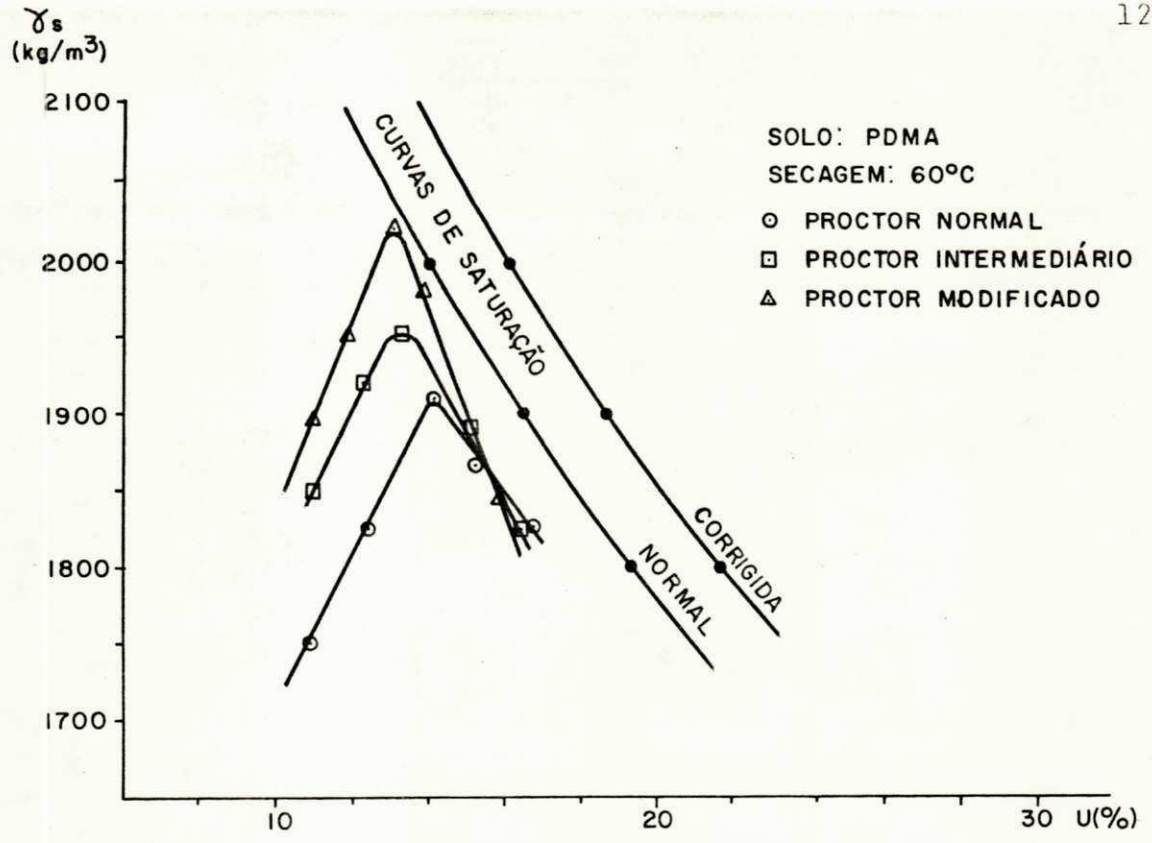


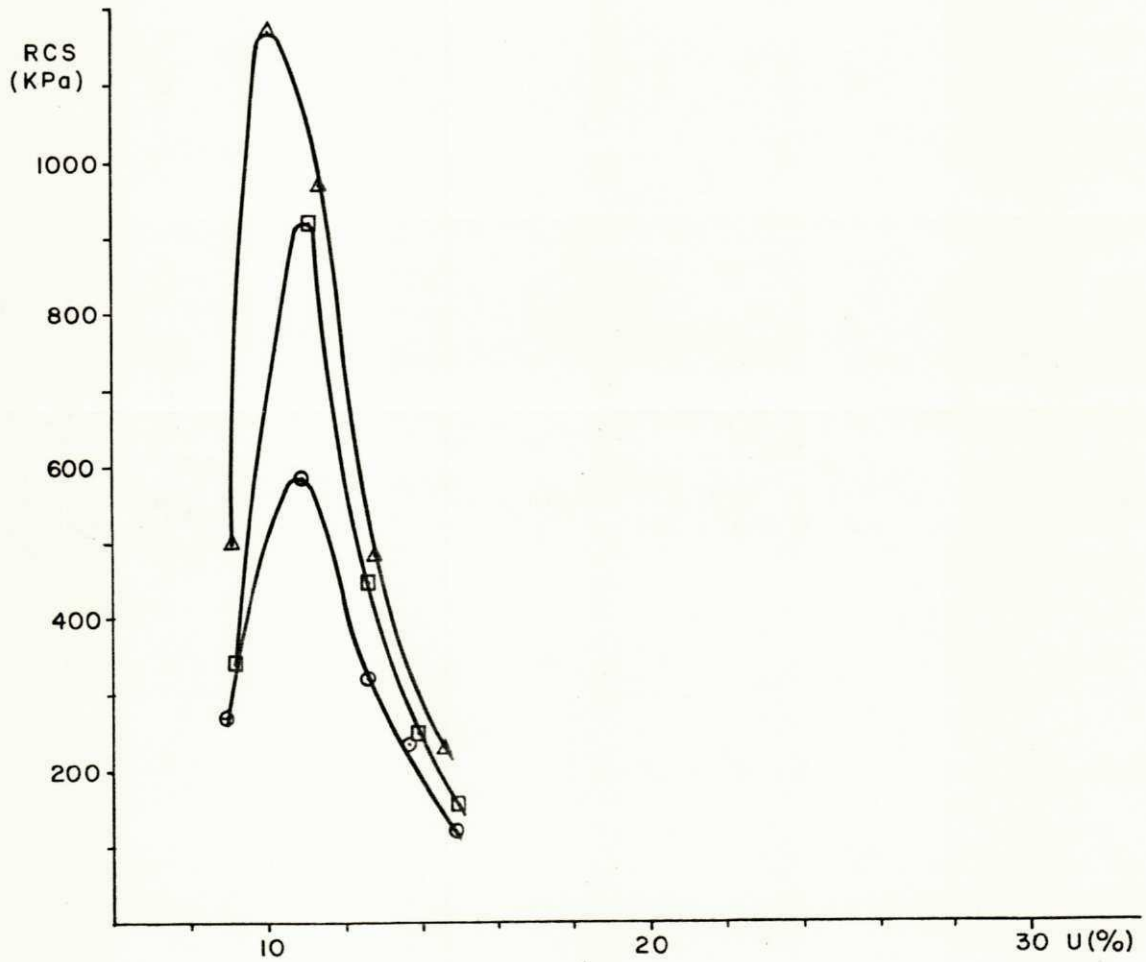
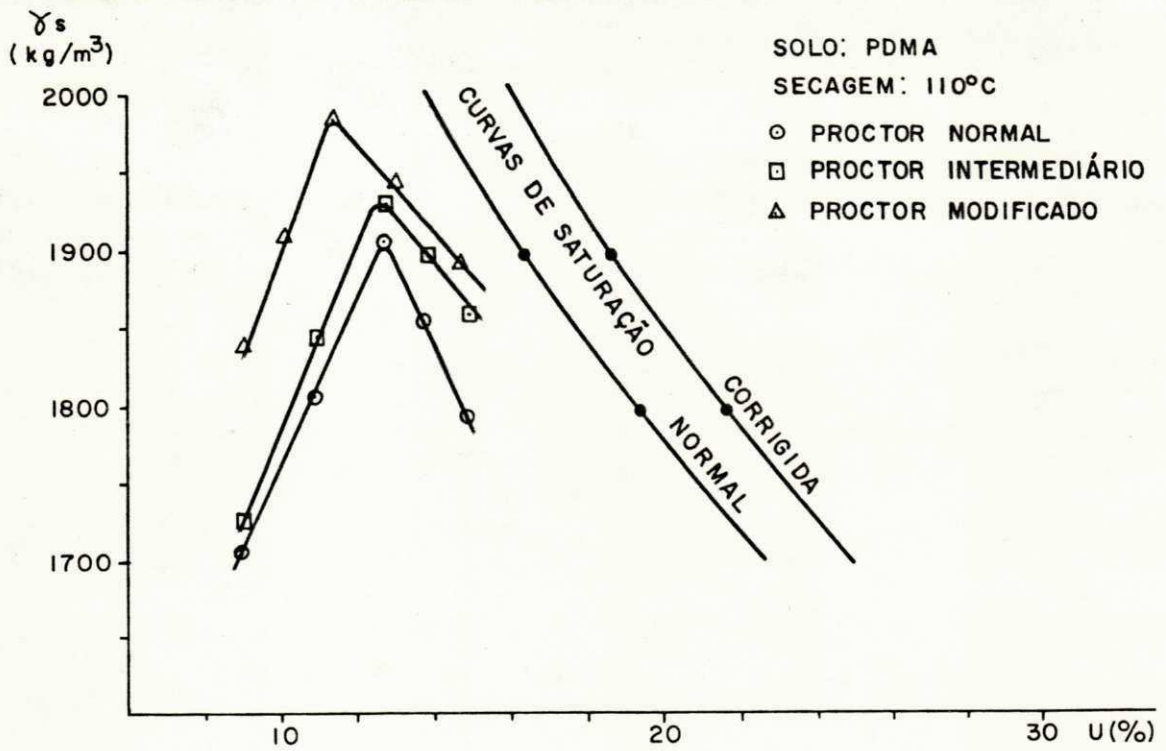


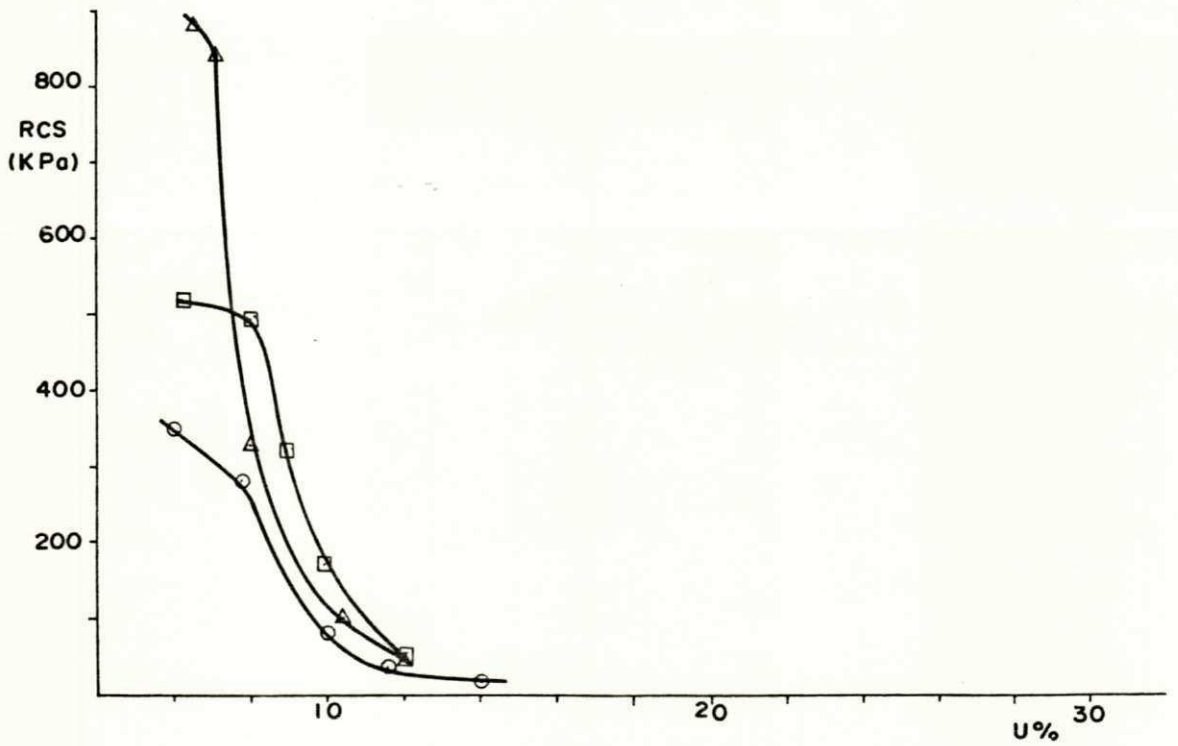
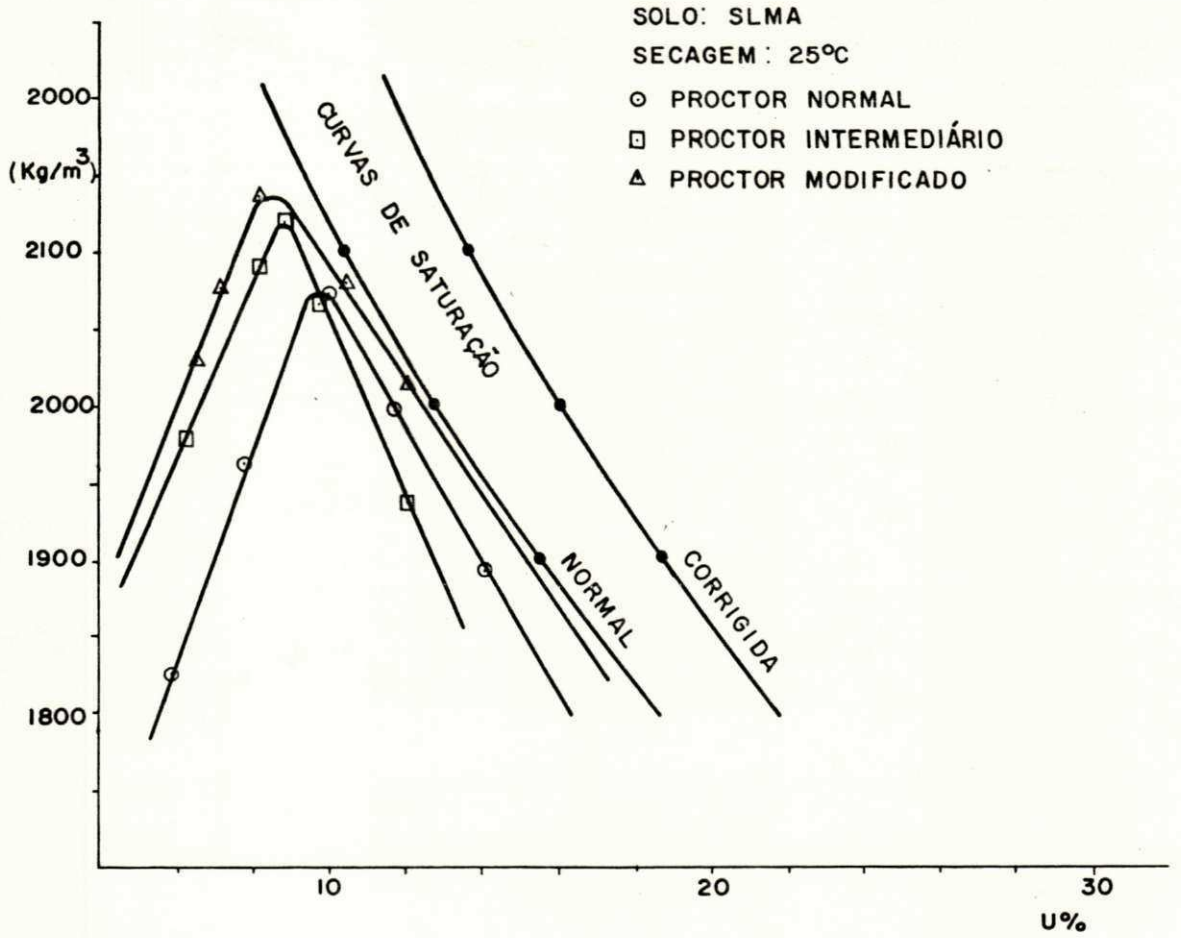


