

ESTUDO DE SOLOS SUBTROPICAIS  
VISANDO O EMPREGO NA CONSTRUÇÃO  
DE HABITAÇÕES DE BAIXO CUSTO

MAURO JUNGLUT

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre  
Março 1993

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção o título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof.a. REGINA DAVISON DIAS (orientador)

D.Sc. pela COPPE -UFRJ



Prof. ADEMAR GILBERTO GROEHS

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof.a. Regina Davison Dias (orientador)

D.Sc. pela COPPE/UFRJ

Prof. Jorge Augusto P. Ceratti

D.Sc. pela COPPE/UFRJ

Prof. Hélio Adão Greven

Dr.- Ing. pela Hannover Universitaet

Prof. Carlos Leite Maciel Filho

D.Sc. pela USP

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se às seguintes pessoas e instituições, indispensáveis à realização deste trabalho de dissertação:

à professora Regina Davison Dias pela orientação e apoio e compreensão, essenciais ao desenvolvimento deste trabalho;

ao professor Jorge Augusto P. Ceratti, pelo estímulo e atenção durante o desenvolvimento da pesquisa;

ao professor Hélio A. Greven, pela valorosa orientação inicial e pela oportunidade concedida de ampliar o campo de aplicação da geotecnia;

aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela atenção e o conhecimento transmitido; bem como aos funcionários pela colaboração;

aos auxiliares de pesquisa, ao Jair e João pela ajuda indispensável;

a todos colegas pela amizade, em especial ao Rinaldo, Glaci, Washington, Marcelo e Cristina, por todos os momentos de alegria e companheirismo;

a CIENTEC, por todo apoio para realização de ensaios, em especial aos laboratoristas;

a toda minha família, em especial a meus pais pelo apoio indispensável durante estes difíceis anos de mestrado

agradece-se ainda, ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela ajuda financeira dada a este trabalho.

À Isabel, Klaus e Luísa,  
com carinho

## SUMÁRIO

Lista de figuras .....	IX
Lista de fotos.....	XII
Lista de tabelas.....	XIII
Resumo.....	XVI
Abstract.....	XVII
I	INTRODUÇÃO..... 1
I.1	Considerações Iniciais..... 1
I.2	O Emprego do Solo na Habitação..... 3
I.3	O Problema de Pesquisa..... 3
I.4	Desenvolvimento do Estudo..... 6
II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 8
II.1	Considerações Gerais..... 8
II.2	Métodos de Construção com Solo.....10
II.3	Propriedades dos Solos Relevantes para Habitação.....15
II.3.1	Propriedades físicas.....16
II.3.1.1	Granulometria.....17
II.3.1.2	Plasticidade.....20
II.3.1.3	Características de compactação.....23
II.3.2	Propriedades Mecânicas.....26
III.3.2.1	Resistência à compressão simples e e absorção.....26
II.3.2.2	Características de expansão e retração.....29
II.3.2.3	Resistência à erosão.....31
II.4	Fatores Envolvidos na Durabilidade da Habitação.....32
II.4.1	Clima e topografia.....33

	II.4.2	Planejamento, projeto e execução.....	34
	II.4.3	Escolha do solo.....	35
III		MÉTODO DE PESQUISA.....	37
	III.1	Introdução.....	37
	III.2	Desenvolvimento do Trabalho de Escritório.....	40
	III.3	Desenvolvimento do Trabalho de Campo.....	41
	III.3.1	Investigação preliminar do local escolhido...41	
	III.3.2	Retirada de amostras.....	42
	III.3.3	Ensaio laboratoriais.....	42
	III.3.3.1	Ensaio de caracterização geotécnica.....	43
	III.3.3.2	Ensaio para determinação de propriedades mecânicas.....	44
IV		ÁREA DE ESTUDO.....	54
	IV.1	Características Gerais da Área de Estudo.....	54
	IV.2	Características Geomorfológicas.....	54
	IV.3	Geologia.....	57
	IV.3.1	Escudo Sul-Riograndense.....	58
	IV.3.2	Formação Estrada Nova.....	59
	IV.3.3	Formação Botucatu.....	59
	IV.3.4	Sedimentos terciários e quaternários.....	60
	IV.4	Pedologia.....	61
	IV.5	Clima.....	63
	IV.6	Vegetação.....	63
V		MATERIAIS EMPREGADOS.....	64
	V.1	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Depósitos de Encosta (PVst) (Alterito Serra de Tapes).....	66
	V.2	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granitos e Gnaisses (PVg,gn1 e PVg,gn2) (Associações graníticas e ortognáissicas).....	67
	V.3	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Pelitos (PVp-1 e PVp-2) (Formação Estrada Nova).....	69
	V.4	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granito Santana (PVg).....	70

V.5	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Arenitos (PVa) (Formação Botucatu).....	71
VI	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	72
VI.1	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Depósitos de Encosta (PVst).....	73
VI.1.1	- Características físicas.....	73
VI.1.2	- Características mecânicas e de absorção.....	75
VI.1.3	- Avaliação qualitativa do bloco compactado...	75
VI.2	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granitos e Gnaisses (PVg,gn1 e PVg,gn2).....	80
VI.2.1	- Características físicas do solo.....	80
VI.2.2	- Características mecânicas e de absorção.....	84
VI.2.3	- Avaliação qualitativa dos blocos compactados.....	87
VI.3	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Pelitos (PVp-1 e PVp-2).....	91
VI.3.1	- Características físicas do solo.....	91
VI.3.2	- Características mecânicas e de absorção.....	93
VI.3.3	- Avaliação qualitativa dos blocos compactados.....	94
VI.4	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granito Santana (PVg).....	98
VI.4.1	- Características físicas do solo.....	98
VI.4.2	- Características mecânicas e de absorção.....	99
VI.4.3	- Avaliação qualitativa do bloco compactado..	103
VI.5	Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Arenitos (PVa).....	103
VI.5.1	- Características físicas do solo.....	103
VI.5.2	- Características mecânicas e de absorção....	106
VI.5.3	- Avaliação qualitativa do bloco compactado..	109
VII	ANÁLISE GERAL.....	111
VII.1	- Características Físicas.....	111

VII.2 - Características Mecânicas e de absorção.....	117
VII.3 - Durabilidade dos Blocos Compactados.....	124
VIII CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	126
VIII.1 Conclusões.....	126
VIII.2 Sugestões.....	128

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

QUADRO GERAL DE RESULTADOS DOS ENSAIOS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura II.1 - Exemplos de sistemas construtivos para moldagem de paredes monolíticas de solo-cimento (CEPED, 1984).....13
- Figura II.2 - Faixa granulométrica para escolha de solos lateríticos para construção (HAMMOND, 1972).....18
- Figura II.3 - Ábaco da classificação textural de solos. A zona hachureada corresponde aos solos mais convenientes à construção (HAMMOND, 1973).....19
- Figura II.4 - Combinação da plasticidade de Casagrande associada ao gráfico de atividade de Skempton para avaliação das características expansivas do solo tropicais e subtropicais finos (VARGAS, 1988).....21
- Figura II.5 - Relação entre resistência à compressão simples e umidade de ruptura da amostra para o caso de argilas arenosas em Gana, África (HAMMOND, 1972).....27
- Figura III.1 - Ensaio de erosão - aparelho simulador da deflecção das gotas de chuva contra a parede da habitação (VAIDYANATHAN & RAMASWAMY, 1978).....48
- Figura IV.1 - Representação esquemática da localização das jazidas de solo estudadas dentro das respectivas unidades geotécnicas na área de

Figura VI.1	-	Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVst).....	77
Figura VI.2	-	Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVst).....	77
Figura VI.3	-	Plasticidade dos solos representada no gráfico de classificação de Casagrande.....	78
Figura VI.4	-	Relação entre resistência à compressão simples e unidade de ruptura para todos os solos.....	78
Figura VI.5	-	Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	82
Figura VI.6	-	Curvas de compactação (Proctor Normal) (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	82
Figura VI.7	-	Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidades PVp-1 PVp-2).....	96
Figura VI.8	-	Curvas de compactação (Proctor Normal) (unidades PVp-1 e PVp-2).....	96
Figura VI.9	-	Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVg).....	101
Figura VI.10	-	Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVg).....	101
Figura VI.11	-	Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVa).....	108

Figura VI.12 - Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVa).....	108
Figura VII.1 - Curvas granulométricas dos solos estudados e faixa granulométrica de solos lateríticos recomendados à construção (HAMMOND, 1972).....	113
Figura VII.2 - Ábaco da classificação textural de solos (HAMMOND, 1973). Classificação dos solos estudados.....	113
Figura VII.3 - Apresentação dos resultados de plasticidade no gráfico de Casagrande associado com o gráfico de atividade coloidal de Skempton.....	115
Figura VII.4 - Relação linear entre limite de liquidez e teor de argila dos solos estudados.....	115
Figura VII.5 - Curvas de compactação (Proctor Normal) de todos solos estudados.....	118
Figura VII.6 - Relações entre peso específico aparente seco máximo e características granulométricas do solo:.....	118
a. teor de argila do solo	
b. percentagem passante na peneira 200	
Figura VII.7 - Relação entre umidade ótima de compactação e percentagem passante na peneira 200.....	119
Figura VII.8 - Relação entre resistência à compressão simples e umidade de ruptura do solo.....	119
Figura VII.9 - Relações entre absorção e características granulométricas dos solos:.....	123
a. percentagem passante na peneira 200 (com	

defloculante)

b. porcentagem passante na peneira 200 (sem defloculante)

c. teor de argila dos solos

#### LISTA DE FOTOS

Foto III.1 - Ensaio de absorção por capilaridade.....	49
Foto III.2 - Corpos-de-prova sem proteção externa e com reboco, preparados para o ensaio de erosão.....	49
Foto III.3 - Forma de moldagem dos blocos compactados.....	53
Foto VI.1 - Situação do bloco compactado após a primeira chuva de maior intensidade (unidade PVst).....	79
Foto VI.2 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVst).....	79
Foto VI.3 - Fissuras no reboco do corpo-de-prova preparado para o ensaio de erosão.....	89
Foto VI.4 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg,gn1).....	89
Foto VI.5 - Situação do bloco compactado após a primeira chuva de maior intensidade (unidade PVg,gn2).....	90
Foto VI.6 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg,gn2).....	90
Foto VI.7 - Situação do bloco compactado após 12 meses	

	aproximadamente de exposição ao tempo (unidade PVp-1).....	97
Foto VI.8	- Situação do bloco compactado após 12 meses aproximadamente de exposição ao tempo (unidade PVp-2).....	97
Foto VI.9	- Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg).....	104
Foto VI.10	- Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVa).....	110

#### LISTA DE TABELAS

Tabela II.1	- Medidas de prevenção recomendadas para o aumento da durabilidade da habitação construída com solo de acordo com o tipo de clima (reprodução parcial - HAMMOND, 1973).....	36
Tabela V.1	- Descrição geral das condições atuais e características dos diversos locais visitados e eventualmente selecionados para a pesquisa.....	65
Tabela VI.1	- Resultados da análise granulométrica com e sem defloculante (unidade PVst).....	76
Tabela VI.2	- Resultados de limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVst).....	76
Tabela VI.3	- Classificação do solo segundo sistemas	

	tradicionais (unidade PVst).....	76
Tabela VI.4	- Resultados de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade (unidade PVst).....	77
Tabela VI.5	- Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	81
Tabela VI.6	- Resultados de limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	81
Tabela VI.7	- Classificação do solo segundo sistemas tradicionais (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	81
Tabela VI.8	- Resultados de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	86
Tabela VI.9	- Resultados do ensaio de erosão (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2).....	86
Tabela VI.10	- Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante (unidades PVp-1 e PVp-2).....	95
Tabela VI.11	- Resultados de limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidades PVp-1 e PVp-2).....	95
Tabela VI.12	- Classificação do solo segundo sistemas tradicionais (unidades PVp-1 e PVp-2).....	95
Tabela VI.13	- Resultados de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade (unidades PVp-1 e PVp-2).....	95
Tabela VI.14	- Resultado da análise granulométrica com e	

	sem defloculante (unidade PVg).....	100
Tabela VI.15	- Resultados de limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVg).....	100
Tabela VI.16	- Classificação do solo segundo sistemas tradicionais (unidade PVg).....	100
Tabela VI.17	- Resultados de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade (unidade PVg).....	100
Tabela VI.18	- Resultados do ensaio de erosão (unidade PVg).....	104
Tabela VI.19	- Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante (unidade PVa).....	107
Tabela VI.20	- Resultados de limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVa).....	107
Tabela VI.21	- Classificação do solo segundo sistemas tradicionais (unidade PVa).....	107
Tabela VI.22	- Resultados de resistência à compressão simples e absorção por capilaridade (unidade PVa).....	107

## RESUMO

Esta pesquisa visa o estudo de características físicas e mecânicas de solos subtropicais, para aplicação na construção de habitações de baixo custo, abordando-se principalmente a técnica de construção com paredes monolíticas compactadas.