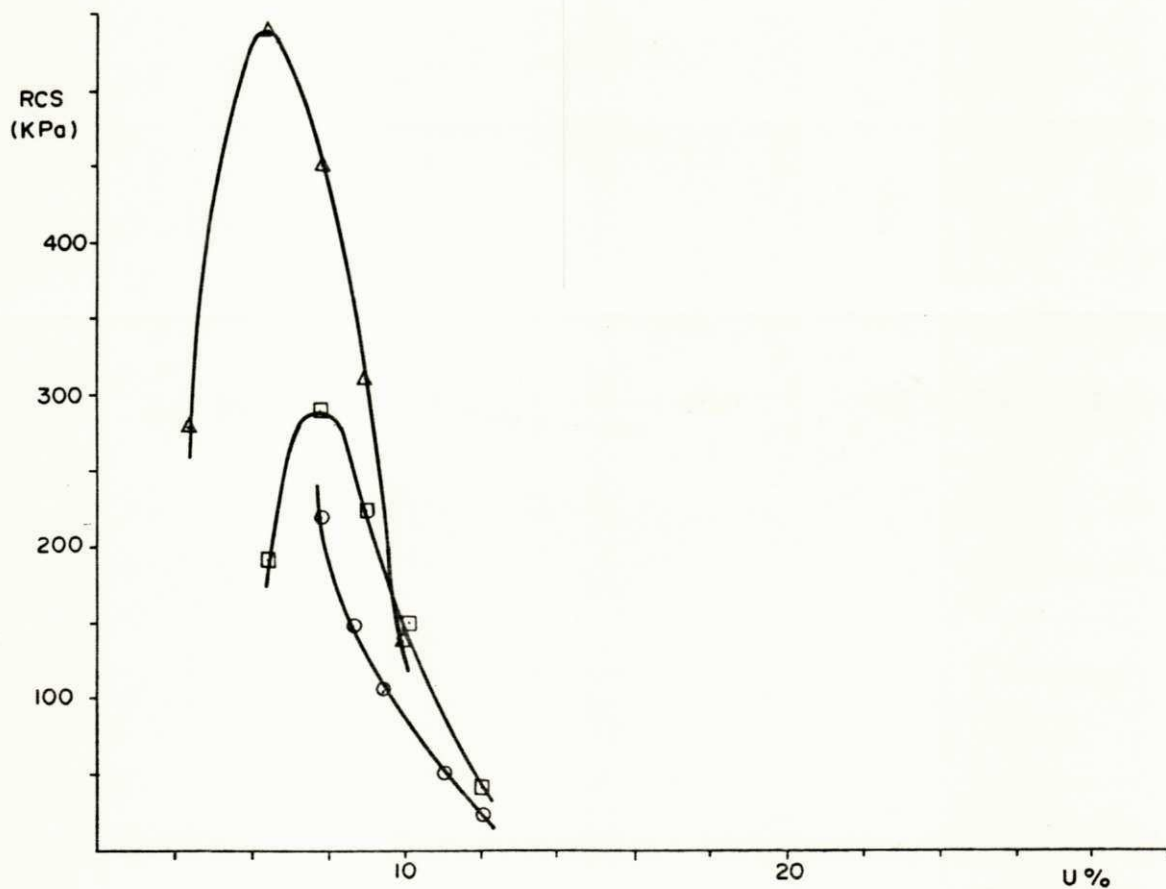
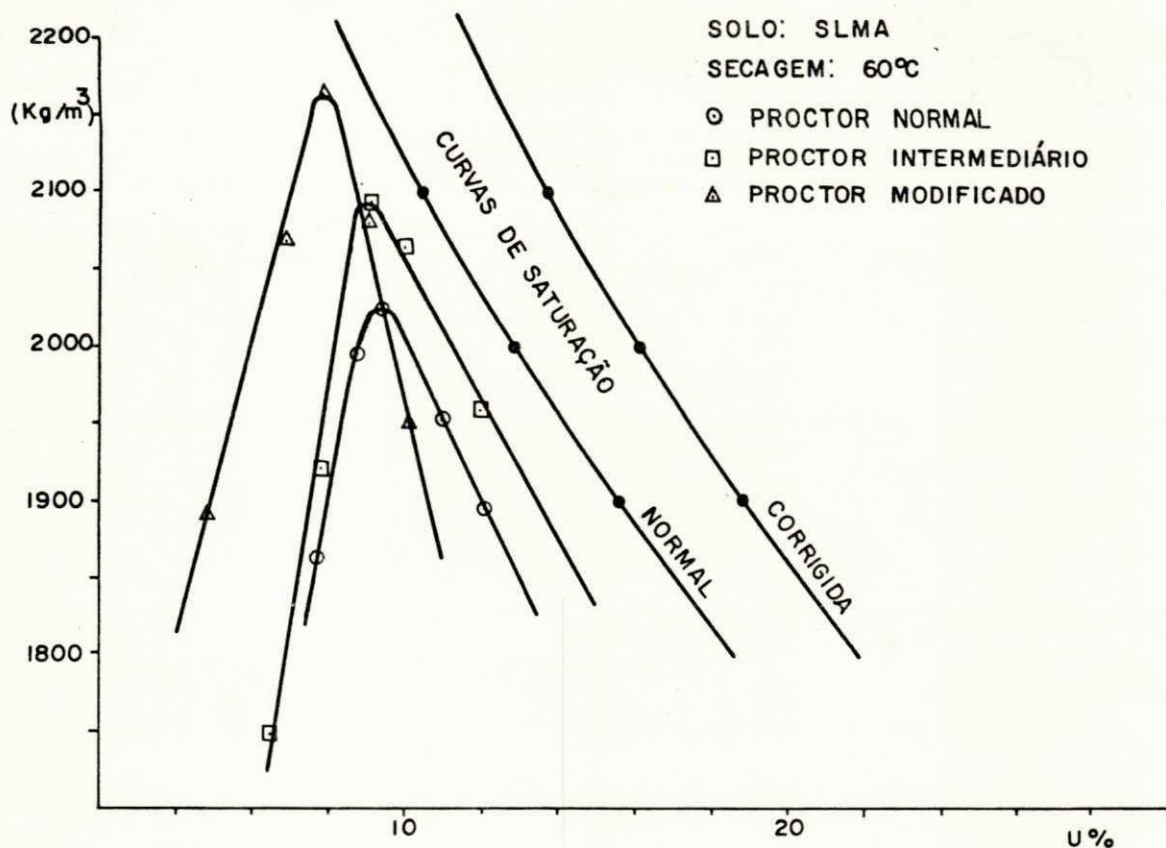


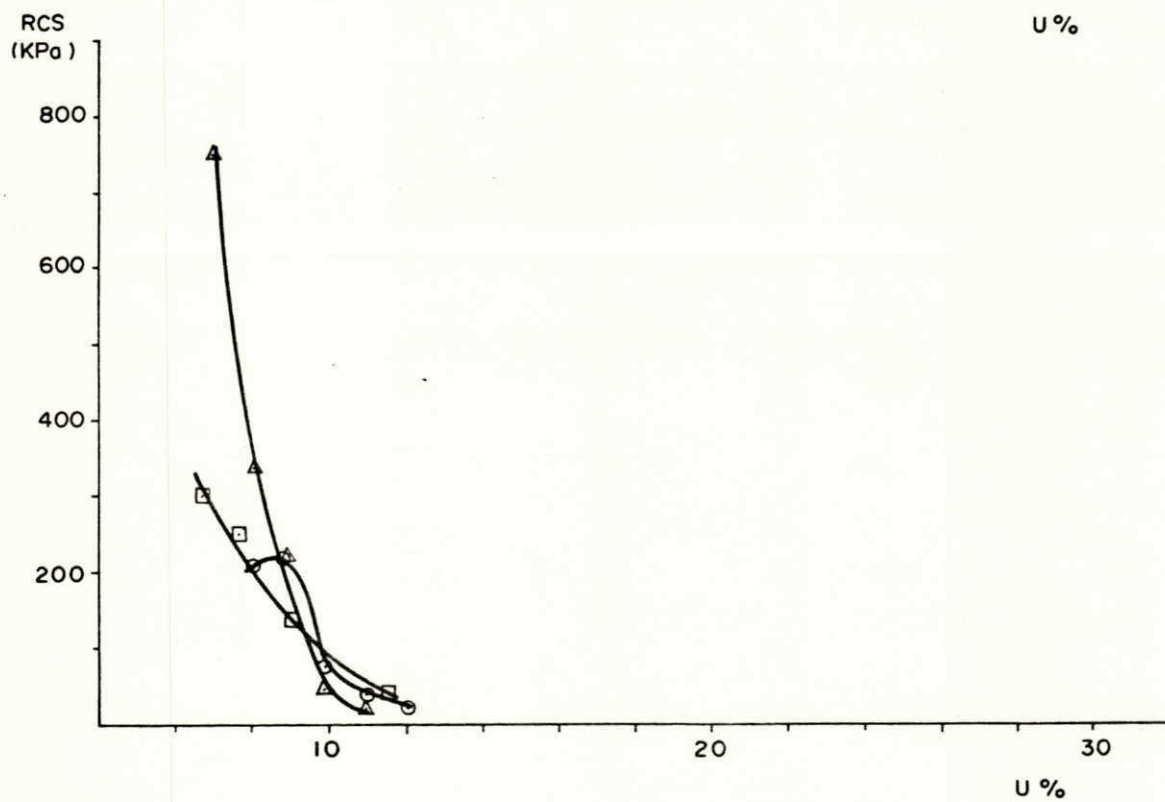
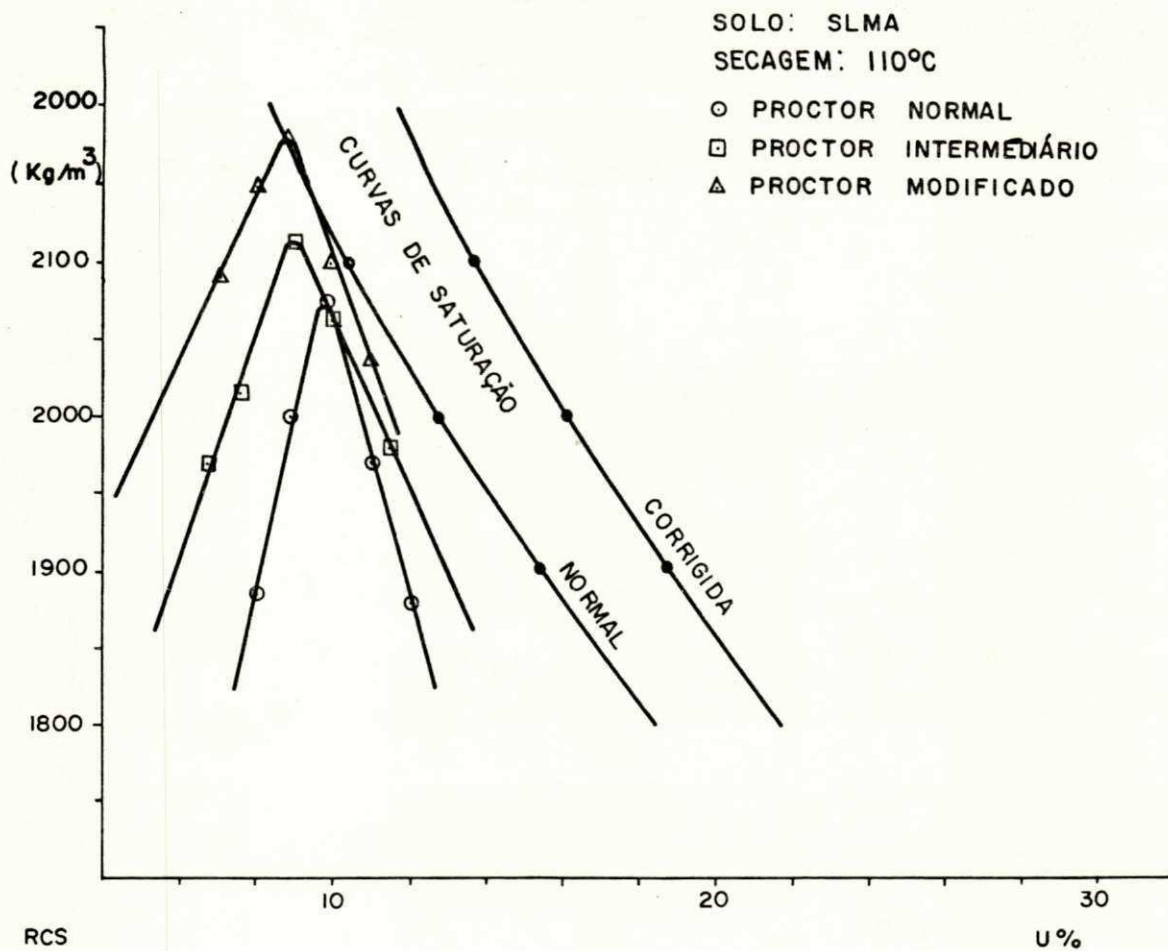