A opção pelo estudo do solo, realizado sem a adição de estabilizantes físico-químicos, baseia-se no fato de que a mesma nem sempre é necessária, embora seja vital em alguns casos.

Através da revisão de literatura, são ressaltadas as propriedades dos solos consideradas importantes para construção deste tipo de moradia, bem como os fatores envolvidos na durabilidade da mesma.

Foi realizado o estudo de jazidas de solos, pertencentes a algumas das unidades geotécnicas da região metropolitana de Porto Alegre, levando-se sempre em conta este tipo de aplicação. Para tanto, são realizados ensaios laboratoriais de caracterização física dos solos, bem como de comportamento mecânico, testando-se resistência à compressão simples e à erosão, e absorção por capilaridade. Além disso, é feita a análise qualitativa da durabilidade de blocos compactados frente a exposição ao tempo. Estes blocos visam simular a condição de pequenos segmentos de paredes.

Os resultados obtidos são analisados e comparados com as recomendações da prática deste tipo de construção, avaliando-se a validade das mesmas para o caso de solos tropicais e subtropicais.

## A B S T R A C T

The aim of this work is present the physical and mechanical properties of tropical soils when used as earth rammed walls in low cost houses constructions.

According to the literature review the normal techniques construction did not use stabilizing procedures to the soil materials and this was assumed for this work.

The soils properties and the durability aspects of earth walls building are discussed. The soils studied were collected in some area of Porto Alegre town.

Laboratory tests for determining physical and mechanical properties of soil were performed. There were obtained results from compressive strength, capilarity absorption and erosion resistance.

Rammed blocks reproducing walls pieces were constructed and subjected to weather conditions. It was observed the prototypes performance.

The results were analysed and compared with practical recommendations. It was discussed the aplicability of this recommendations for tropical soil case.

## I - INTRODUÇÃO

### I.1 - Considerações Iniciais

Inúmeras são as pesquisas no Brasil e no exterior voltadas ao estudo de materiais alternativos para aplicação na construção civil. Muitas destas pesquisas estão voltadas exclusivamente para o desempenho tecnológico do material utilizado, sejam matérias-prima naturais ou produzidas artificialmente. Existem ainda aquelas pesquisas que têm como objetivo principal a diminuição de custos. Porém, atualmente, o que está em discussão, além da viabilidade técnica e econômica dos materiais estudados, é a questão ambiental relativa a produção e/ou exploração destes materiais.

É dentro deste contexto, técnico-econômico-ambiental, que está inserido o presente estudo. O material em questão (solos subtropicais), possui íntima relação com o problema ambiental, uma vez que a sua exploração e utilização implica por um lado, na possível degradação do meio-ambiente, mas em contrapartida possibilita a sua preservação, por não necessitar dos grandes processos de industrialização. Desta forma, procurou-se estudar tecnicamente a viabilidade de emprego deste material na construção de habitações de baixo custo. Foram, para isso, realizados ensaios laboratoriais, de modo a verificar seu desempenho tecnológico.

Por outro lado, baseado em metodologias de mapeamento geotécnico e de escolha de jazidas apropriadas, objetivou-se primeiramente localizar-se pontos passíveis de exploração futura na região metropolitana de Porto Alegre. Ou seja, locais com condições prévias favoráveis em relação a qualidade e quantidade de material disponível. Nesta primeira etapa, foram consideradas

questões relativas a acesso ao local, existência ou não de zonas de proteção ambiental, proximidade de população de baixa renda, entre outras.

O item relativo às características físicas do material selecionado num primeiro instante para o estudo, procurou valer-se inicialmente de alguns critérios da literatura existente na área, o que mostrou-se no decorrer da pesquisa bastante problemático e insatisfatório, devido às peculiaridades dos solos estudados e a não consideração das mesmas pela maior parte dos pesquisadores na área. Optou-se então, pela avaliação dos solos relacionados a algumas das diferentes unidades geotécnicas da região, de modo semelhante ao que se faz para o mapeamento geotécnico, porém, neste caso, com um objetivo bem específico, ou seja, a aplicação na construção de habitações de baixo custo.

A decisão relativa ao estudo de solos subtropicais sem estabilizante, visando o emprego em habitações de baixo custo, pode parecer para alguns um anacronismo ou um retrocesso. Existem ainda, no outro extremo, aqueles que crêem que seja esta uma solução milagrosa para o problema de moradia para população de baixa renda. Na verdade, não é possível alimentar a ilusão de obtermos materiais milagrosos, que são ao mesmo tempo baratos, tecnicamente viáveis e que não causem nenhum problema ao meio-ambiente. O que existe na realidade, é a possibilidade de aplicação de determinados materiais, em certos casos, e com possíveis condições de compatibilização de todas estas variáveis.

Este trabalho, em específico, procurou seguir basicamente a filosofia alemã de construção com solos, ou pelo menos, de determinados segmentos de pesquisa neste país, que optam pelo estudo do solo para construção de habitações sem o uso de estabilizantes (entenda-se aqui, o uso de aditivos sintéticos). Isso não significa uma restrição ao uso da estabilização química, entendendo-se ser esta muitas vezes necessária, em especial no caso do nosso clima, bastante rigoroso quanto a questão do intemperismo.

## I.2 - O Emprego do Solo na Habitação

Tradicionalmente, o solo assume importância na construção de habitações quando nos referimos às condições de suporte para o caso de fundações, como material de enchimento ou aterros. Porém, não estamos acostumados com o uso deste material como elemento de alvenaria, utilizando-o em seu estado natural (sem cozimento) para paredes, pisos e até mesmo como elemento de cobertura (telhados).

Além de toda a experiência histórica de construção de moradias com este material em determinadas regiões do mundo, recentemente muitas são as pesquisas desenvolvidas neste setor, colaborando para o desenvolvimento do emprego deste material. Apesar disso, ainda se está muito longe de uma definição de parâmetros de utilização mais adequados de acordo com as diferentes técnicas e sistemas de construção. Isso deve-se ao fato de que o material empregado é bastante heterogêneo, sendo influenciado por diversos fatores naturais como clima, relevo, material de origem, etc. Outro problema importante é justamente a questão relativa ao conhecimento técnico das pessoas envolvidas, tanto quanto ao material, como ao conhecimento de soluções arquitetônicas compatíveis com a técnica de construção com solo.

## I.3 - O Problema de Pesquisa

O objetivo principal desta pesquisa é o estudo de jazidas de solos subtropicais, dentro de unidades geotécnicas específicas. Este estudo é realizado sem o emprego de estabilizantes químicos, sendo o comportamento mecânico dos solos analisado por meio de amostras compactadas. Visa-se ao final da pesquisa subsidiar futuros projetos de construção de protótipos e/ou conjuntos habitacionais de baixo custo. Para este estudo, foram escolhidas jazidas de solos nos municípios de Porto Alegre, Cachoeirinha e São Leopoldo, em área julgadas previamente como adequadas à extração de material (isto não significa que o material seja tecnicamente viável). Os critérios

para esta investigação inicial está baseada em metodologia desenvolvida por CRUZ (1988).

A finalidade desta pesquisa fundamenta-se em um projeto mais amplo de intercâmbio entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Universidade de Kassel, da Alemanha. A partir deste intercâmbio, pretende-se a construção de protótipos em futuros trabalhos. Este tipo de estudo é bastante pioneiro, uma vez que a maioria das pesquisas anteriores estão voltadas à estabilização físico-química, sendo raros os trabalhos voltados a construção sem o uso de estabilizantes. Esta foi uma das maiores dificuldades iniciais para o desenvolvimento desta pesquisa, pois faltam alguns critérios adequados de escolha do material apropriado e desempenho mecânico necessário.

O primeiro problema em relação a este estudo diz respeito a escolha de solos com características físicas adequadas, de acordo com os trabalhos desenvolvidos na Universidade de Kassel. Logo de início, percebeu-se a dificuldade de adaptação dos parâmetros de escolha preconizados nos trabalhos desta universidade, uma vez que os solos subtropicais possuem características peculiares bastante distintas dos solos de climas temperados.

Na época deste estudo, não dispunha-se dos trabalhos de mapeamento geotécnico nos locais estudados, os quais vieram a ser publicados posteriormente. Desta forma, partiu-se para o estudo de jazidas de solos em algumas das principais unidades geotécnicas da região metropolitana de Porto Alegre, tomando-se amostras dos horizontes mais profundos (B ou C), conforme a sua representatividade dentro da unidade.

O que buscou-se no estudo destes solos, foi a avaliação do comportamento mecânico dos mesmos, após a sua caracterização inicial. Foram verificadas para as diferentes unidades geotécnicas, a resistência à compressão simples em corpos-de-prova cilíndricos, em diferentes teores de umidade da amostra. Além disso, avaliou-se a absorção por capilaridade dos mesmos, uma vez que os corpos-de-prova não estabilizados não

resistiam à imersão em água, sendo esta uma condição de ensaio bastante rigorosa para o caso de uma parede de solo compactado. Para duas unidades geotécnicas foram avaliadas a resistência à erosão através de um aparelho simulador da deflecção dos pingos da chuva contra parede.

O objetivo destes ensaios era a estimativa do comportamento dos solos de cada unidade geotécnica, em condições mais próximas possíveis do caso de paredes monolíticas compactadas com solo não estabilizado. A condição ideal, segundo MORIARTY (1978), seriam grandes corpos-de-prova na forma de paredes e/ou protótipos após os ensaios de laboratório. Porém, de acordo com o mesmo autor, os custos e o trabalho envolvidos seriam bastante maiores, devendo ser utilizados para estudos bastante específicos.

Os resultados finais são comparados com as exigências de resistência à compressão simples e absorção da norma brasileira para tijolos de solo-cimento, NBR 8492 (ABNT,1984), a norma alemã, DIN 18954 (1956), para construção com solos, e ainda alguns trabalhos realizados na área. Alguns blocos compactados, simulando pequenos segmentos de paredes, são expostos ao tempo e analisados qualitativamente quanto às características de resistência à interpérie.

Existe a consciência de que os resultados obtidos, mesmo que não satisfaçam as especificações das referidas normas e trabalhos na área, em especial no que tange às características físicas, não devem ser usados para preterir totalmente determinados solos, uma vez que não existe ainda um consenso quanto às características do material mais adequado, nem mesmo uma norma específica para o caso em questão. Porém, a partir do conhecimento de algumas características do solo, já é possível uma primeira separação entre aqueles materiais que são adequados ou não a este tipo de aplicação. Deve prevalecer neste caso, o bom senso, realizando-se uma análise crítica quanto ao desempenho mecânico do material e suas características físicas, bem como das condições de utilização (projeto arquitetônico adequado, medidas de proteção, etc.). Ou seja, o material pode

ter função estrutural, ou simplesmente ser utilizado para paredes internas, sem a incidência de carga sobre as mesmas.

Parece claro, neste caso, a dificuldade de avaliação definitiva, com simples ensaios laboratoriais, sobre a viabilidade ou não do emprego de determinados solos não estabilizados como material de construção para habitações, salvo, é claro, casos extremos, nos quais a simples análise de resultados de desempenho, independente de recomendações de outros trabalhos, mostrem a total inadequação do solo, como será visto no decorrer do estudo. A questão principal da análise de desempenho, está relacionada principalmente com a durabilidade e diminuição da resistência com a saturação do material.

Segundo a UNCHS (1986), é possível uma flexibilização dos parâmetros de utilização, e ainda assim obter-se bons resultados. Porém, para isto é necessário levar-se em conta os perigos envolvidos, e somente aqueles mais experimentados poderiam avaliar as consequências desta flexibilização. No caso daqueles solos regularmente utilizados e bem caracterizados, pode-se ter uma maior acurácia dos valores considerados.

Para projetos de grande escala, o ideal é a realização de protótipos e ensaios em paredes-teste, utilizando diferentes métodos de execução, além dos ensaios normais de laboratório, os quais fornecem maior eficiência.