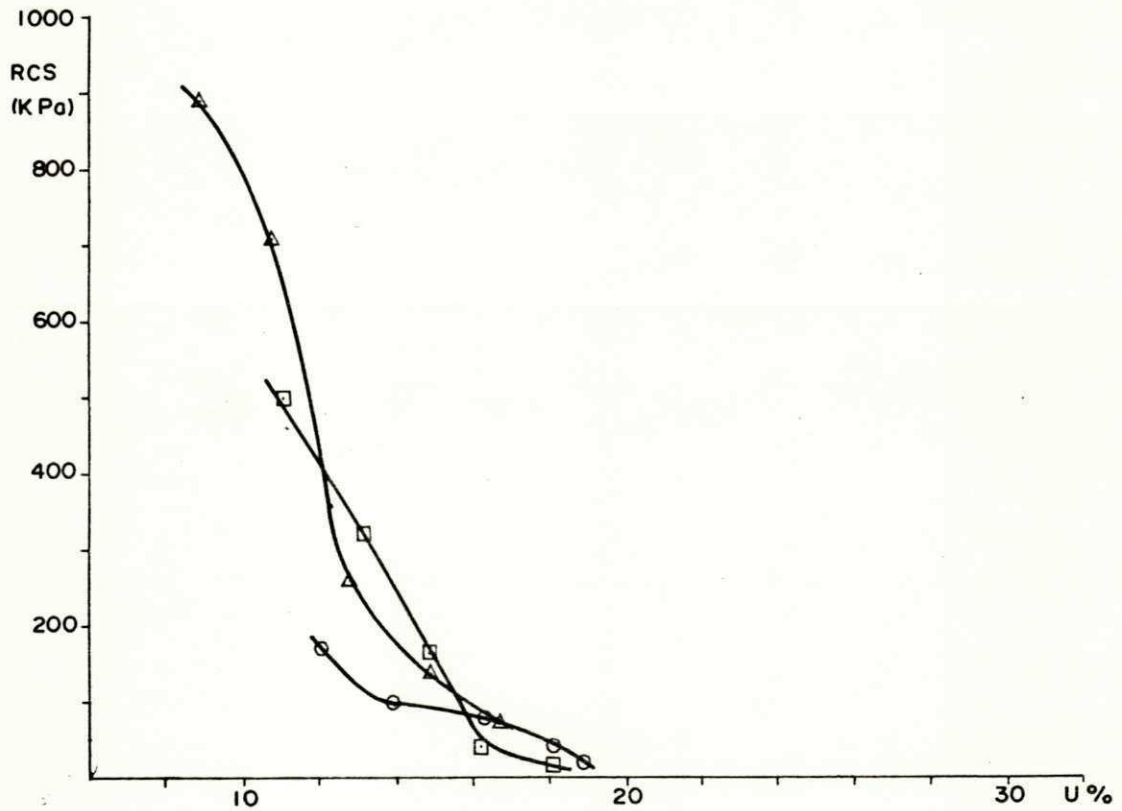
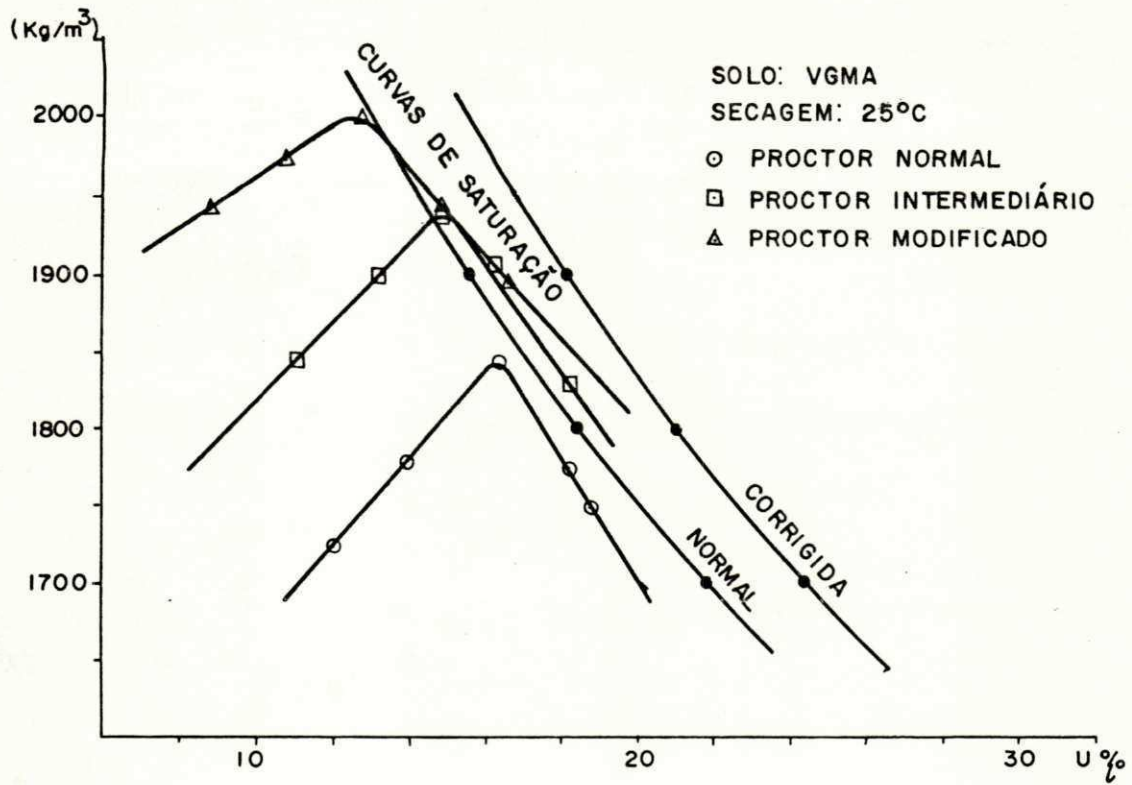


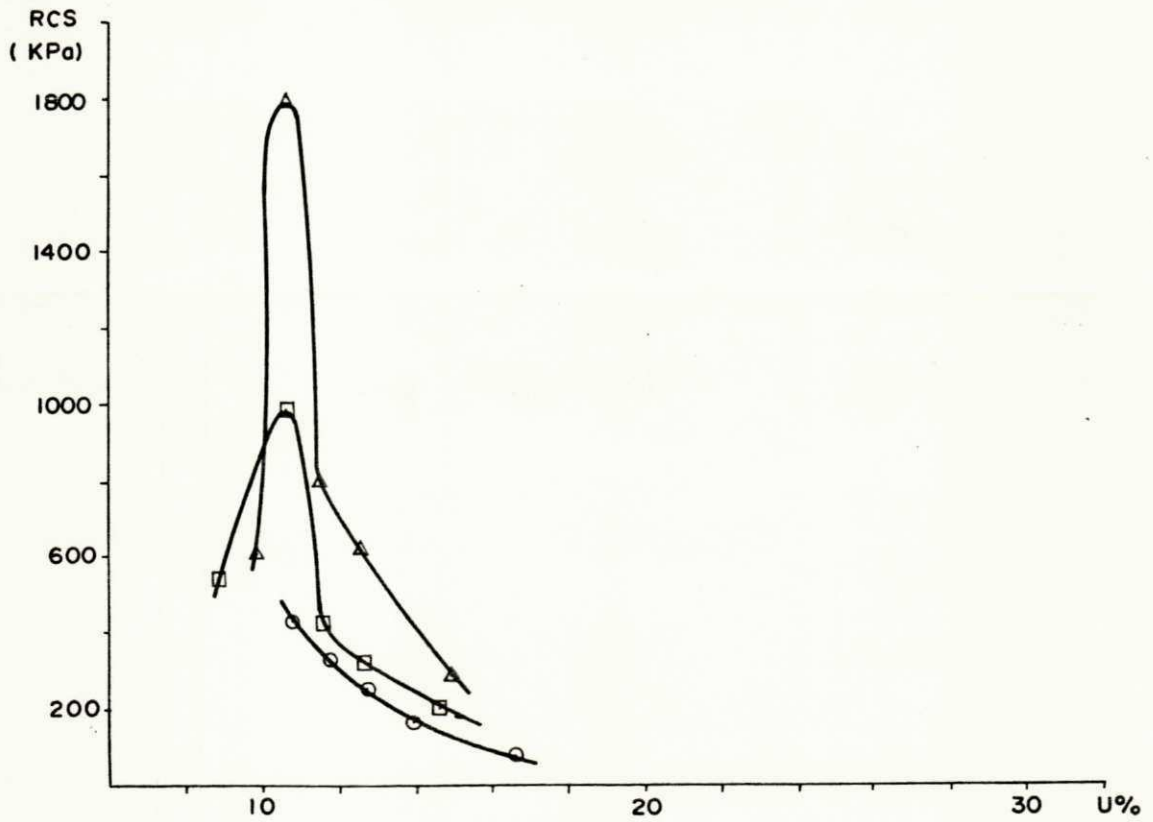
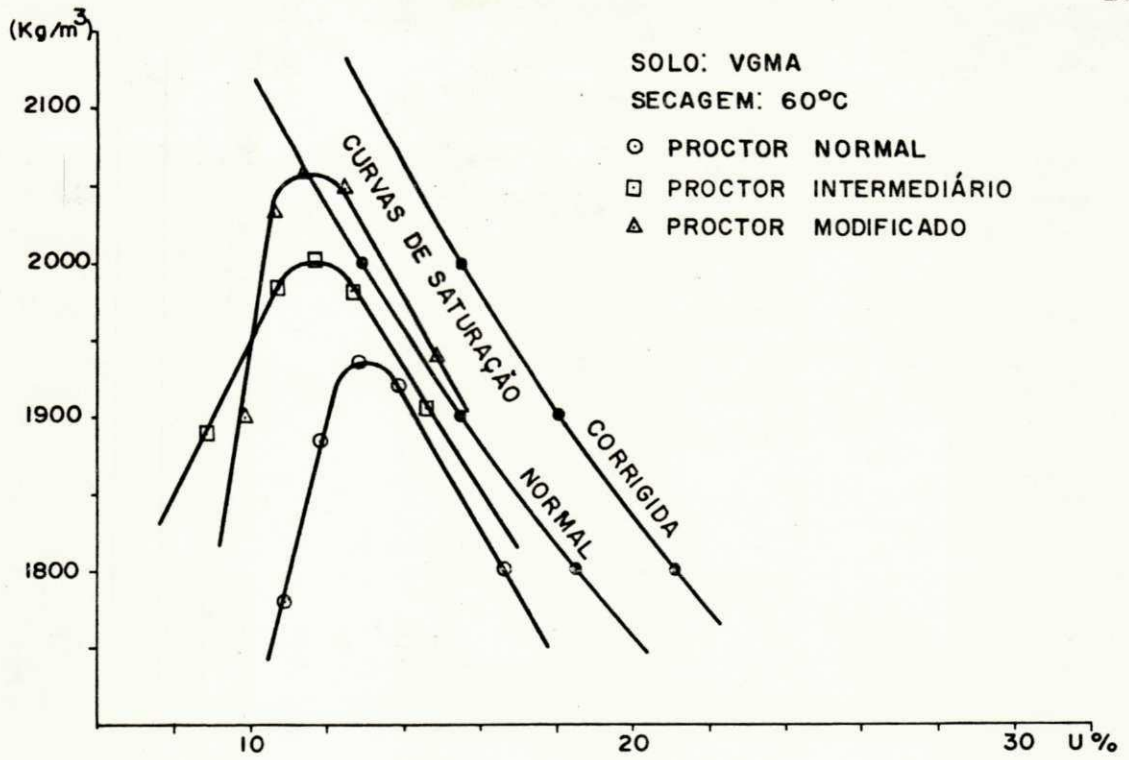




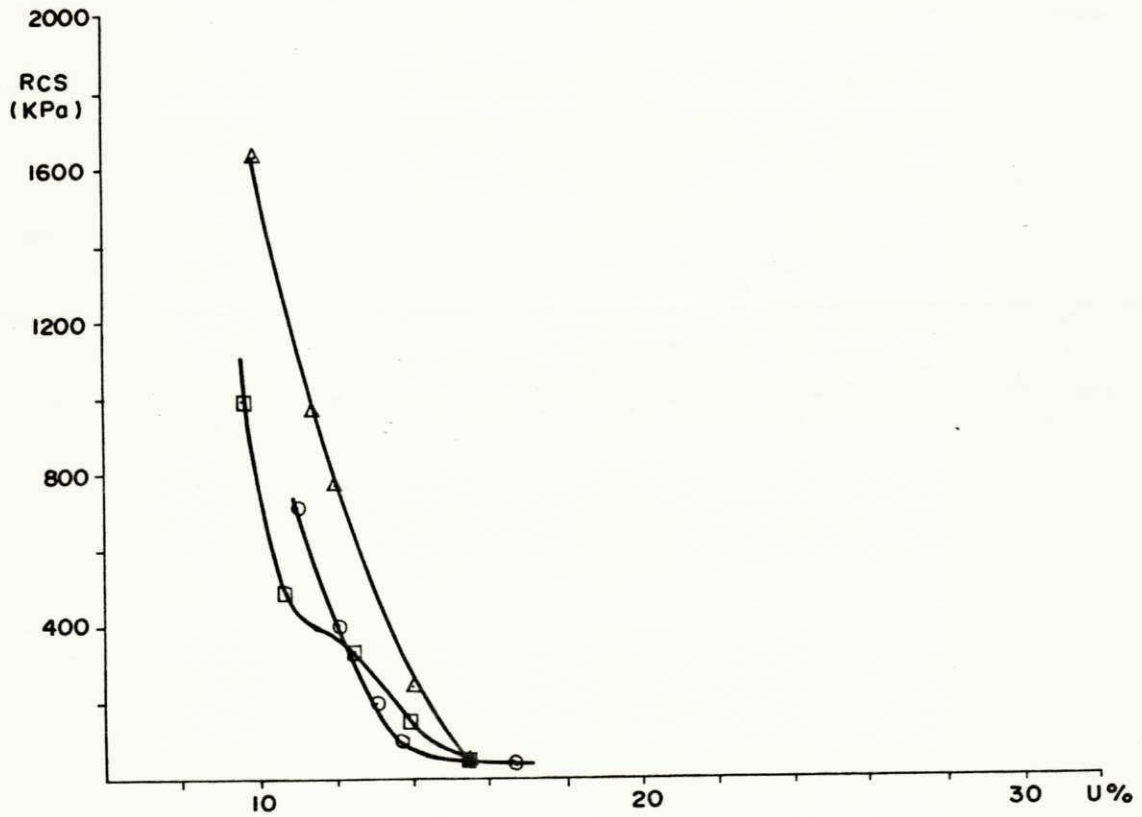
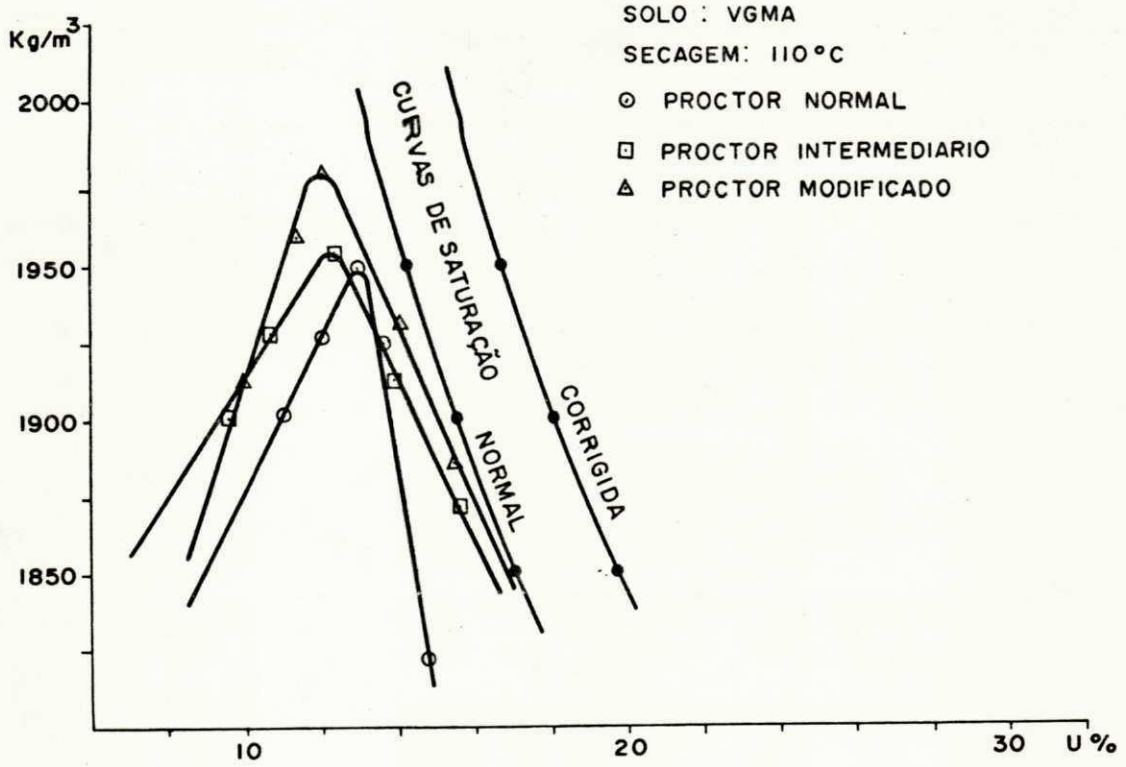






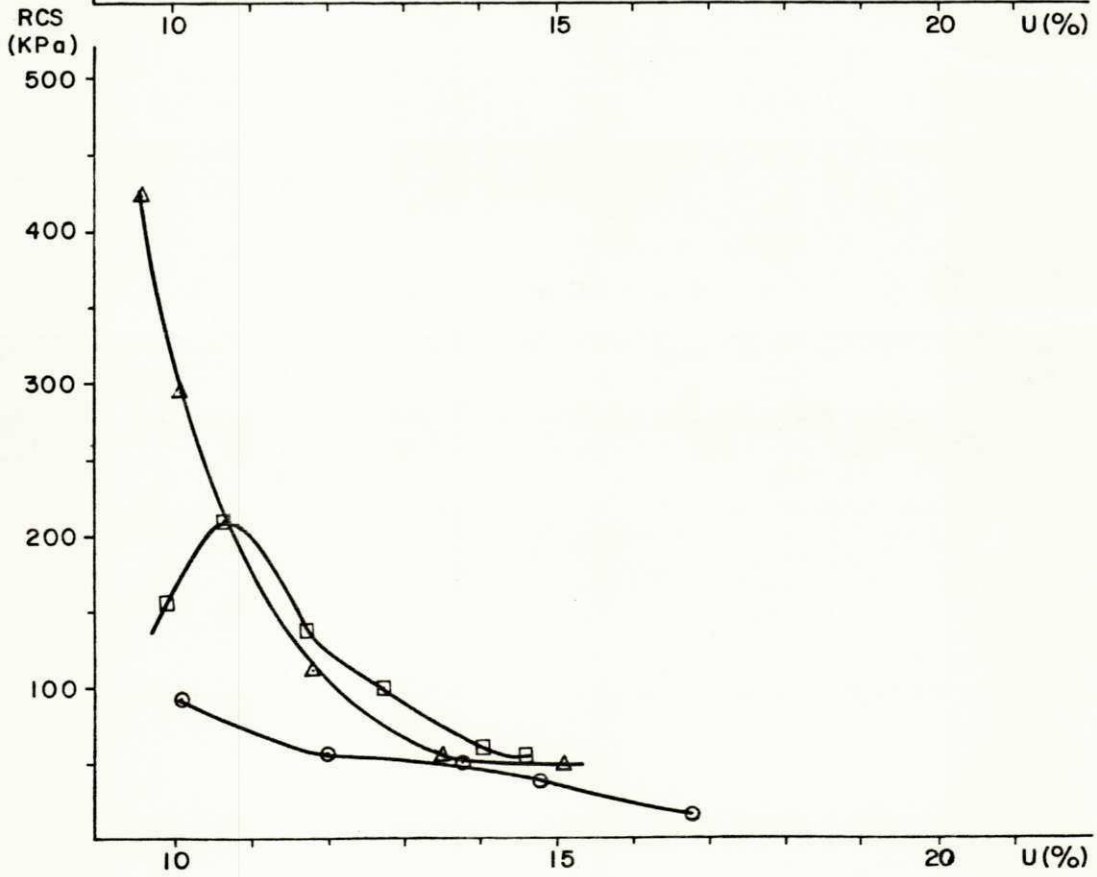
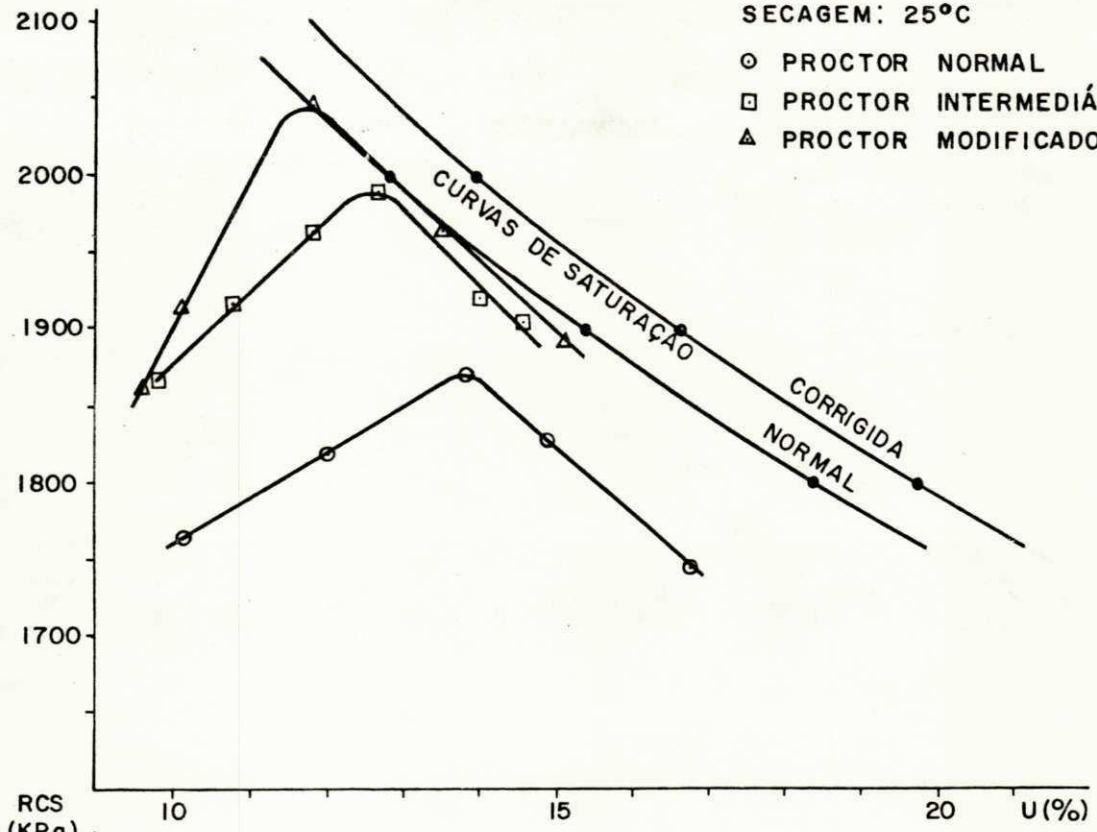




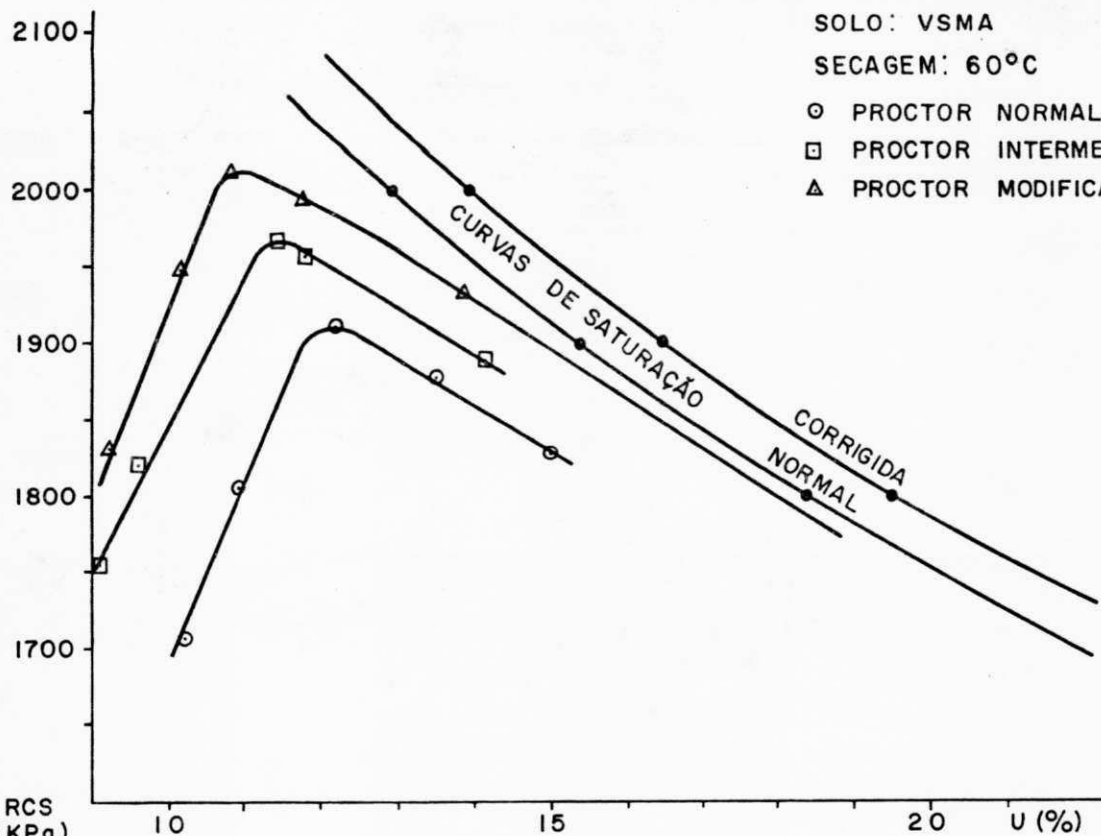


$\gamma_s$   
(kg/m<sup>3</sup>)