#### I.4 - Desenvolvimento do Estudo

Este trabalho caracteriza-se por apresentar dois estágios distintos de desenvolvimento. Num primeiro instante visou-se a seleção de jazidas dentro das unidades geotécnicas com condições prévias de extração do material existente. Os critérios de escolha prévia são baseados nos estudos de CRUZ (1988) para mapeamento de jazidas de solo para utilização na construção de moradias com solo-cimento. A metodologia de DAVISON DIAS (1984, 1987, 1989) para estimativa de unidades geotécnicas, é usada como orientação básica, de modo a facilitar a investigação dos locais escolhidos. São utilizados para tanto,

subsídios de outras áreas de estudo do meio físico, como a pedologia, geologia, geomorfologia, levantamentos planialtimétricos, entre outros. Estas mesmas informações são organizadas para caracterização da área de estudo, restrita aos municípios de Porto Alegre, São Leopoldo e Cachoeirinha. São realizados ainda ensaios de caracterização física e mecânica, de uso corrente na Mecânica dos Solos.

A justificativa para este tipo de pesquisa está baseado em primeiro lugar, na necessidade de se buscar alternativas para amenização do problema de moradia para população de baixa renda. Isto não significa a imposição de soluções de baixa custo mas com qualidade precária, e sim soluções que proporcionem melhoria do padrão atualmente encontrado. A opção pelo estudo do material solo deve-se principalmente pela abundância do mesmo e pelo seu possível baixo custo de exploração e utilização. Isto se forem seguidas certas recomendações, como diminuição de custos com transporte, pequena ou não utilização de estabilizante, sistemas de auto-construção, entre outros. A identificação de potenciais jazidas visa subsidiar futuros projetos de construção e/ou pesquisas. Os estudos laboratoriais possibilitam uma maior eficiência da construção, com uma possível redução de custos no momento da escolha do solo mais adequado.

## II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### II.1 - Considerações Gerais

O solo como material de construção de habitações, vem sendo empregado nas mais diversas partes do mundo durante séculos. Variam as técnicas empregadas, o tipo de solo utilizado e a concepção da habitação, de acordo com os fatores culturais, condições sócio-econômicas da população, materiais disponíveis, relevo, clima, etc.

Atualmente, com a experiência adquirida neste setor, é possível uma maior compreensão do comportamento deste material quando empregado na construção. Porém, ainda se está muito longe de um consenso em termos de critérios de utilização do solo para este caso específico.

A maior parte dos critérios estabelecidos possuem um caráter regional, sendo às vezes baseados na experiência do pesquisador ou dos próprios construtores. As informações obtidas através destas experiências servem mais como informações qualitativas, sendo necessária a adaptação destes parâmetros a situação do local em estudo.

Nas últimas décadas, houve um grande desenvolvimento nas pesquisas com estabilização de solos, voltados especialmente para engenharia rodoviária. Boa parte da experiência adquirida foi aplicada na construção de habitações, melhorando em muito a qualidade final da mesma. Porém, a estabilização não é obrigatória, em especial no caso em que dispõe-se de solos com características apropriadas.

De acordo com a UNCHS (1986), a estabilização deve ser

utilizada quando é absolutamente essencial. A princípio não seria necessária a estabilização quando não há exposição à água (paredes internas, paredes protegidas por varandas, avanços de telhados, etc.). A estabilização deve ser utilizada, segundo o autor acima, quando o material está sujeito a condições desfavoráveis, nos casos em que o projeto arquitetônico ignora os princípios da construção com solo, ou ainda por problemas de climas desfavoráveis, com elevada precipitação pluviométrica, umidade, etc.

Outros motivos para a estabilização devem-se a necessidade de melhorar algumas propriedades tecnológicas do solo, tais como, resistência à compressão, diminuição da permeabilidade, entre outras.

Segundo DIETZ (1979), o solo é provavelmente o material de construção mais comum e abundante, sendo, em muitos casos, o material mais fácil e ao mesmo tempo, o mais difícil de ser empregado. O solo no estado natural é extremamente variável, sendo óbvio que nem todos os tipos de solos são indicados para construção, mesmo de pequenas moradias. As propriedades necessárias dependem dos métodos de construção e das técnicas empregadas, além das necessidades da moradia e das condições climáticas locais.

A UNCHS (1986) analisa a conveniência do emprego na construção dos diversos tipos de solos não estabilizados. Esta análise é baseada na classificação Unificada, desenvolvida para solos formados em climas temperados. Considera-se ainda a retração e a expansão, o peso específico seco máximo do solo compactado na umidade ótima e a resistência à compressão simples seca. Porém, estas recomendações, segundo o autor, devem ser tomadas como ponto de partida para escolha do solo. Não devem ser consideradas como recomendações rígidas e muito menos como padrões pré-estabelecidos.

No caso de solos tropicais e subtropicais, com comportamento diferenciado em relação aos solos formados nas regiões de clima temperado, é necessária uma flexibilidade ainda

maior na análise da conveniência do uso de determinado solo não estabilizado para construção. Além disso, torna-se necessário o desenvolvimento de critérios de escolha adaptados a esta situação, baseados em estudos realizados para determinação de propriedades de engenharia dos solos tropicais. Este tipo de estudo é sugerido por DAVISON DIAS (1989) para o caso de solos tropicais e subtropicais.

## II.2 - Métodos de Construção com Solos

A seguir, realiza-se uma breve descrição de algumas formas de construção com solo existentes, desde as mais primitivas, até aquelas que se utilizam de equipamentos um pouco mais sofisticados. Atenção especial é dirigida para o sistema construtivo em paredes monolíticas, para o qual está voltado este estudo.

Os diversos métodos construtivos existentes diferem em termos de preparação do solo e o modo de emprego do material na execução da obra.

Segundo CEPED (1984), nos diversos sistemas de construção desenvolvidos, o solo é empregado basicamente de duas formas diferentes: como uma massa de consistência plástica, com teor de umidade alta; ou como uma mistura com teor de umidade mais baixa (umidade ótima), compactada ou prensada.

A primeira opção, com teores de umidade elevados, possui problemas de porosidade acentuada, devido a evaporação da água adicionada. Conseqüentemente, as características mecânicas e de impermeabilidade são inferiores a outra forma de preparo citada anteriormente, com menores teores de umidade. Há ainda o problema de trincas, devido às tensões capilares que podem ser geradas pela evaporação da água.

No caso de solos compactados ou prensados, devido principalmente ao menor teor de umidade existente, estes problemas são bastante reduzidos.

Alguns dos métodos construtivos mais conhecidos, que se utilizam destas duas formas de preparo da mistura solo-água são:

a. Adobes:

São blocos de solo com variadas dimensões, moldados de diversas formas, e em geral com uma massa de solo no estado plástico, e teores de umidade elevados. Apresentam, desta modo, os problemas citados anteriormente para misturas deste tipo. São moldados manualmente em formas, podendo ser desmoldados quase que imediatamente após a sua execução.

É o método mais simples e mais primitivo de construção com solo. Segundo CEPED (1984), neste caso o solo pode ser adicionado à palha ou qualquer outro tipo de fibra e outros estabilizantes físico-químicos, em especial em locais com precipitação pluviométrica superior a 600mm, exigindo desta forma, melhoria geral das propriedades do material empregado.

DIETZ (1979), cita um método em que o adobe é utilizado para construção de paredes monolíticas, colocando a mistura entre formas paralelas, para o erguimento destas paredes.

b. Taipa:

Método de construção que consiste na execução de uma malha de madeira, bambu ou taquara, amarrados a montantes de maior seção. Esta malha é preenchida com solos de ambos os lados, deixando-se secar naturalmente. Ocorre, neste caso, a fissuração devido a retração do solo. Pode-se minimizar o problema com revestimento resistente ao intemperismo ou ainda com o prolongamento de beirais para proteção das paredes.

c. Tijolos e Blocos Cerâmicos:

São os elementos de alvenaria mais utilizados no mercado formal da engenharia civil. Estes elementos são obtidos a partir da queima a 900°C de solos argilosos, resultando em

materiais com propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade muito boas, sendo um dos materiais de construção de melhor qualidade.

Talvez a razão mais importante atualmente para se pesquisar materiais alternativos a estes, segundo ABIKO (1984), deva-se aos custos finais devido ao consumo de energia, além dos problemas ambientais gerados na produção.

#### d. Tijolos Prensados e Tijolos Compactados:

A produção de tijolos prensados é uma das técnicas mais recentes, quando comparada a outras, sendo moldados através de prensas manuais ou hidráulicas, havendo assim diferenças na pressão exercida sobre o tijolo. Recomenda-se sempre a produção dos mesmos com misturas de algum estabilizante (cal, cimento, etc.). De acordo com a norma alemã DIN 18953 (1956) e DOAT et al. (1979), tijolos prensados não estabilizados, de modo geral, não são recomendados, pois apresentam, em geral, porosidade elevada e baixa resistência.

A técnica de moldagem de tijolos com prensas manuais proporciona baixa produtividade, tornando-se às vezes uma solução antieconômica. Apesar disto, segundo CEPED (1984), ainda são bastante utilizadas pela população de baixa renda. As prensas hidráulicas proporcionam uma produtividade bem maior, sendo necessário também um investimento inicial mais elevado.

#### e. Paredes Monolíticas:

No Brasil, esta técnica é denominada comumente de taipa de pilão. O sistema consta, basicamente, na compactação do solo na umidade ótima, em uma forma, em geral duas pranchas de madeira paralelas que se movimentam ao longo de um sistema guia (ver figura II.1). DOAT et al. (1979), MINKE (1984), CEPED (1984), citam uma série de sistemas baseados neste modelo básico. Todos são muito semelhantes em sua concepção fundamental. O objetivo básico é a obtenção de um sistema prático de montagem e desmontagem das formas, de modo a manter

sempre o alinhamento e o prumo das mesmas, propiciando ainda uma boa produtividade.

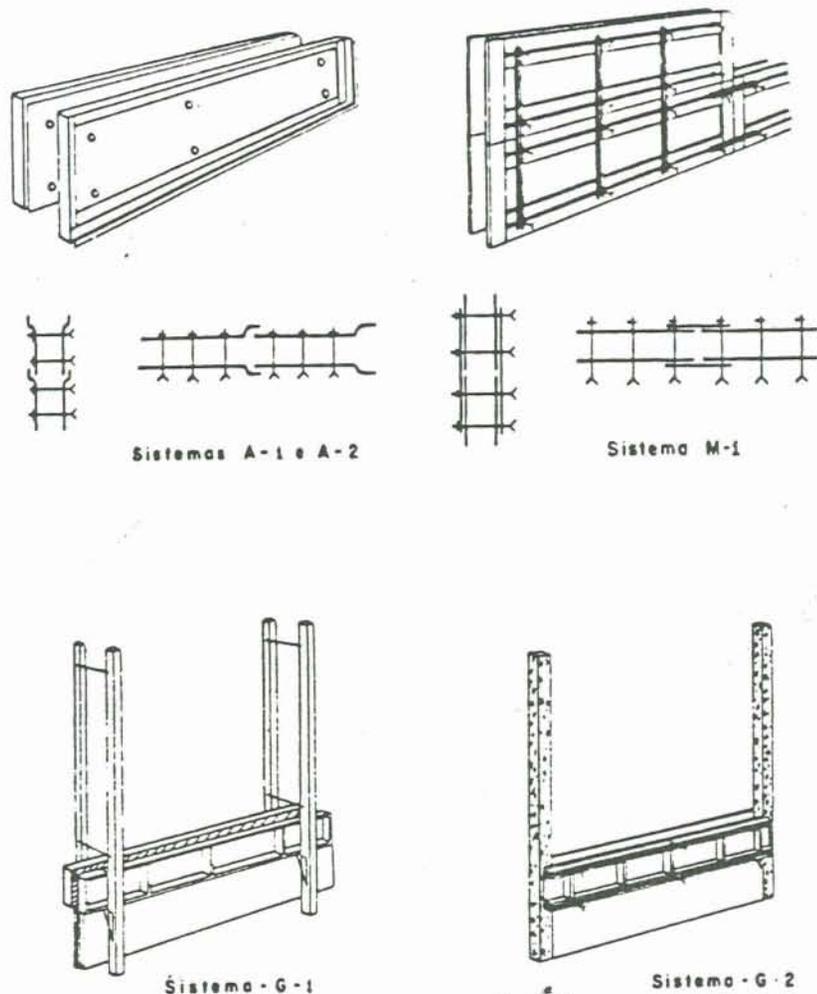


Figura II.1 - Exemplos de sistemas construtivos para moldagem de paredes monolíticas de solo-cimento (CEPED, 1984)

As fundações normalmente são executadas com o mesmo material, porém HAMMOND (1984), recomenda a estabilização ou ainda o uso de outros materiais mais resistentes e impermeáveis, evitando problemas de erosão na base e ascensão capilar. DIETZ (1979), recomenda para prevenção da erosão em paredes não estabilizadas, o prolongamento de beirais do telhado e algum tipo de pintura impermeável para parede.

Optou-se pelo estudo de solos dirigido ao emprego em sistemas construtivos com paredes monolíticas compactadas, uma vez que estes sistemas apresentam algumas vantagens em relação

Àqueles de fabricação de adobes, tijolos e taipas armadas. Algumas destas vantagens são:

- a mão-de-obra utilizada é basicamente não especializada, sendo necessário quantidade inferior àquela utilizada para fabricação de tijolos e adobes;

- menor área utilizada em relação a adobes e tijolos, os quais necessitam grande espaço para produção, secagem e estocagem;

- as camadas de solo podem ser compactadas uma imediatamente após a outra;

- normalmente não é necessário o uso de revestimentos, devido a um bom acabamento, sendo suficiente, em alguns casos, até mesmo uma pintura com cal (principalmente se for usado solo com estabilizante);

- as paredes possuem, em geral, um bom desempenho estrutural;

- as condições de durabilidade podem ser equivalentes a de materiais convencionais. Se forem tomadas certas medidas de proteção, citadas anteriormente por HAMMOND (1984), o desempenho desta técnica construtiva em relação às outras pode ser muito superior.

Algumas desvantagens são descritas a seguir:

- necessita-se, por vezes, de espessuras elevadas das paredes, em especial no caso em que não está previsto nenhum tipo de estabilização;

- produtividade nem sempre adequada, dependente da sofisticação do sistema de formas empregado e do treinamento do pessoal envolvido;

- necessidade de proteção (recobrimento com lona ou outros) logo após a moldagem e preferencialmente antes da proteção superficial (pintura, reboco, etc);

- dificuldades no controle à campo da compactação na umidade ótima.

Existem ainda inúmeros métodos de construção, nos mais diferentes sistemas construtivos. Caberia citar o método de

construção utilizado por MINKE (1984), empregando argila expandida como material de enchimento de paredes revestidas com madeira ou reboco de solo. Este tipo de material, misturada a uma pasta líquida de solo, substitui o emprego da palha, sem apresentar alguns inconvenientes deste material.

### II.3 - Propriedades dos Solos Relevantes para Habitação

Os solos tropicais e subtropicais apresentam uma grande variabilidade em termos de propriedades físicas e tecnológicas. Este fato é comprovado por HAMMOND (1972), no estudo de solos lateríticos e de lateritas para construções rurais. Nas últimas décadas, um número muito grande de pesquisas visam classificar estes tipos de solos, de comportamento diferenciado em relação àqueles formados sob condições de clima temperado.

Assim, ao realizar-se ensaios de caracterização e de comportamento mecânico, deve-se levar em conta o comportamento peculiar dos solos tropicais e subtropicais.

Pode-se verificar que as especificações de solos para uso na construção de habitações apresentam então uma certa variação de acordo com o local de pesquisa e com o conhecimento técnico, em relação ao material estudado, do responsável por esta pesquisa. Boa parte dos estudos realizados, nos mais diversos locais do mundo, referem-se ao solo como "fino" ou "grosseiro", mistura "plástica" ou "não plástica", "terra argilosa" e "terra arenosa", ou ainda "barro magro ou gordo", conforme teor argiloso de acordo com MINKE (1984) e KHAN (1978). Porém, estes são estudos voltados especialmente ao aspecto construtivo, que, sem dúvida, também possui grande importância para obtenção de um resultado final positivo da habitação. A classificação do solo empregado, segundo VARGAS (1988), mesmo em regiões tropicais, baseia-se normalmente em sistemas tradicionais, não levando-se em conta as características particulares destes solos.

Em alguns casos, a escolha do material baseia-se na experiência local e na realização de ensaios expeditos para

determinação das propriedades dos solos. Estes ensaios são recomendados para os casos em que não dispõe-se de laboratório e os recursos são muito escassos. MINKE (1984), CEPED (1984), UNCHS (1986) e LEMOS (1984), citam alguns ensaios expeditos, entre estes, estão:

- Ensaio da caixa: serve para avaliação qualitativa da retração do solo;
- Ensaio do cordão: testa a consistência do solo;
- Ensaio da fita: verifica a coesão do solo;
- Ensaio do bolo: serve para avaliar a retenção de água na amostra de solo;
- Ensaio de resistência seca: pastilhas de solo após secagem são testadas quanto a resistência ao esmagamento.

A UNCHS (1986), cita ainda uma série de testes preliminares para avaliação qualitativa dos solos, entre estes o ensaio granulométrico em um simples recipiente de vidro, onde as proporções dos diversos componentes do solo são estimadas. Há ainda a avaliação tátil-visual da amostra de solo, entre outros de caráter um tanto empírico.

De acordo com o comportamento do solo nestes ensaios, os autores relacionam as respectivas possibilidades de uso do material.

Ao pretender-se o melhoramento do desempenho deste tipo de moradia, é vital a consideração dos fatores sistema construtivo e material empregado como variáveis associadas e interdependentes. Assim, ao pretender-se a aplicação destas técnicas a projetos mais amplos, e não apenas a sistemas de auto-construção, o estudo do material com todas as suas características particulares é de grande importância.

### II.3.1 - Propriedades físicas

Os ensaios de caracterização normalmente realizados são: granulometria, limites de consistência de Atterberg, peso

específico real dos grãos e ensaio de compactação. Algumas propriedades mecânicas são determinadas a partir dos ensaios de absorção, resistência à compressão simples e durabilidade a partir do ensaio de resistência à erosão, entre outros. Estes ensaios são recomendados por diversos autores, entre estes cita-se DOAT et al.(1979), DIETZ (1979), ABCP (1984), e UNCHS (1986).

#### II.3.1.1 - Granulometria

A composição granulométrica do solo é uma característica considerada importante para decisão do seu emprego na habitação. Porém, há uma certa variabilidade em termos de recomendações de faixas granulométricas ideais para o emprego em paredes monolíticas, isto sem considerar a questão citada anteriormente do comportamento diferenciado dos solos tropicais e subtropicais.

DIETZ (1979), verificou esta grande variação nas recomendações de diversos autores, concluindo que a porcentagem de areia normalmente especificada encontra-se entre 60 e 75%, devendo a quantidade de argila ser mínima. Observa-se que a variabilidade de recomendações de teores aproximados de cada fração granulométrica deve-se também ao sistema de classificação adotado.

HAMMOND (1972), propôs faixas granulométricas para escolha de solos lateríticos para construção (figura II.2). Os solos compreendidos no intervalo entre estas curvas limites, geralmente são próprias à construção de habitações. Segundo o autor, estes solos possuem textura franco ou argilo-arenosa. Em outro estudo, o qual visava o aumento da durabilidade de construções com solo nas regiões tropicais, HAMMOND (1973), apresentou o ábaco de classificação textural de solos utilizado pela U.S.Bureau of Soil Systems (figura II.3), no qual a zona hachureada representa os solos mais convenientes a este tipo de emprego.

De acordo com DOAT et al.(1979), nem todos os solos são convenientes à construção de paredes monolíticas. A composição mais adequada constituiu-se de : 0 a 15% de pedregulho, 40 a 50% de areia, 20 a 35% de silte e 15 a 25% de argila. Por outro lado, experiências de campo na Universidade de Kassel, na Alemanha, indicam que solos compostos de silte / areia / argila na proporção de 3 / 2 / 1, apresentam bons resultados para execução de paredes monolíticas compactadas.

Esta variabilidade de recomendações, mesmo para o caso de solos formados em climas temperados, aliada ao comportamento diferenciado dos solos tropicais, poderia conduzir-nos a rejeição desta característica física como critério de escolha do solo adequado. Porém, de acordo com UNCHS (1986), CRUZ (1988) e CEPED (1984), deve-se sempre ter em mente que a granulometria serve como um dado auxiliar na escolha do solo mais apropriado, não podendo ser utilizada como fator decisivo de aceitação ou

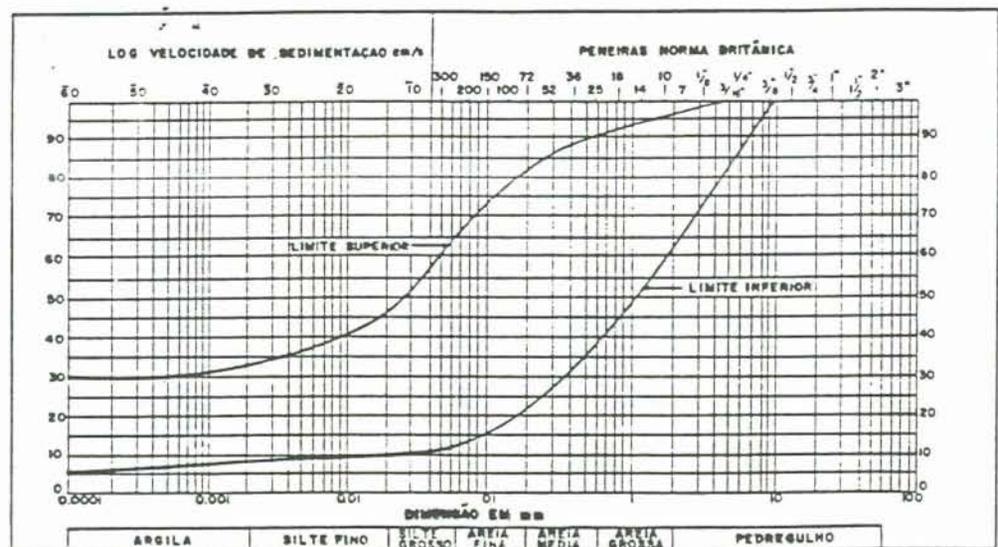


Figura II.2 - Faixa granulométrica para escolha de solos lateríticos para construção (HAMMOND, 1972)

Nº	Classe	Areia %	Silte %	Argila %
1	Areia	80-100	0-20	0-20
2	Franco-arenoso	50-80	0-50	0-20
3	Franco	30-50	30-50	0-20
4	Franco-siltoso	0-50	50-100	0-20
5	Franco-argilo-arenoso	50-80	0-30	20-30
6	Franco-argiloso	20-50	20-50	20-30
7	Franco-argilo-siltoso	0-30	50-80	20-30
8	Argila arenosa	50-70	0-20	30-50
9	Argila siltosa	0-20	50-70	30-50
10	Argila	0-50	0-50	30-100

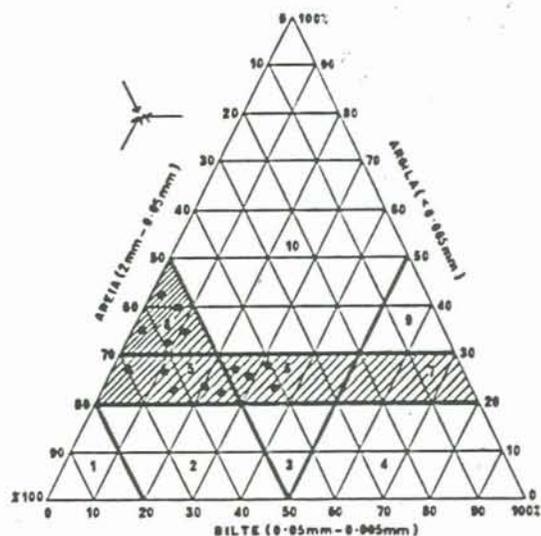


Figura II.3 - Ábaco de classificação textural de solos. A zona hachureada corresponde aos solos mais convenientes à construção (HAMMOND, 1973)

rejeição. Este fato torna-se mais importante ainda para o caso específico de solos tropicais e subtropicais, onde as opiniões sobre o emprego da granulometria para identificação e classificação de solos, geram uma grande controvérsia. Alguns autores dedicados ao estudo destes solos discutem a validade do ensaio de granulometria para este caso específico.

LOHNES & DEMIREL (1973) e GIDIGASU (1974) comentam o fato de que dados relacionados a distribuição granulométrica para o caso de solos formados sob condições de clima temperado não são válidos para o caso de solos tropicais. Segundo GIDIGASU (1974), as propriedades físicas, como por exemplo, granulometria e limites de Atterberg, devem ser utilizadas conjuntamente com outros fatores, para identificação e classificação dos solos.