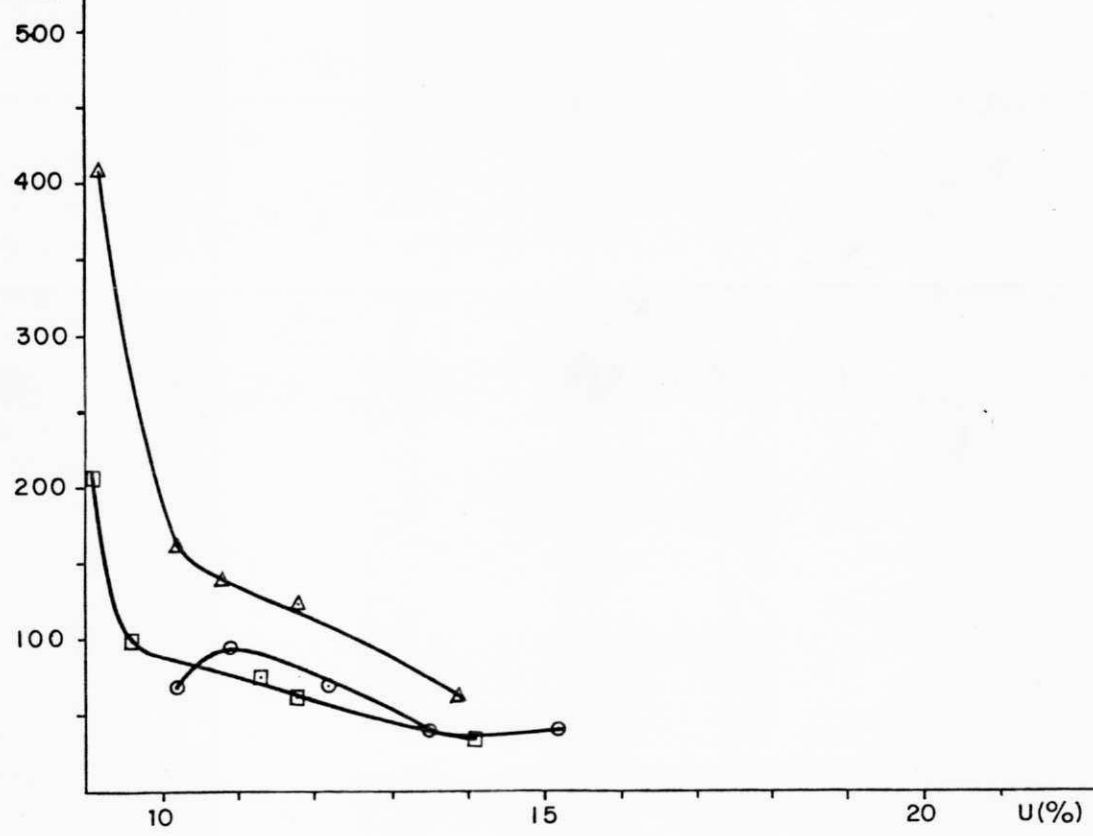
SOLO: VSMA  
 SECAGEM: 25°C  
 ○ PROCTOR NORMAL  
 □ PROCTOR INTERMEDIÁRIO  
 △ PROCTOR MODIFICADO

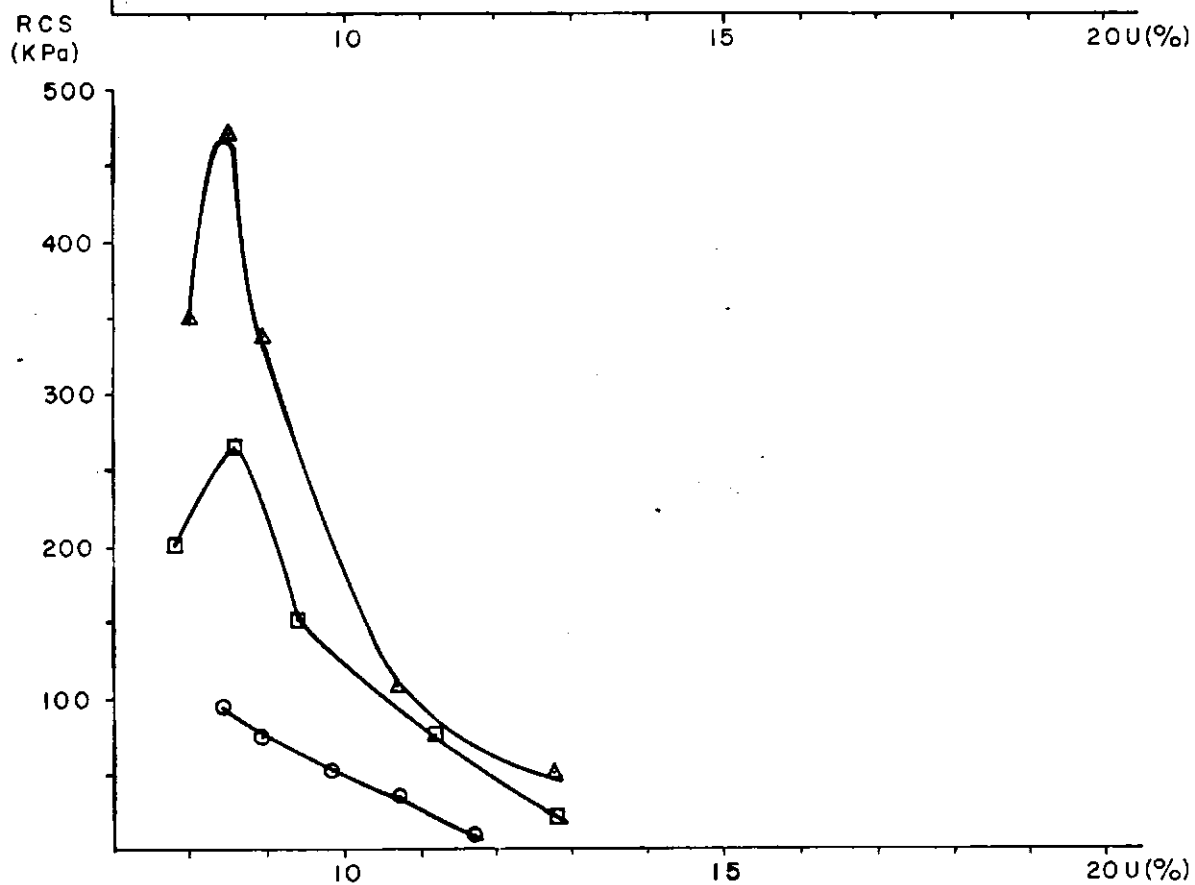
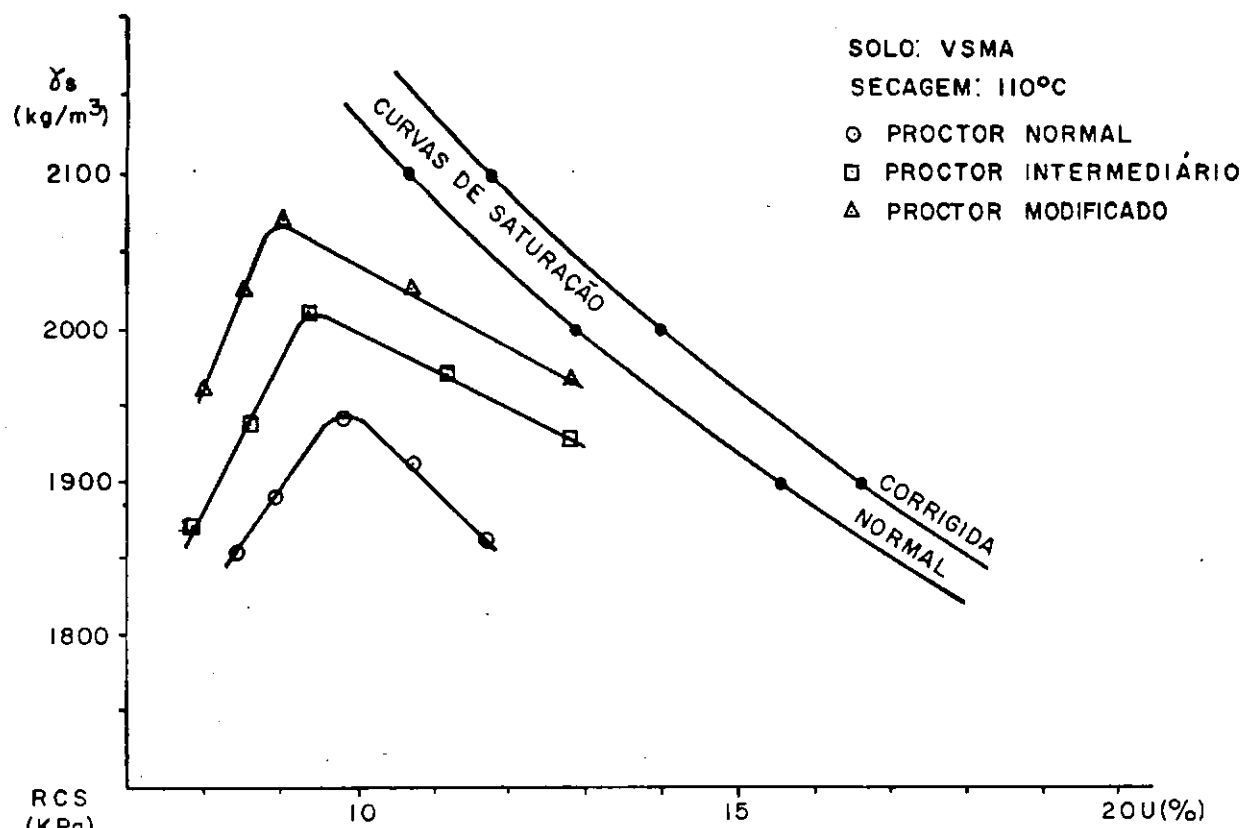


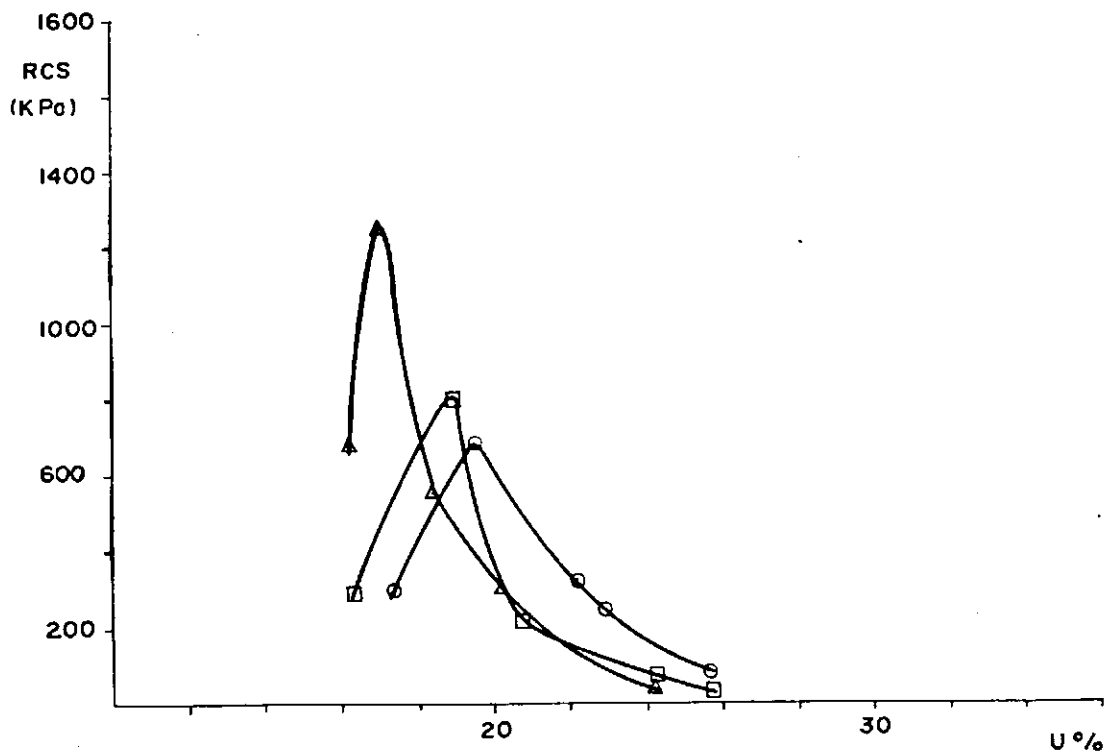
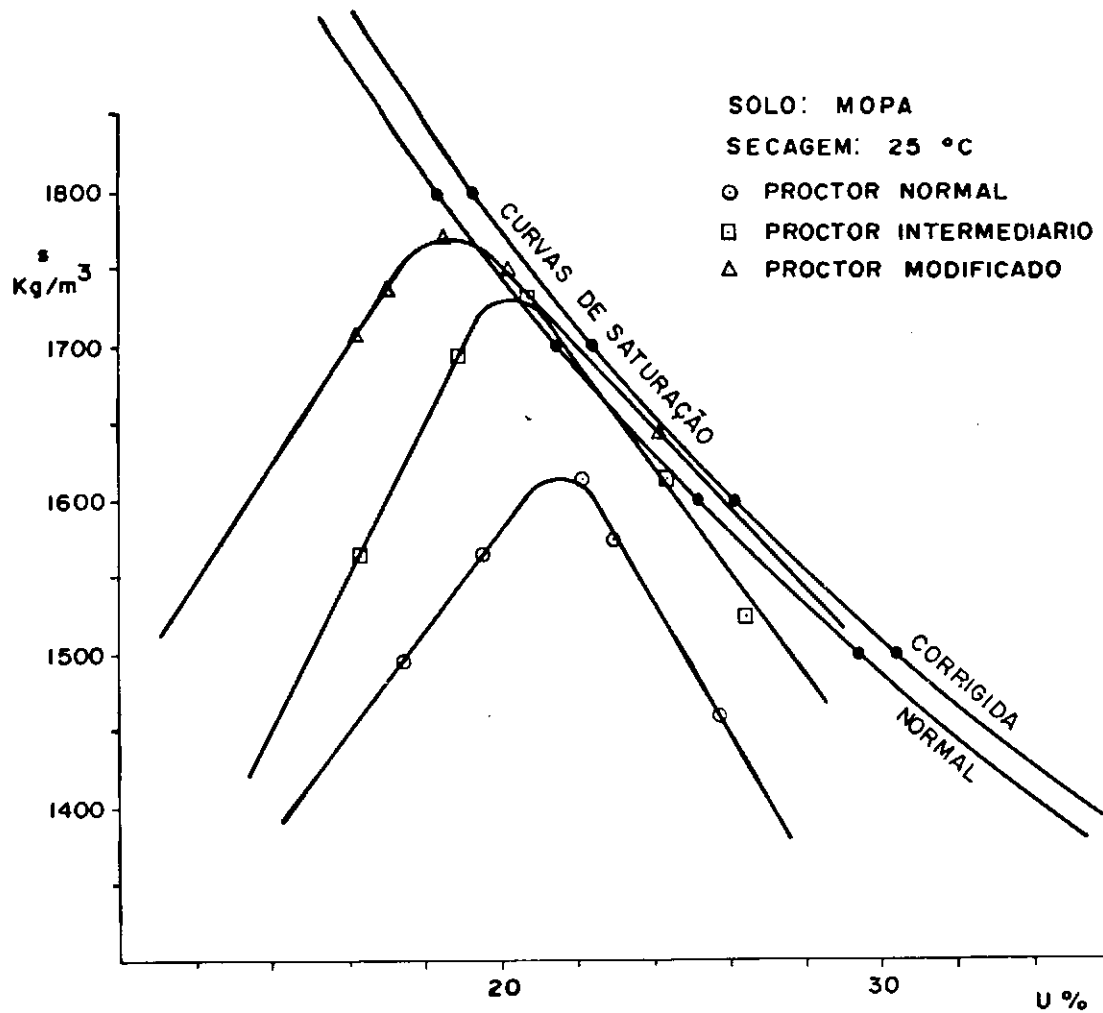
$\gamma_s$   
(kg/m<sup>3</sup>)