Na estimativa da quantidade de argila através da microscopia, IRFAN (1988) verificou ser esta bem maior que a quantidade determinada em ensaios de granulometria. Percebe-se

desta forma, a dificuldade de determinar-se a real fração de argila dos solos saprolíticos e lateríticos.

HAMMOND (1972), verifica do mesmo modo, que as propriedades físicas dos solos lateríticos são influenciados por fatores tais como: a rocha-mãe, a topografia, a drenagem, o grau de alteração devido ao intemperismo ou a laterização. Segundo SANDRONI (1985), as propriedades destes solos podem ser afetadas pelo tratamento anterior aos ensaios e pelos procedimentos de ensaio no laboratório.

#### II.3.1.2 - Plasticidade

Independentemente da distribuição granulométrica, os solos podem apresentar propriedades físicas e mecânicas muito variáveis de acordo com a natureza mineralógica ou química das partículas. Assim, torna-se necessário o conhecimento dos limites de Atterberg, determinados através de ensaios bastante corriqueiros dentro da Mecânica dos Solos.

Porém, como no caso do ensaio de determinação da distribuição granulométrica do solo, os ensaios de determinação dos limites de consistência de Atterberg, têm o seu emprego bastante criticado como forma de classificação de solos tropicais e subtropicais.

Os maiores problemas citados devem-se aos procedimentos de ensaio. Segundo MORI et al. (1979), ocorre a destruição da estrutura do solo quando da preparação dos mesmos para os ensaios, não sendo estes adequados. GIDIGASU (1972), SANDRONI (1985) e WESLEY (1988), discutem também a influência dos métodos de preparação de amostras para ensaios de limites de consistência. NOVAIS-FERREIRA & VIANA DA FONSECA (1988) e VARGAS (1988) comentam aspectos relacionados ao grau de secagem e destorroamento do solo e suas implicações nos ensaios.

Apesar de todos os problemas relacionados aos ensaios, sua utilização continua sendo recomendada, por (GIDIGASU (1972), MORI et al. (1979) e VARGAS (1988), associada a outros

parâmetros de classificação.

VARGAS (1988), sugere o uso da classificação de Casagrande associada ao Gráfico de Atividade de Skempton (figura II.4), como forma de avaliar a influência dos argilominerais e a natureza mineral da fração silte na classificação dos solos tropicais e subtropicais finos.

Outro recurso que também é utilizado para avaliar a constituição mineralógica tanto da fração fina como da grosseira, é o difratograma de raio-X e a análise termo-diferencial. Este procedimento é comentado por BRAND & PHILLIPSON (1985), em pesquisa com solos tropicais.

Em função de todos estes fatores associados aos solos tropicais e subtropicais, além do fator local de estudo, os valores dos limites de consistência considerados apropriados para o uso na construção, como era de se esperar, são também bastante variáveis. Alguns autores estabelecem parâmetros de utilização baseados nos limites de consistência, associados a distribuição granulométrica, os quais servem ao menos como informações qualitativas para pesquisa de solos para construção.

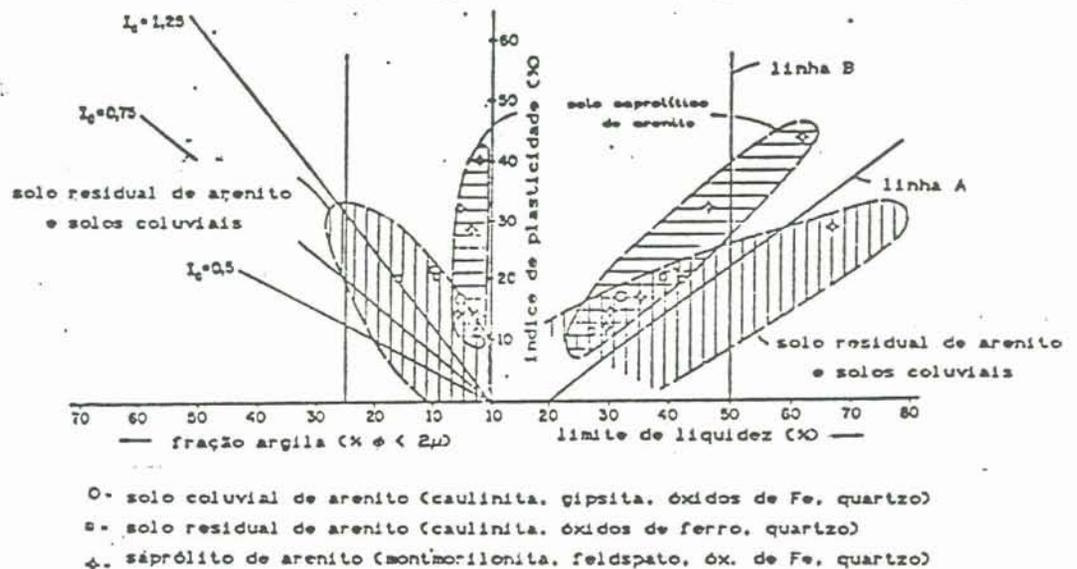


Figura II.4 - Combinação da plasticidade de Casagrande associada ao gráfico de atividade de Skempton para avaliação das características expansivas dos solos tropicais e subtropicais finos (VARGAS, 1985)

DIETZ (1979), na avaliação de recomendações de diversos autores para execução de paredes monolíticas compactadas, verificou que os valores para o limite de liquidez encontra-se em torno de 35% ou menos, o índice de plasticidade entre 2 e 15%, e o limite de retração inferior a 25%. O autor observa ainda que nas zonas tropicais os solos lateríticos normalmente exibem menor retração e expansão do que os solos de zonas temperadas, e desta forma, estes valores podem ser mais baixos.

Os solos lateríticos situados dentro das faixas granulométricas propostas por HAMMOND (1972) (figura II.2), citadas anteriormente, possuem invariavelmente, segundo o autor, limite de liquidez compreendido entre 30 e 40%, e índices de plasticidade compreendidos entre 12 e 20%. A retração em volume não excede 20%.

Para paredes compactadas com a energia normal equivalente ao ensaio de Proctor, o índice de plasticidade, segundo VAIDYANATHAN & RAMASWAMY (1978), não deve ser inferior a 4%. Os solos estudados pelos autores em determinada região da Índia, apresentavam percentagens de finos (diâmetro inferior a 0,06mm) bastante baixas (de 2 a 10%).

Os limites de consistência de Atterberg são bons indicadores da trabalhabilidade do solo. De acordo com CEPED (1984), valores elevados destes limites significam maiores dificuldades no destorroamento e mesmo na secagem, quando necessária. Deve-se considerar na escolha de faixas de limites de consistência, que no caso de construção de casas, em geral não dispomos de equipamentos muito possantes, como no caso de estradas, os quais permitiriam limites mais amplos de utilização de certos materiais.

Ao estudar solos saprolíticos de granitos, gnaisses e basaltos, MORI et al. (1979), afirmam que estes apresentam uma trabalhabilidade muito melhor em comparação com solos superficiais mais desenvolvidos do ponto de vista pedológico.

### II.3.1.3 - Características de compactação

Determina-se através do ensaio de compactação a umidade (denominada umidade ótima de compactação) para a qual o peso específico aparente seco ( $\gamma_d$ ) é máximo.

Assim como no caso dos ensaios citados anteriormente, TOWNSEND (1985) afirma que os resultados obtidos dependem do solo utilizado e do tipo de tratamento empregado (método de secagem e amolgamento).

Segundo CRUZ (1970), os resultados dos ensaios de compactação são influenciados desta forma pela granulometria, limites de consistência de Atterberg, e ainda pela energia de compactação utilizada.

Existem problemas relacionados à passagem destes procedimentos para os trabalhos de campo. MORI et al. (1979) comentam que o teor de umidade ótima determinada em laboratório, como uma referência para determinação da conveniência de solos saprolíticos para construções com solo, de um modo geral, é deficiente devido a grande heterogeneidade deste material. A compactação com o soquete conduz, segundo o autor, a uma ativação do teor argiloso. Produz-se assim uma quebra da estrutura reliquiliar da rocha, sendo que este fenômeno não é tão intenso na compactação de campo. Por outro lado, estes solos seriam facilmente compactados em umidades superiores e inferiores à umidade ótima.

Nas pesquisas de solos para construção de habitações, os ensaios de compactação fornecem valores bastante variáveis. Em ensaios de compactação com energia normal de compactação em solos lateríticos, HAMMOND (1972) encontrou valores de pesos específicos aparentes secos máximos oscilando entre 15,0 - 21,0 kN/m<sup>3</sup>, para teores de umidade ótima entre 9 e 22%.

DOAT (1979), realizou a seguinte interpretação do ensaio de Proctor, para solos de um modo geral, visando o emprego na construção de moradias:

Peso específico aparente seco máximo na umidade ótima (energia de compactação igual a do Proctor Normal):

16,50 - 17,60kN/m <sup>3</sup>	.....ruim
17,60 - 21,00kN/m <sup>3</sup>	.....satisfatório
21,00 - 22,00kN/m <sup>3</sup>	.....excelente
22,00 - 24,00kN/m <sup>3</sup>	.....excepcional

Assim como outros dados de caracterização de solos, estes valores de peso específico aparente seco máximo do solo não podem ser analisados isoladamente. Segundo dados da UNCHS (1986), solos pedregulhosos ou muito arenosos apresentam altas densidades, mas o emprego dos mesmos nem sempre é recomendável, devido a falta de coesão, indicando-se assim a adição de solos mais finos. O contrário também é especificado, ou seja, para solos muito argilosos, com baixas densidades, pode-se adicionar-se solos mais arenosos.

Sabe-se porém, por várias experiências e pesquisas, que mesmo pesos específicos considerados ruins pelo autor citado anteriormente, podem apresentar bons resultados práticos no caso de solos tropicais e subtropicais. PASSOS (1993), no estudo de latossolos vermelho-escuro do Rio Grande do Sul, visando o emprego na pavimentação de baixo custo, encontrou valores de  $\gamma_d$  variando de 16,0 a 17,0kN/m<sup>3</sup> para alguns destes solos. Os mesmos mostram-se adequados para este tipo de aplicação, que é uma situação muito mais rígida que uma parede, desde que tomadas algumas precauções executivas. Segundo TOWSEND (1985), os solos lateríticos normalmente apresentam um maior peso específico máximo para uma umidade ótima mais baixa, o que poderia ser atribuído a um aumento de cimentação e granularização a partir da desidratação dos sesquióxidos de ferro e alumínio. O amolgamento tem menor efeito nas características de compactação, fato comprovado pelo autor, mas é recomendável um maior cuidado durante a compactação de campo para evitar a quebra total dos micro-agregados de argila.

Devido aos elevados valores da massa específica real dos grãos dos minerais constituintes dos solos lateríticos (2,7

- 3,5), poderia-se concluir que teríamos sempre elevados valores de peso específico aparente seco máximo na compactação. Porém, valores como os obtidos por GIDIGASU (1972), são às vezes bem mais baixos. Segundo TOWNSEND (1985), esta anomalia é atribuída a estrutura dos micro-agregados porosos que compõem este tipo de solo. O autor apresenta valores para solos lateríticos mais finos variando de 12,81 a 16,82kN/m<sup>3</sup>, e aqueles mais pedregulhosos chegando a 23,23kN/m<sup>3</sup>.

Em geral, os solos tropicais apresentam um teor de umidade natural superior ao teor de umidade ótima, de acordo com o mesmo autor citado anteriormente, sendo a secagem essencial para compactação de campo. E sendo a consistência dos micro-agregados dos solos lateríticos bastante friável, os esforços excessivos na compactação de campo, com teores de umidade elevados, podem criar uma pasta de solo avermelhado, dificultando a compactação.

MORI et al. (1979), no estudo de solos saprolíticos de basaltos e gnaisses, verificaram também que em regiões com grande precipitação pluviométrica média anual, os solos possuem umidade natural superior a umidade ótima de compactação. O contrário acontecendo em regiões mais secas, com solos saprolíticos de granito.

GIDIGASU (1972), no estudo de materiais lateríticos verifica a existência de uma boa correlação entre o teor de umidade ótima e a percentagem de argila do solo, havendo o aumento desta umidade com o aumento da fração argila. O efeito do grau de lixiviação e de laterização mostrou-se insignificante nesta relação, porque o principal controle do teor de umidade ótima é o preenchimento dos vazios do solo com água e o arranjo das partículas de solo. Nota-se a partir disso, a influência do grau de homogeneização da mistura solo-água.