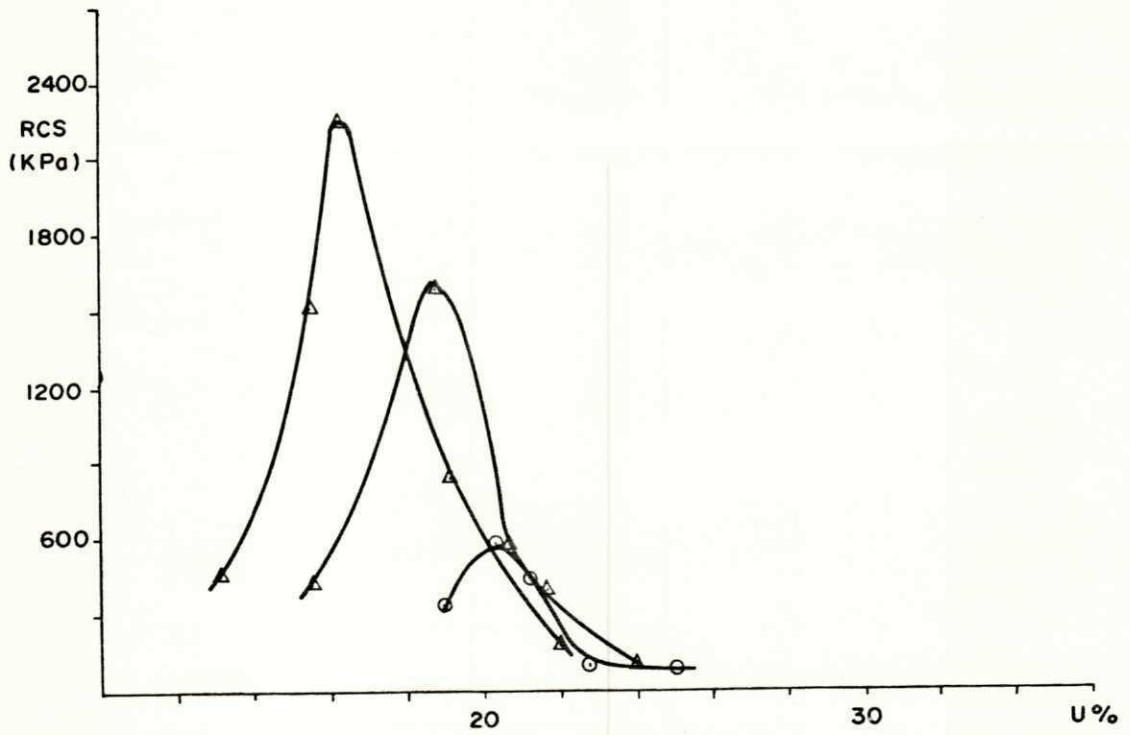
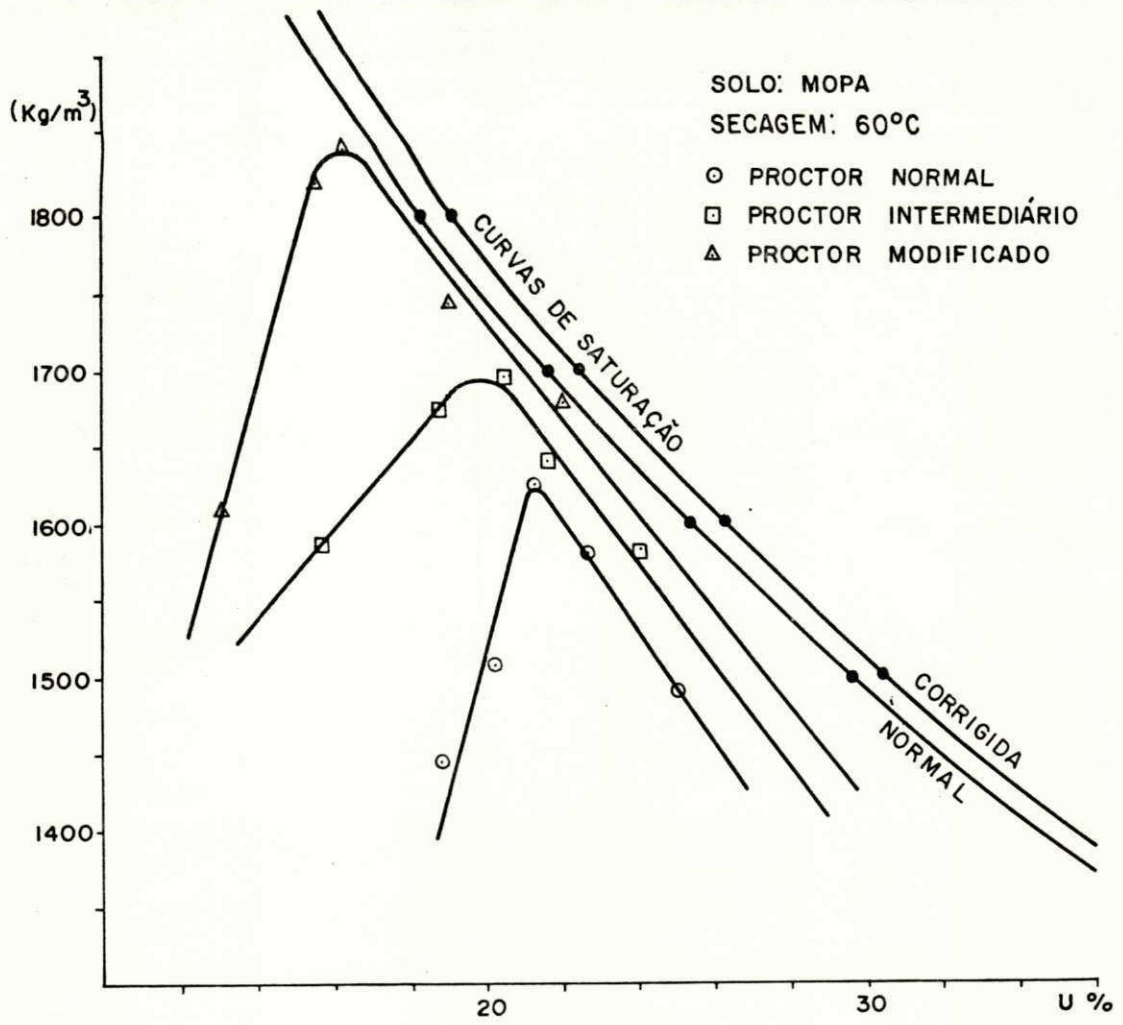


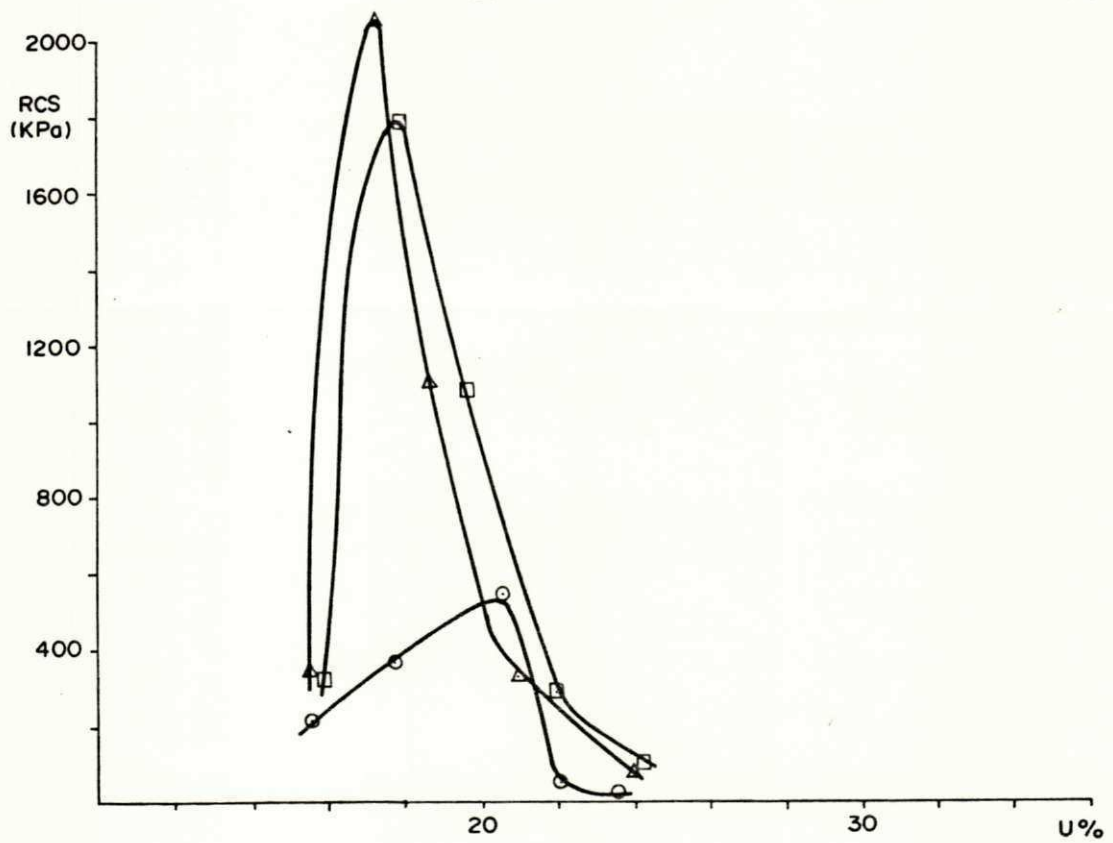
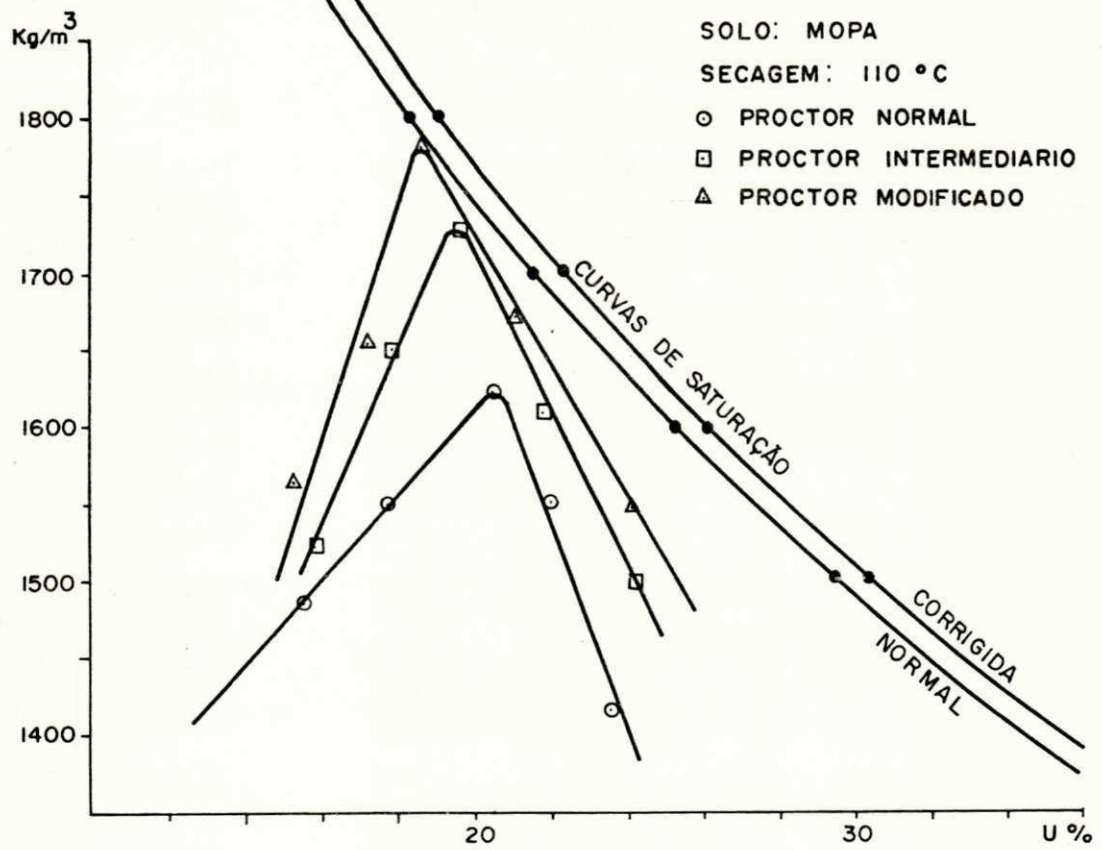
RCS  
(KPa)



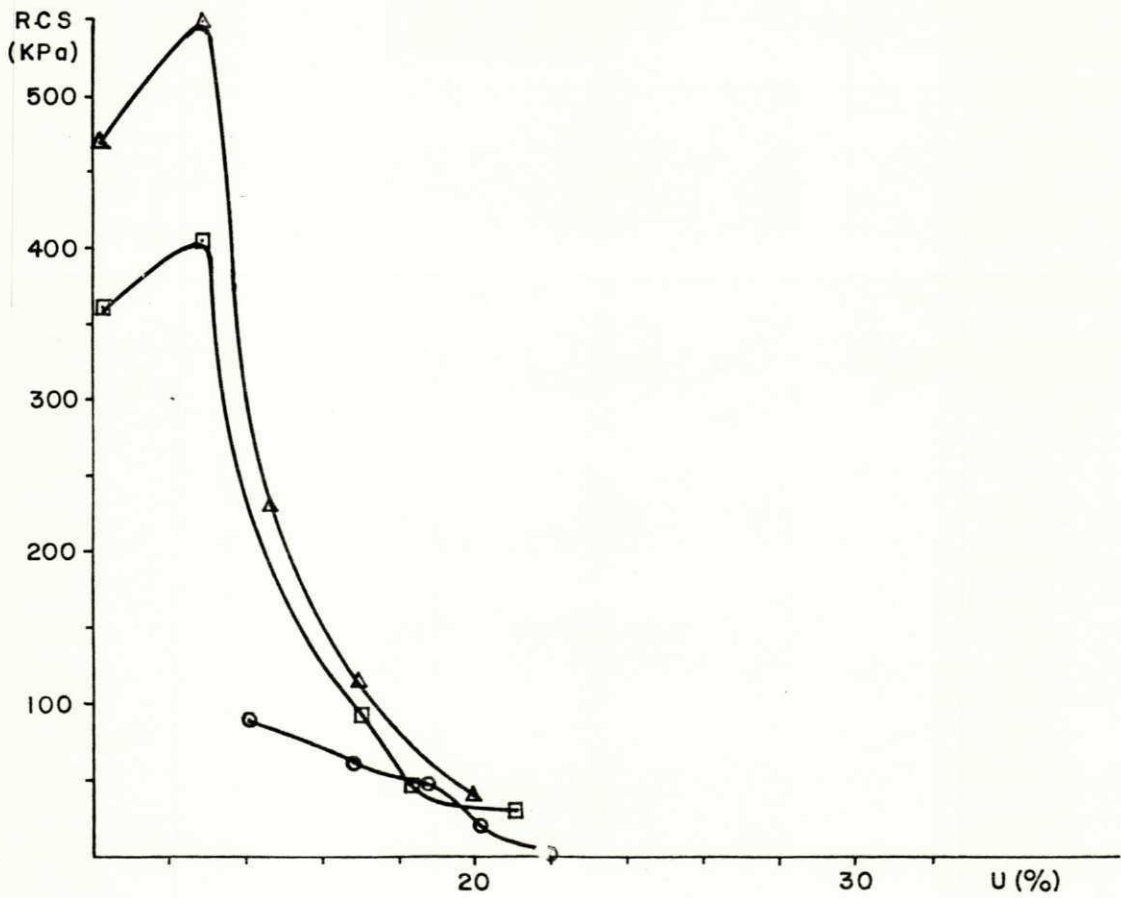
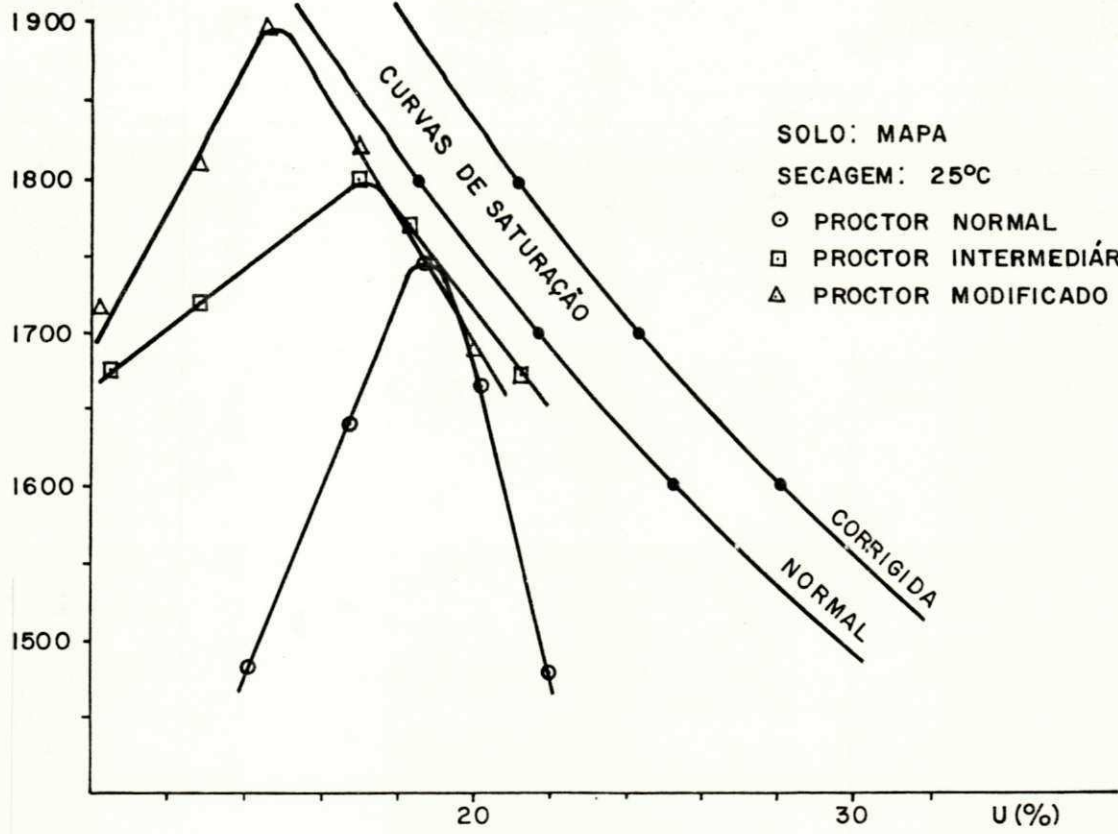




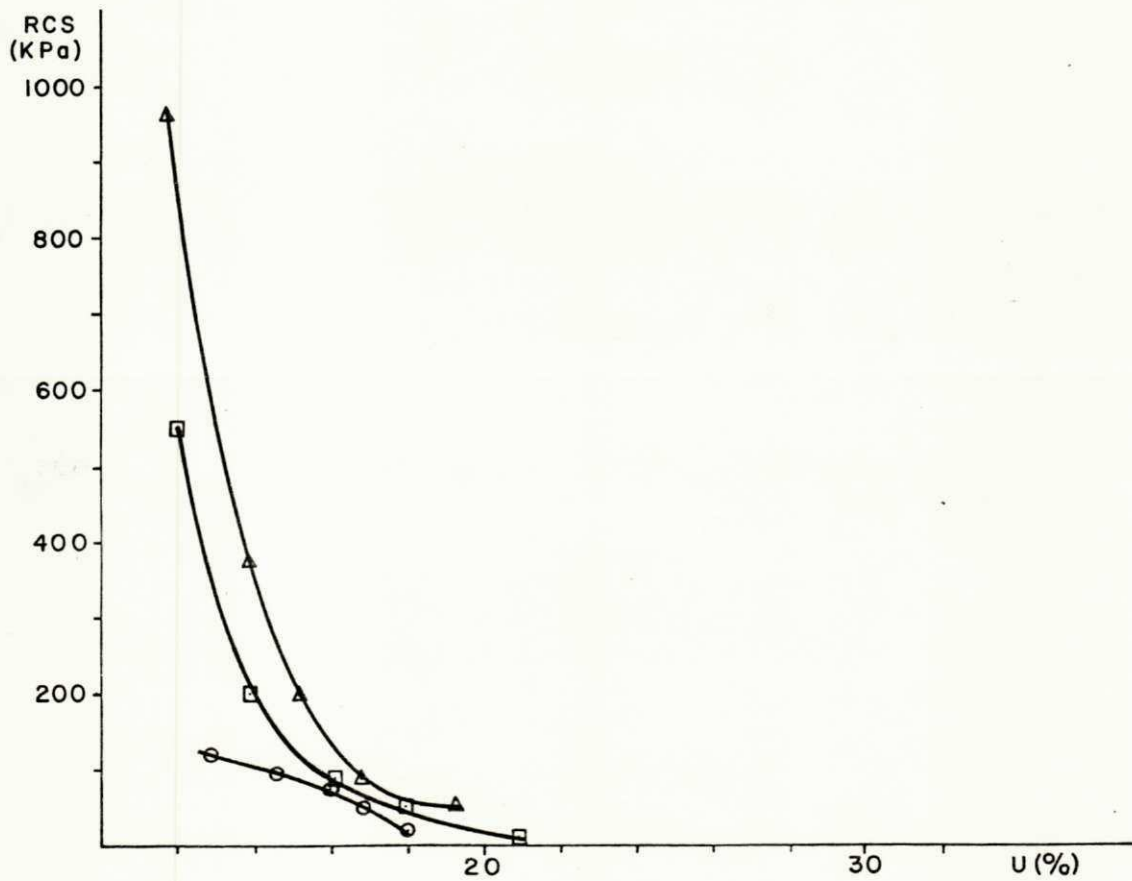
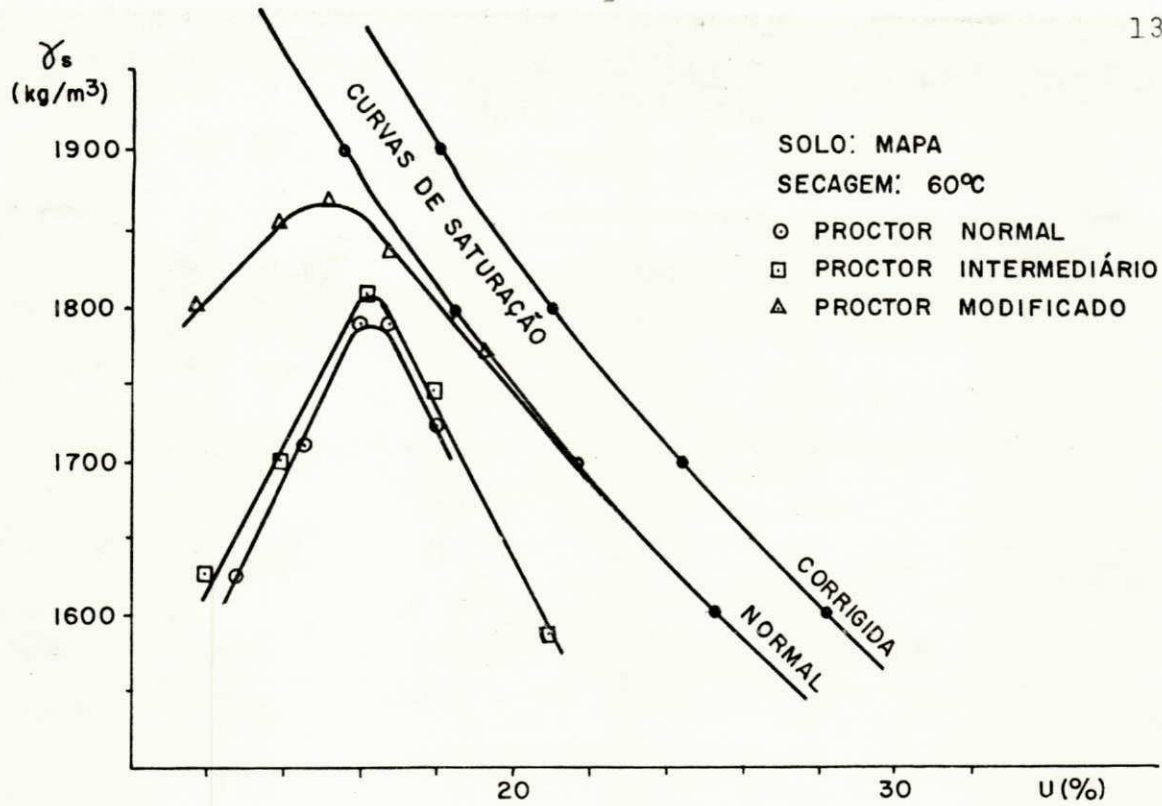