Quanto a relação peso específico aparente seco máximo e o teor argiloso do solo, existe a tendência ao decréscimo do peso específico seco máximo com o aumento do teor argiloso do solo. Este fato é válido tanto para o caso de solos "residuais"

como os "não residuais". GIDIGASU (1972), afirma que nos solos não residuais a taxa de decréscimo é maior.

De acordo com GIDIGASU (1980), a excessiva compactação tanto de solos lateríticos de granulação fina e grosseira, como de solos saprolíticos, destrói a estrutura destes materiais, conduzindo a uma menor capacidade suporte dos mesmos.

### II.3.2 - Propriedades mecânicas

#### II.3.2.1 - Resistência à compressão simples e absorção

A resistência à compressão de uma parede construída com solo compactado, é marcadamente influenciada, segundo HAMMOND (1972), pela densidade e umidade de compactação. Segundo este autor, em um grande programa de construção de habitações, onde a mistura solo-água será inteiramente mecânica, convém utilizar-se a umidade ótima de compactação. No estudo de lateritas para construção, o autor obteve valores de até 21000 kN/m<sup>2</sup>, bem superiores, como esperado, do que no caso de solos finos. É apresentado ainda pelo autor, um gráfico da relação entre a resistência à compressão simples e a umidade do corpo-de-prova (figura II.5), para o caso de argilas arenosas estudadas em Gana, na África. Verifica-se que o solo é bastante afetado pelo teor de umidade, havendo uma forte redução de resistência com o aumento desta.

A norma alemã DIN 18954 (1956), limita a construção com solos a dois pavimentos. Quando as cargas sobre algumas partes da construção são superiores a 300 kN/m<sup>2</sup>, esta norma indica que a tensão de compressão admissível para paredes e pilares, varie de 100 a 500 kN/m<sup>2</sup>. Estes valores são estabelecidos em função das dimensões dos elementos estruturais, do peso específico do solo compactado (16,0 a 22,0 kN/m<sup>3</sup>) e da resistência a compressão simples alcançada com o corpo-de prova seco (2000 a 4000 kN/m<sup>2</sup>). No caso de blocos moldados com solo não estabilizado em formas manuais, a norma DIN 18953 (1956), preconiza valores de resistência à compressão simples em amostras secas, na ordem de 2500 kN/m<sup>2</sup>. DIETZ (1979) na revisão

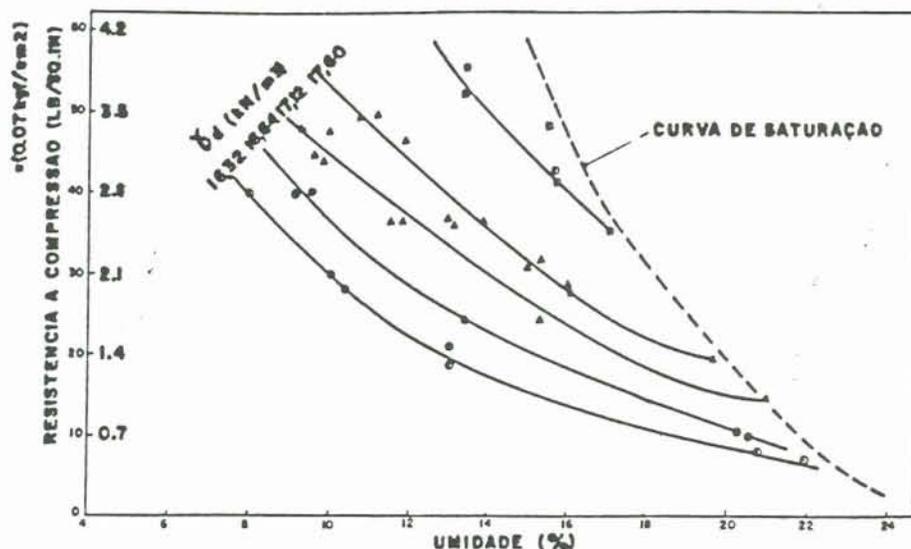


Figura II.5 - Relação entre resistência à compressão simples e umidade de ruptura da amostra para o caso de argilas arenosas em Gana, na África (HAMMOND, 1972)

de recomendações de diversos autores para o caso de resistência à compressão simples, verifica que os mesmos situam-se em torno de 2500kN/m<sup>2</sup>, resistência à tração de 500kN/m<sup>2</sup>. De modo semelhante, só que para o caso de tijolos maciços compactados em prensas manuais ou hidráulicas, e com solo estabilizado com cimento, a ABNT (1984), recomenda valores de resistência à compressão simples na ordem de 2000 kN/m<sup>2</sup>, com a amostra úmida, após imersão em água por 24 horas. Apenas para efeito de comparação, a norma NBR 7171, para blocos cerâmicos para alvenaria, exige valores de resistência à compressão simples de 1500 a 2500kN/m<sup>2</sup> no caso de utilização de tijolos furados para vedação. No caso de paredes portantes, estes valores são mais elevados, variando de 4000 a 10000kN/m<sup>2</sup>. O ensaio de resistência à compressão é realizado após 24 horas de imersão. Observa-se que esta comparação de corpos-de-prova estabilizados ou cozidos, em condições úmidas, com corpos-de-prova secos e não estabilizados não tem validade, servindo apenas para se ter uma noção de resistência exigida para este caso.

CAMPAGNOLLO et al.(1987) realizaram uma avaliação de características físico-mecânicas de tijolos cerâmicos maciços e furados de olarias da região metropolitana de Porto Alegre. No caso de tijolos furados, os valores médios de resistência à compressão simples determinados para os mesmos variaram desde 1440 a 3750kN/m<sup>2</sup>. Porém, na análise das médias por olarias, estas chegam ao limite mínimo de 1046kN/m<sup>2</sup>, no caso de tijolos de furos redondos. A densidade média dos tijolos furados era de 18,8kN/m<sup>3</sup>.

No caso de moradias construídas com solo e que possuam somente um pavimento, as considerações estruturais, segundo MORIARTY (1978) não são as mais importantes. Afirma o autor, que a habitação mal projetada ou construída, poderia sofrer rachaduras ou distorções, porém, um colapso repentino seria bastante improvável. A durabilidade, conforme será visto a seguir, seria o principal problema. No entanto, a grande maioria das publicações a respeito do assunto, discute parâmetros de resistência mínima necessária, ou pelo menos estimam o comportamento de determinados tipos de solos com relação a esta variável. É o caso da UNCHS (1986), que realiza a avaliação qualitativa de resistência à compressão simples com amostra seca, de acordo com o tipo de solo, classificado de acordo com o sistema da SUCS (LAMBE e WHITMAN, 1979).

DOAT et alii (1979), citando diferentes organismos de pesquisa na área, de vários países como Austrália, USA e França, fornece uma idéia das performances técnicas do material em questão. Estes parâmetros podem servir de base a uma concepção arquitetural, sendo importantes para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com as características do solo. Segundo o autor, no caso geral de construções deste tipo, e com um só pavimento, as cargas de trabalho recomendadas para compressão são de 200 kN/m<sup>2</sup>, e para tração este valor deve ser nulo. A resistência à compressão simples com amostra seca, para o solo compactado, misturado a uma série de materiais diferentes, varia de 500 a 40000 kN/m<sup>2</sup>, em casos muitos especiais, de acordo com o tipo de estabilizante utilizado. A resistência à tração situa-se em torno de 1/5 da resistência à compressão. Para o caso

específico de paredes monolíticas compactadas e com adição de estabilizante, o autor cita uma resistência à compressão de 1500 kN/m<sup>2</sup>, sendo a carga de trabalho para paredes exteriores 100 kN/m<sup>2</sup> e paredes interiores 200 kN/m<sup>2</sup>. Por fim, a resistência à compressão úmida exigida em alguns casos, de modo genérico, deve alcançar 1400 kN/m<sup>2</sup>. Para o caso de adobe estabilizado, a resistência à compressão recomendada, de acordo com trabalhos realizados no Peru, é de no mínimo 1400 kN/m<sup>2</sup>.

HAMMOND (1972), observou que a absorção em lateritas usadas na construção de habitações, de modo geral era baixa, chegando a no máximo 20% nas mais porosas. A ABNT (1984), preconiza uma absorção máxima de 20% para tijolos maciços de solo-cimento, sendo o ensaio realizado com a imersão da amostra em água por 24 horas. A absorção para corpos-de-prova compactados não estabilizados tende a ser mais elevada, devido a sua maior permeabilidade, influenciando diretamente na resistência da amostra.

#### II.3.2.2 - Características de expansão e retração

A retração e expansão em paredes construídas com solo influencia o aumento da durabilidade da habitação, conforme descrição da ítem II.4, a seguir. Segundo HAMMOND (1973), os diversos ciclos de umedecimento e secagem a que são submetidas as paredes da moradia, podem gerar movimentos de expansão e retração, os quais ocasionam a abertura de fissuras. Estas fissuras facilitam a entrada de água e uma mais rápida deterioração da parede. A intensidade desta retração ou expansão vai depender do tipo de solo utilizado, podendo as mesmas serem minimizadas pelo uso de estabilizantes ou por medidas de proteção recomendadas por diversos autores (vide tabela II.1). O modo de emprego do solo, conforme visto anteriormente, com maior ou menor teor de umidade também tem grande importância nos movimentos de expansão e retração.

Diversos autores citam o uso de ensaios expeditos para determinação da retração linear do solo, porém, não é considerado pelos mesmos o teor de umidade para moldagem. MINKE

(1984), recomenda a moldagem da amostra de solo em uma caixa retangular. De acordo com a taxa de retração linear, o autor avalia as características de plasticidade. CEPED (1984) cita o uso do mesmo ensaio, com uma amostra retangular de 60x8,5x3,5cm, limitando a retração linear máxima em 2cm, ao longo da maior dimensão da amostra, não devendo aparecer trincas na mesma. De acordo com o Uniform Building Code-U.S.A., citado por DOAT (1979), as fissuras no caso de adobe estabilizado não devem ser superiores a 3mm de largura. DIETZ (1979) recomenda a mínima retração possível para o caso de paredes monolíticas não estabilizadas, de modo a evitar a fissuração excessiva. Para isto, recomenda o uso de solos com teores de argila bastante baixos.

As características expansivas dos solos podem ser determinados através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem em análises difratométricas de raio-x e ainda ensaios de expansão na célula de adensamento, com amostras indeformadas ou remoldadas. Os métodos indiretos consistem na obtenção de parâmetros qualitativos do potencial de expansão, através de correlações com limites de consistência, limite de contração e atividade coloidal.

CHEN (1974) e BOWLES (1977) apresentam uma estimativa qualitativa do potencial de expansão em função dos limites de consistência e limite contração do solo. SOWERS (1962), correlacionou o potencial de expansão com índice de plasticidade e o limite de contração, para solos expansivos, em regiões úmidas e áridas. Segundo POPESCU (1983), que relaciona o LC com o potencial de mudança de volume do solo, para valores de LC maior que 12%, esta mudança não é crítica.

HAMMOND (1972), no estudo de solos lateríticos finos para a construção, observa que a expansão dos mesmos é da ordem de 0,8 a 14%, enquanto que a retração, em volume, varia de 10 a 50% quando o solo possui umidade igual ao limite de liquidez, e de 10 a 30% quando esta é igual ao limite de plasticidade. Para o caso de solos mais apropriados a construção, a retração deve ficar, segundo o autor, em torno de no máximo 20% em volume.

### II.3.2.3 - Resistência à erosão

DIETZ (1979), cita o uso comum do ensaio de erosão pela chuva, dentre outros existentes, como uma das formas de avaliar o desempenho de habitações construídas com solo. No caso de paredes, o ensaio de erosão pela chuva com ciclos de umadecimento e secagem parece estar bastante próximo da realidade, conforme descrição do item II.4, a seguir. Os outros ensaios simulam condições bastante rigorosas, como no caso de estradas. Em geral, os corpos-de-prova com solo compactado sem adição de estabilizante, não conseguem passar pelos diversos ciclos destes mesmos ensaios, ocorrendo a sua total destruição já nos primeiros ciclos.