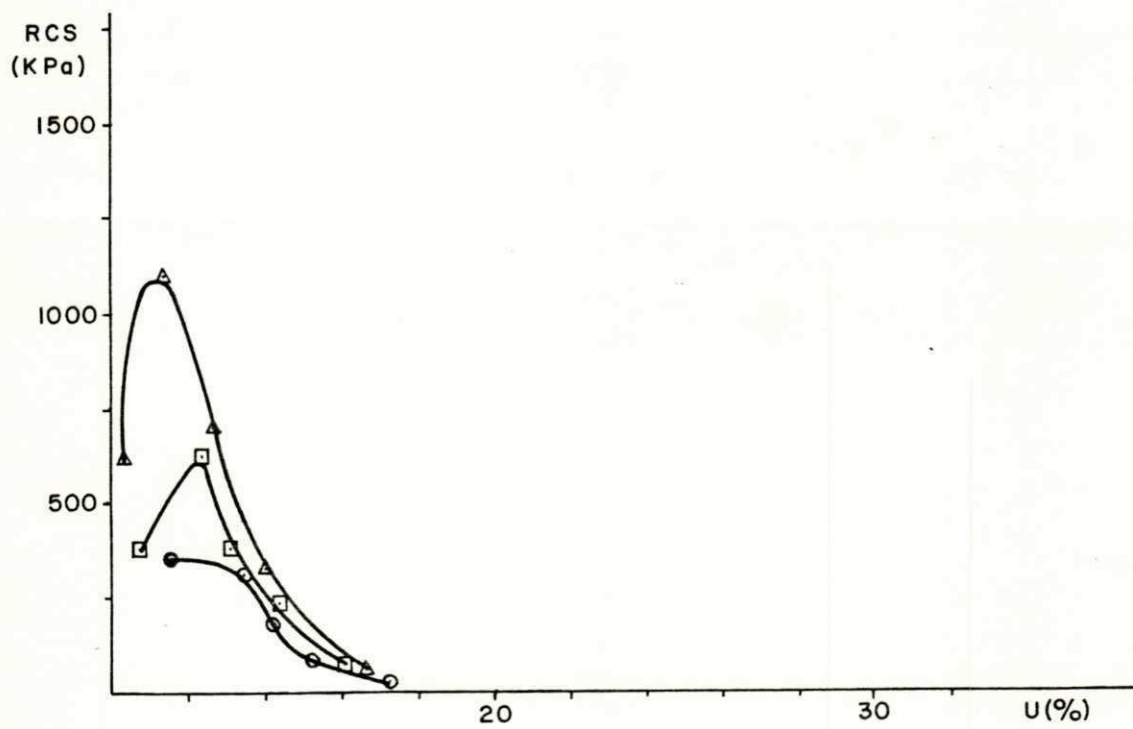
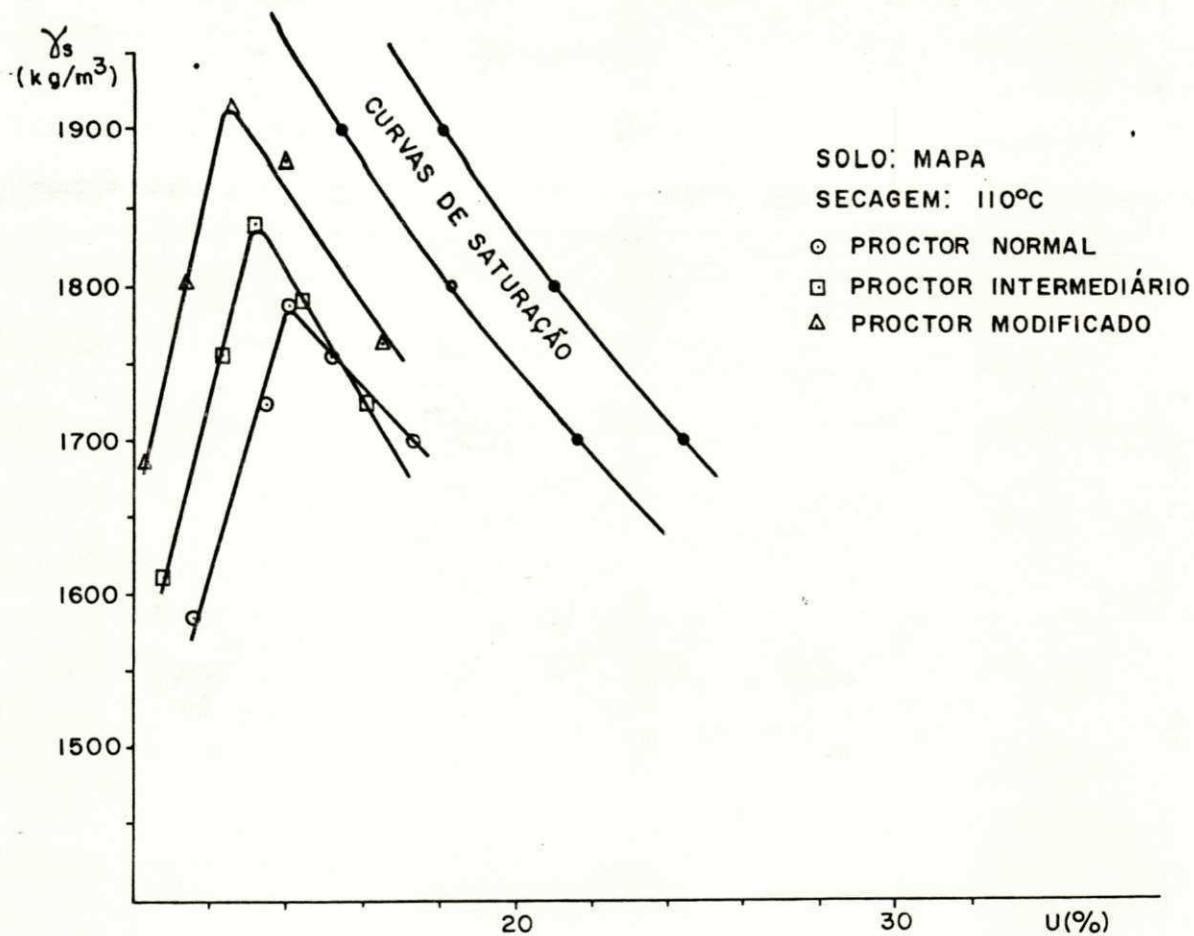


$\gamma_s$   
(kg/m<sup>3</sup>)









APÊNDICE III

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA  
DOS SOLOS ESTUDADOS

C	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
PB	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, ANATASIO	-
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA, ANATASIO	-
PB	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO	GOETITA, HEMATITA, ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA.	QUARTZO, ANATASIO

ela A.III.a - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

SOLO	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
ARPB	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO	GOETITA, ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO	GOETITA
	ARGILA	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
CTPB	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA	QUARTZO, ANATASIO

Tabela A.III.b - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

SOLO	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
TEPB	3/8"	QUARTZO, GOETITA	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA, ANATASIO	-
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO	-
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	ARGILA	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
MOPA	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, ANATASIO	GOETITA
	ARGILA	CAULINITA	GOETITA, QUARTZO

abela A.III.c - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

SOLO	FRAÇÃO	CONSTITUENTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
TEPI	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA	ANATASIO, QUARTZO
CAPI	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, ANATASIO	HEMATITA
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, ANATASIO	GOETITA
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, ANATASIO, GOETITA	-
	ARGILA	CAULINITA, ANATASIO, GOETITA	QUARTZO

Tabela A.III.d - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

CONSTITUINTES MINERALÓGICOS

SOLO	FRAÇÃO	DEFINIDO	FRAÇÃO
MAPA	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, ANATASIO	GOETITA
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, GOETITA, QUARTZO	ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	ANATASIO
BUPI	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA, MICA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, MICA, GOETITA, HEMATITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, MICA, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 200	QUARTZO, GOETITA	CAULINITA
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	ARGILA	CAULINITA	-

abela A.III.e - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.



O	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA, ANATASIO	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA, ANATASIO	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, MICA	GOETITA, ANATASIO
I	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, MICA	GOETITA, ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, ANATASIO, GOETITA	-
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA, HEMATITA	QUARTZO, ANATASIO
	3/8"	QUARTZO, GOETITA	-
	Nº 4	QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 10	QUARTZO, GOETITA	-
I	Nº 40	QUARTZO, GOETITA	-
	Nº 200	QUARTZO, GOETITA	-
	SILTE	QUARTZO, GOETITA	-
	ARGILA	QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	CAULINITA

la A.III.f - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

SOLO	FRAÇÃO	CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
		DEFINIDO	FRACO
PDMA	3/8"	CAULINIRA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	ANATASIO
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA, ANATASIO	-
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA, HEMATITA	QUARTZO
VGMA	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA, HEMATITA	-
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA	GOETITA, ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, HEMATITA, GOETITA	QUARTZO

Tabela A.III.9 - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

		CONSTITUINTES MINERALÓGICOS	
SOLO	FRAÇÃO	DEFINIDO	FRACO
VSMA	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	HEMATITA
	Nº 200	CAULINITA, QUARTZO, GOETITA	-
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	ARGILA	CAULINITA, GOETITA, HEMATITA	QUARTZO, ANATASIO
SLMA	3/8"	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 4	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 10	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	ANATASIO
	Nº 40	CAULINITA, QUARTZO, HEMATITA, GOETITA	-
	Nº 200	QUARTZO	CAULINITA
	SILTE	CAULINITA, QUARTZO, ANATASIO, GOETITA	-
	ARGILA	CAULINITA, GIBSITA, GOETITA	-

Tabela A.III.h - Composição Mineralógica dos Solos Estudados.

ULO	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%MnO	%MgO	%CaO	%K <sub>2</sub> O	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%Na <sub>2</sub> O	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
PPB	27,67	21,06	32,66	2,73	0,00	0,31	0,09	0,07	0,02	0,61	0,10	14,68
TPB	38,73	16,43	32,57	0,92	0,00	0,23	0,08	0,09	0,05	0,17	0,04	14,69
PPB	23,80	16,71	44,40	2,16	0,02	0,42	0,09	0,07	0,07	0,78	0,17	11,31
EPI	45,38	11,23	32,69	1,06	0,01	0,34	0,08	0,44	0,06	0,37	0,08	8,26
RPB	33,76	20,17	29,24	2,33	0,03	0,28	0,08	0,01	0,07	0,41	0,12	13,5
OPA	28,95	20,11	35,82	1,00	0,00	0,26	0,09	0,24	0,03	0,45	0,06	12,99
APA	27,30	18,20	39,54	1,17	0,00	0,25	0,09	0,16	0,03	0,50	0,10	12,66
EPI	47,99	15,61	23,95	0,92	0,00	0,22	0,08	0,17	0,02	0,19	0,04	10,81
IPI	28,98	15,94	42,74	1,72	0,02	0,46	0,09	0,12	0,04	0,59	0,09	9,21
IPI	75,43	11,11	3,23	0,66	0,05	2,67	0,23	4,61	0,05	0,19	0,00	1,77
IUPI	48,24	12,30	30,56	1,10	0,00	0,59	0,09	1,19	0,02	0,37	0,08	5,46
API	26,26	15,38	42,12	1,29	0,03	0,30	0,09	0,03	0,24	0,54	0,12	13,6
SMA	38,16	11,48	38,95	0,82	0,00	0,25	0,10	0,05	0,00	0,37	0,09	9,73
IGMA	34,70	10,87	36,34	0,73	1,37	0,47	0,10	0,29	0,03	0,46	0,06	14,58
ODMA	30,56	18,60	35,91	1,14	0,01	0,29	0,11	0,25	0,07	0,31	0,06	12,69
BLMA	39,85	9,70	38,55	0,72	0,00	0,20	0,09	0,02	0,02	0,33	0,13	10,39

.III.i - Composição Química dos Solos Estudados

Fração: 4,8 mm em Diâmetro Método: Fluorescência em Raios-X.

SOLO	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RELAÇÃO SÍLICA/SESQUIÓXIDOS
JPPB	17,39	15,57	3,52	1,66
CTPB	14,49	12,18	2,82	1,76
SPPB	11,20	10,00	2,78	1,61
TEPB	4,21	3,28	1,39	1,72
ARPB	28,22	10,49	3,34	3,80
MOPA	10,93	9,14	1,38	1,85
MAPA	5,12	3,93	1,34	1,82
TEPI	6,34	5,33	1,24	1,76
PIPI	1,68	1,57	0,94	1,32
GIPI	1,26	0,49	0,15	3,66
BUPI	1,10	0,94	0,27	1,68
CAPI	6,02	5,18	1,38	1,69
VSMA	3,33	3,08	1,15	1,48
VGMA	2,84	2,17	0,36	2,01
PDMA	1,75	1,38	0,44	1,79
SLMA	10,23	9,05	2,45	1,64

Tabela A.III.j - Relação SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para os Solos Estudados.

SOLO	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RELAÇÃO MOLECULAR SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
JPPB	11,6	7,15	1,10	2,51
SPPB	11,6	4,79	3,45	2,82
TEPB	9,58	3,20	4,20	2,77
CTPB	12,2	4,17	0,80	4,43
ARPB	10,3	4,32	0,49	3,78
MOPA	13,86	5,29	0,75	4,08
MAPA	13,91	8,00	1,25	2,69
BUPI	12,36	6,43	0,65	3,07
PIPI	15,17	9,28	0,95	2,61
GIPI	6,50	2,52	0,30	4,08
TEPI	12,87	6,28	0,70	3,25
CAPI	10,90	5,17	1,01	3,19
PDMA	13,43	5,01	1,48	3,83
VGMA	9,55	3,61	0,80	3,94
VSMA	14,34	6,11	0,62	3,75
SLMA	11,34	5,58	1,48	2,95

Tabela A.III.1 - Constituintes Amorfos Presentes nos Solos Estudados.