Alguns ensaios para verificação da erosão são citados, porém, a sua validade é questionada pelos autores devido a grande imprecisão dos mesmos. MINKE (1984) cita um ensaio em que uma pequena barra de solo compactado é suspensa sobre um recipiente com água, sendo parte da mesma mergulhada no líquido. De acordo com o comportamento deste corpo-de-prova após 45 minutos, recomenda-se o uso do solo com ou sem medidas de proteção. DOAT (1979) menciona um ensaio de erosão em que o corpo-de-prova (tijolo, por exemplo) é colocado a determinada distância de um jato de água com pressão constante e conhecida por duas horas. Após este período, é verificada a perda de peso e a profundidade dos furos. Segundo o Uniform Building Code-U.S.A., citado por DOAT (1979), a profundidade média dos furos no ensaio de erosão, no caso de adobe estabilizado, deve ser de 0.15cm no máximo. Mas, segundo o autor, na maioria das vezes, os resultados deste ensaio não são indicativos, não podendo ser utilizados para preterir o uso de determinado solo.

VAIDYANATHAN & RAMASWAMY (1978), realizaram um estudo de resistência à erosão e à compressão de paredes monolíticas de solos compactados. Os ensaios nesta pesquisa visavam simular o processo de erosão da base da habitação pelas gotas de chuva rebatidas do chão para a parede. É verificada a taxa de erosão por ciclo de ensaio (peso do material erodido) e a redução da resistência após o final do ensaio. A resistência seca e úmida

das amostras foi relacionada com a distribuição granulométrica, limites de consistência e composição química do solo.

Este tipo de ensaio, desde que realizado com um número significativo de amostras, parece ser o mais representativo de todos ensaios de erosão citados.

#### II.4 - Fatores Envolvidos na Durabilidade da Habitação

MORIARTY (1978), afirma que a durabilidade, e não a resistência à compressão simples, é o principal problema em construções de moradias com solo. Uma habitação deste tipo necessita para um bom desempenho, não só da escolha do material adequado. Segundo HAMMOND (1973), a durabilidade é influenciada ainda por uma série de fatores, como por exemplo, clima local e topografia. Além disto, o projeto arquitetônico adequado a este tipo de construção e aos fatores acima citados, aliados a uma boa qualidade de execução, irá fornecer bons resultados. Por fim, existem algumas medidas de proteção e prevenção de problemas, expostas por HAMMOND (1973, 1984), que colaboram para o prolongamento da vida útil da habitação.

As principais causas da degradação da habitação construída com solo, são a fissuração devido à retração, erosão, a degradação da base e choques mecânicos. Na maioria dos casos, esses problemas têm a sua causa ligada direta ou indiretamente à ação da água. Os ciclos de expansão e retração geram fissuras, as quais facilitam a penetração da água. Segundo HAMMOND (1972), construções com paredes monolíticas são mais adequadas para climas mais secos.

MORIARTY (1978) observa que em paredes construídas inteiramente com solo, e que possuam fundações adequadas, a deterioração deve-se principalmente à ação da água da chuva ou à elevação do nível do lençol freático, em locais onde o mesmo encontra-se muito próximo à superfície.

A chuva causa erosão ao incidir diretamente sobre a parede, sendo esta mais pronunciada na base, pois as gotas são

rebatidas do chão para a parede. As partes mais elevadas das paredes, salvo em chuvas com vento, estão mais protegidas pelo avanço do telhado.

No caso de elevação do nível do lençol freático ocorre o problema de ascensão capilar. Estes problemas associados, conduzem a uma redução da resistência da parede, pois há o aumento do peso próprio pela absorção de água e redução da seção transversal na base da parede devido à erosão.

Outro problema importante das paredes construídas com solo, é a suscetibilidade a deterioração de origem mecânica, mesmo no caso em que estejam secas. Porém, em condições favoráveis (medidas de proteção adequadas), a durabilidade destas habitações é bastante grande. MINKE (1984), cita uma série de exemplos de habitações construídas com solo, as quais possuem mais de 100 anos de existência e bom estado de conservação. Na verdade, a durabilidade destas habitações depende grandemente da resistência à penetração da água.

A seguir, procede-se a descrição dos diversos fatores envolvidos direta ou indiretamente na durabilidade da habitação, bem como das medidas recomendadas para melhoria do desempenho da mesma frente aos problemas de deterioração.

#### II.4.1 - Clima e topografia

O clima das regiões tropicais e subtropicais influencia grandemente tanto no tipo de solo formado, como também nas obras de engenharia executadas nestes locais. RAO (1988) realizou um estudo verificando esta influência.

O fator climático mais importante para o caso da durabilidade da habitação, segundo HAMMOND (1973), é a precipitação pluviométrica, conforme dito anteriormente. O autor apresenta uma série de medidas preventivas para amenização de problemas gerados pelas condições adversas do clima, de acordo com as características do mesmo. A tabela II.1 apresenta os defeitos mais comuns e as medidas de prevenção dos problemas

gerados. Apresenta-se somente a parte referente às condições climáticas mais críticas, com precipitação anual acima de 1250mm, aplicável ao nosso caso.

MORIARTY (1978) afirma que não somente a precipitação anual ou mensal tem influência na avaliação do clima na durabilidade deste tipo de moradia, mas também a intensidade de cada chuva e energia cinética das gotas da mesma, as quais são bem maiores em regiões de clima tropical ou subtropical do que em climas temperados. O autor não recomenda ainda a construção destas habitações em regiões mal drenadas ou zonas de baixadas sujeitas a inundações. KHAN (1978) cita casos de destruição destas habitações causadas por fortes chuvas e enchentes.

A influência da topografia é também indireta, pois influencia o clima e acaba por influenciar a durabilidade.

#### II.4.2 - Planejamento, projeto e execução

Segundo HAMMOND (1973), deve haver previamente à construção, a concepção de um plano habitacional, em especial para o caso de conjuntos habitacionais, declividade de ruas, além de medidas de proteção contra a erosão e a degradação de base da moradia. O projeto deve levar em conta então, a estanqueidade à água. E é neste ponto que alguns detalhes arquitetônicos são importantes, conforme visto a seguir. HAMMOND (1984) recomenda o uso de fundações de concreto, blocos de concreto, blocos de solo-cimento e rochas. Avanços de telhados e varandas são também úteis. Os defeitos que surgirem devem ser prontamente corrigidos.

A execução mal conduzida contribui em muito para a redução da durabilidade. Os sistemas de autoconstrução, sem assistência técnica especializada, ausência de equipamentos adequados e total desconhecimento científico do material, com o uso baseado em experiências práticas, conduzem, na maioria dos casos, a construção de habitações de baixa qualidade técnica e estética. HAMMOND (1973) sugere a participação efetiva dos governos, de modo a financiar projetos deste tipo, uma vez que

os mesmos destinam-se basicamente a população de baixa renda.

As medidas de proteção externas (revestimentos) recomendados para prevenir a deterioração de origem mecânica e penetração de água, vai desde o uso de materiais naturais, até aqueles materiais industrializados. MINKE (1984) cita o uso de reboco de solo (sem estabilizante), caseína e pintura com ou sem materiais hidrófugos. HAMMOND (1973) constatou o uso comum de argamassas de cimento, cal e areia em diversas proporções, argamassas de solo-cimento, argamassas de cal, rebocos com gesso, rebocos betuminosos e pinturas em geral. CEPED (1984) cita o uso, com bons resultados e baixos custos, de uma tinta impermeabilizante à base de cimento denominada comercialmente de "cimentol".

#### II.4.3 - Escolha do solo

As características do material empregado são de grande importância na obtenção de um bom resultado final quanto a questão da durabilidade. Segundo HAMMOND (1973), apesar de haver solos mais adequados à construção, revelados por ensaios e experiências práticas, a seleção destes é bastante difícil. Por isto torna-se indispensável, segundo o autor, a seleção de solos fundamentada em critérios científicos. Alguns critérios e recomendações para esta seleção foram citados anteriormente, bem como os problemas relacionados ao uso destes solos.

1. TIPO DE CLIMA	Bastante úmido, com precipitação anual superior a 1250mm
2. PROBLEMAS MAIS COMUNS	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Grave fissuração de expansão e de retração</li> <li>b. Erosão das paredes e fundações</li> <li>c. Abertura de sulcos pela chuva</li> <li>d. Danos mecânicos</li> </ul>
3. MEDIDAS DE PREVENÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Boa seleção do solo</li> <li>b. Plano de execução e controle da habitação, com boa drenagem</li> <li>c. Fundação de concreto, blocos de concreto solo-cimento e rochas. Se a precipitação anual é maior que 2000mm, recomenda-se fundação elevada 60cm do solo</li> <li>d. Fundação impermeável a umidade devido ascensão capilar</li> <li>e. Radiers e calçadas em volta de habitação</li> <li>f. Calhas e canos de escoamento da água pluvial</li> <li>g. Varandas para proteção contra chuvas com vento</li> <li>h. Telhados com avanços mais amplos</li> <li>i. Revestimento impermeável à água e resistente à erosão</li> <li>j. Melhoria da execução</li> <li>k. Sistemas de financiamento para realização de medidas de prevenção à degradação</li> </ul>

Tabela II.1 - Medidas de prevenção recomendadas para aumento da durabilidade da habitação construída com solo de acordo com o tipo de clima (reprodução parcial - HAMMOND, 1973)

### III. MÉTODO DE PESQUISA

#### III.1 - Introdução

Esta pesquisa foi subdividida em duas fases distintas. Na fase inicial, uma vez que se tinha optado pelo estudo de solos não estabilizados, para aplicação na construção de moradias de baixo custo e pequeno porte (1 a 2 pavimentos), pretendia-se a execução de uma habitação-protótipo no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, segundo convênio assinado entre esta universidade e a Universidade de Kassel, da R.F. da Alemanha.

A opção pela não estabilização química dos solos estudados, conforme dito anteriormente, deve-se ao projeto de transferência de tecnologia da universidade alemã para a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma vez que a primeira desenvolve este tipo de pesquisa a um longo tempo.

Inicialmente, procurou-se estudar alguns pontos relativamente próximos do local de construção do protótipo. Visava-se desta forma, facilitar o uso dos solos, minimizando ainda os custos com transporte. Além disso, a área de estudo ficou restrita somente ao município de Porto Alegre.

Assim, os critérios seguidos para seleção de alguns locais de estudo, num primeiro instante, além da análise preliminar de solos julgados mais adequados, foram:

-jazidas de solos próximas ao local no qual seria executado o protótipo;

-jazidas localizadas nas imediações de vilas, em especial aquelas que evidenciassem a existência de população de

baixa renda;

-jazidas que possibilitassem futuras retiradas de solo em grande quantidade.

Em um segundo momento, devido ao adiamento da execução do protótipo, e a não inclusão do mesmo na pesquisa, o estudo ficou limitado a avaliação de algumas das principais unidades geotécnicas da região metropolitana de Porto Alegre, sempre voltada a aplicação na construção de habitações de baixo custo.

Na segunda fase de trabalho, que corresponde a pesquisa propriamente dita, estas unidades geotécnicas foram estudadas quanto às suas características físicas e mecânicas. Verificou-se logo de início, através da revisão bibliográfica e da análise de desempenho mecânico dos corpos-de-prova, que as recomendações de trabalhos realizados em países de clima temperado, quanto às características físicas mais adequadas à construção com solos, não adaptavam-se ao caso dos solos subtropicais. Ou seja, parâmetros de orientação para escolha do material mais apropriado, como granulometria, peso específico aparente seco máximo, limites de Atterberg, entre outros, não se mostraram totalmente aplicáveis ao nosso caso.

Estas diferenças devem-se às características específicas dos solos de países de clima tropical e/ou subtropical. Em especial no caso de litologias complexas e variadas, como é o caso da região em estudo, e com a atuação de processos pedogenéticos intensos. Desta forma, poderia ter-se solos com teores mais elevados de argila, por exemplo, o que não seria recomendado para a prática de construção, mas que tivesse resultados satisfatórios, ou ao contrário, solos dentro das especificações, mas com resultados negativos.

Os trabalhos de mapeamento geotécnico realizados na região metropolitana de Porto Alegre, (ORLANDINI, 1991, BASTOS, 1991, PINHEIRO, 1991), na época desta pesquisa, ainda não haviam sido publicados. Atualmente, os mesmos servem de subsídios para este tipo de estudo e qualquer outra análise de desempenho geomecânico das principais unidades existentes na área. Deste

modo, ao invés de se buscar o "solo ideal", houve a preocupação principal de se estudar jazidas de solos em algumas das principais unidades geotécnicas da região metropolitana de Porto Alegre, mas com o enfoque citado anteriormente. As amostras foram tomadas daqueles horizontes de solo mais profundos e ao mesmo tempo com maior volume disponível.

O estudo de solos para avaliação de características e propriedades geotécnicas, segue, de modo geral, recomendações do método desenvolvido por DAVISON DIAS (1984, 1987, 1989), o qual visa a estimativa de unidades geotécnicas, servindo de base para o respectivo mapeamento das mesmas. Utiliza-se ainda alguns critérios básicos da ABCP (1984) e LEMOS (1984) para prospecção de jazidas e coleta de amostras de solos.

O presente trabalho não objetiva o mapeamento geotécnico, visto que para isto seriam necessários um número maior de pontos estudados e quantidades maiores de ensaios. Pretende-se apenas o estudo de alguns locais (jazidas) verificando-se a possível adequação à construção com solo não estabilizado. Porém, procura-se definir estes mesmos locais dentro de unidades pedológicas e geomorfológicas e ocorrências geológicas na área de estudo. Entende-se ser esta uma maneira de dar uma maior amplitude ao trabalho desenvolvido.

É realizado inicialmente um estudo de escritório, seguido de uma investigação de campo com retirada de amostras. Procede-se então a ensaios de laboratório, de modo a caracterizar os solos estudados, determinando-se também aquelas propriedades geotécnicas necessárias a esta pesquisa. A partir dos resultados obtidos, realiza-se uma análise comparativa dos dados obtidos com aqueles valores normalizados, ou referentes a trabalhos realizados com diferentes tipos de solos, visando o emprego em habitações, apesar dos problemas de correlação citados anteriormente. Esta comparação serve para avaliação do desempenho mecânico dos diversos solos estudados (resistência à compressão simples, absorção, etc.) em relação a norma alemã de construção com solos, DIN 18953 e DIN 18954 e a norma brasileira para tijolos de solo-cimento, NBR 8492 (ABNT, 1984).

### III.2 - Desenvolvimento do Trabalho de Escritório

O trabalho de escritório consiste numa análise de todas as informações existentes sobre a área de estudo. Em especial, no que diz respeito aos diversos tipos de solos que ocorrem na região, bem como quanto a situação em que os mesmos se encontram (ocupação urbana, quantidade de material disponível, entre outros). Pelo fato de se buscar a aplicação destes solos na construção de habitações de baixo custo, torna-se importante a obtenção destas informações adicionais, as quais serão confirmadas, ou não, nos trabalhos de campo.

O início da escolha de jazidas próximo a vilas baseou-se em trabalho anterior realizado por CRUZ (1988). Alguns pontos pesquisados pelo autor foram utilizados, sendo a maioria deles descartada por estarem já ocupados, de forma a inviabilizar a utilização do material. Outras jazidas já haviam sido esgotadas, restando apenas material rochoso ou semi-alterado. Por fim, existiam aquelas em que a partir de uma simples inspeção tátil-visual mostravam ser inadequadas à construção com solo sem o uso de estabilizante (por exemplo, material muito grosseiro, com percentagem de finos muito pequena).

Para análise preliminar dos diversos tipos solos que ocorrem nestes locais, é de grande validade o emprego de levantamentos geológicos, pedológicos, planialtimétricos e geográficos, da mesma forma como é realizado para o mapeamento geotécnico. Além disso, pesquisas de caráter geotécnico realizados na região são de grande importância para o conhecimento prévio da área em estudo.

Para realização destes ensaios foram coletados de 35 a 40kg de solo por ponto de estudo. Para o caso de solos granulares, a quantidade coletada foi em torno de 50kg. Devido aos tipos de ensaios realizados, não foram coletadas amostras indeformadas. A retirada de amostras segue o método proposto pela ABCP (1984).

### III.3 - Desenvolvimento do Trabalho de Campo

Esta etapa compreende as atividades de campo que visem ampliar, confirmando ou não, as informações obtidas na etapa anterior, referentes ao trabalho de escritório. É necessário para isto, um primeiro contato com os locais previamente selecionados.

Posteriormente executa-se a retirada de amostras para realização dos ensaios de laboratório. Desta forma, pode-se dividir esta etapa em dois itens: investigação preliminar do local escolhido e retirada de amostras.

#### III.3.1 - Investigação preliminar do local escolhido

A investigação do solo no seu local de ocorrência, onde o mesmo encontra-se em condições naturais, é de grande importância para um maior conhecimento do material pesquisado. Os primeiros contatos se dão através de uma análise tátil-visual do conjunto e das diversas partes do perfil de solo. Além disso, na pesquisa destas áreas, é possível definir as condições em que as mesmas se encontram.

As principais informações obtidas nesta fase são:

- condições de acesso ao local da jazida;
- situação da jazida com relação a ocupação do solo urbano nas proximidades da mesma;
- análise preliminar da quantidade e qualidade do material existente no local;
- informações de caráter geral (áreas de preservação, expansão da malha urbana, etc.).

A investigação prévia é realizada naqueles locais que apresentam taludes naturais ou escavados, nos quais seja possível observar-se o perfil de solo e a sua diferenciação de horizontes.

### III.3.2 - Retirada de amostras

A retirada de amostras em quantidade suficiente e de modo representativo do local, visa fornecer material para realização de uma série de ensaios, de modo a caracterizar o solo e verificar a viabilidade técnica de utilização do mesmo como material de construção para habitações de baixo custo.

Segundo VIEIRA (1975), para o estudo do solo, o mais importante no procedimento de amostragem para análise, é que esta seja a mais representativa do local a ser estudado. Para isto deverá ser feita uma avaliação sumária da área, o que conduzirá a uma amostragem adequada do solo para o fim a que será destinado a sua utilização. Deve-se levar em conta determinados procedimentos, de modo que o local ou os locais escolhidos apresentem o mínimo de variação dentro das unidades a serem amostradas e que realmente possam ser considerados como ideais para representarem suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas.

Ao se realizar a coleta de solos, realiza-se a identificação dos horizontes, anotando-se ainda as características morfológicas dos mesmos. São características mais importantes: espessura, cor, textura, estrutura, presença de materiais primários, transição entre horizontes, entre outras. São seguidas nesta etapa os critérios de LEMOS (1984) e ABCP (1984), conforme citado anteriormente.

A espessura dos horizontes do perfil de solo e suas respectivas qualidades influenciam na escolha do material para posterior estudo e aplicação prática.

### III.3.3 - Ensaio laboratoriais

A partir de uma série de ensaios de determinação de propriedades mecânicas, associados aos ensaios de caracterização, procura-se obter uma melhor definição da viabilidade de utilização dos diferentes materiais pesquisados.

São realizados, além dos ensaios de caracterização, ensaios de resistência à compressão simples, absorção por capilaridade e de resistência à erosão. O ensaio de determinação do índice Suporte Califórnia foi realizado para alguns dos solos estudados, em convênio com a CIENTEC. Além destes ensaios foram moldados corpos-de-prova na forma de blocos retangulares, os quais simulam pequenos segmentos de paredes. Estes corpos de prova foram expostos ao tempo.

### III.3.3.1 - Ensaio de caracterização geotécnica

O conhecimento das características físicas de um solo é de grande importância para o entendimento do seu desempenho mecânico quando da sua utilização em obras de engenharia.

Qualquer pesquisa mais séria a respeito de solos para construção, em especial para obras que prevêem a execução de muitas unidades, como por exemplo, conjuntos habitacionais, necessita de um número mínimo de ensaios de laboratório. Dentre estes, são realizados os seguintes:

- Análise granulométrica de solos (NBR 7181) ABNT;
- Determinação do limite de plasticidade (NBR 7180) ABNT;
- Determinação do limite de liquidez (NBR 6459) ABNT;
- Determinação do limite de contração (ME/DNER 87-64);
- Determinação da massa específica dos grãos de solo (NBR 6508) ABNT;
- Compactação de solos - método B (25 golpes do soquete) (ME/DNER 48-64);
- Índice de Suporte Califórnia (CBR) de solo com amostra não trabalhada - método de ensaio-ME/DNER 49-74;

Para preparação e amostra de solo para ensaios de compactação e caracterização utilizou-se a norma ME/DNER 41 - 63.

Após a realização dos ensaios de caracterização, os mesmos foram identificados segundo os sistemas tradicionais de

classificação de solos, ou seja, SUCS e HRB/AASHO e ainda a classificação textural, através do diagrama triangular trilinear, os quais são apresentados por LAMBE e WHITMAN, (1979).

A análise mineralógica também é realizada com a finalidade de determinar de forma qualitativa e semiquantitativa os componentes mineralógicos das frações de pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila. São realizados para tal difratogramas de raio-x e análises microscópicas. Esta análise serve também como estimativa direta das características expansivas do solo. Esta mesma estimativa é realizada através de métodos indiretos, comparando-se os valores de limites de consistência e da atividade coloidal com as correlações estabelecidas por diversos autores, citados no capítulo 2.

A análise mineralógica foi realizada no laboratório de difratometria de raio-x do instituto de geoquímica da UFRGS. A análise da fração grosseira foi realizada por meio de lupa, enquanto para a fração fina ( $<2\mu$ ) foram ensaiadas amostras de solo nas condições orientada natural, calcinada e glicolada. O aparelho de raio-x utilizado é da marca SIEMENS D5000. As condições de ensaio foram as seguintes:

Tubo anticátodo: cobalto

Filtro: monocromador de ferro (Fe)

Voltagem: 30kV

Corrente: 40mA

Velocidade do goniômetro: 1,5seg. a cada 0,02 graus

#### III.3.3.2 - Ensaio para determinação de propriedades mecânicas

O estudo de comportamento mecânico de solos implica na moldagem de uma série de corpos-de-prova, os quais são posteriormente ensaiados, de modo a avaliar os seus respectivos desempenhos.

A - Resistência à compressão simples:

Os testes de resistência à compressão simples e de absorção por capilaridade são realizados em corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões aproximadas de 5,0 x 10,0cm (diâmetro x altura), de acordo com ensaio de compressão simples, descrito por FRAENKEL (1980) conforme método ME/DNER 180-87. A opção por corpos-de-prova cilíndricos procura simular a situação de paredes monolíticas moldadas na umidade ótima de compactação, obtida através do ensaio de compactação na energia do Proctor Normal, citado anteriormente. DOAT et alii (1979) cita o mesmo ensaio realizado com corpos-de-prova cilíndricos de 5cm de diâmetro por 5cm de altura, moldados com as mesmas características do material a ensaiar. MINKE (1984), descreve este ensaio sendo realizado com amostras na forma de cubos com 30cm de lado. Segundo DIN 18953 (1956), o ensaio de resistência à compressão simples em tijolos moldados com prensas manuais, utilizando solo não estabilizado, não deve ser realizado, pois estes tijolos possuem porosidade elevada, com baixa resistência, alta erodibilidade e absorção. Este problema não ocorre com amostras moldadas nos cilindros, onde pelo melhor controle da umidade ótima de compactação, pode-se obter a máxima densidade de compactação.

Para moldagem destes corpos-de-prova, é utilizado um cilindro tri-partido, facilitando a desmoldagem da amostra. A opção por este tipo de corpo-de-prova, o qual possui uso bastante generalizado, deve-se ao fato do mesmo apresentar dimensões reduzidas, facilitando a execução do ensaio, com a conseqüente economia de material empregado.

Para cada amostra de solo, molda-se no mínimo cinco corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão simples e mais cinco corpos-de-prova para o ensaio de absorção por capilaridade. Utiliza-se a umidade ótima de compactação, obtida no ensaio de Proctor, de acordo com a norma ME/DNER 48-64, descrita por FRAENKEL (1980).

A determinação da carga de ruptura do corpo-de-prova é realizada na prensa para compressão, da marca WYKEHAM FARRANCE, com velocidade de deformação de 1,17mm/min. Cada conjunto de no

mínimo cinco corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão simples, referentes à mesma amostra de solo, é testado com umidades diferentes. Basicamente, o ensaio é realizado com três teores de umidade diferentes:

a. corpos-de-prova secos à temperatura ambiente, em local abrigado, durante 7 dias. Após este período, os corpos-de-prova são colocados no forno durante 24 horas ou até constância de peso, com temperatura entre 70 e 75°C;

b. corpos-de-prova secos à temperatura ambiente como no caso anterior, durante 7 dias somente;

c. corpos-de-prova moldados e imediatamente após rompidos. A umidade na qual a amostra é rompida, neste caso, é a própria umidade ótima de compactação.

A ruptura das amostras após o ensaio de absorção por capilaridade, quando as mesmas têm saturação próxima a 100%, foi realizada quando a base do corpo-de-prova não estava comprometida. Porém, os valores obtidos, bastante baixos, seviram apenas para uma avaliação qualitativa devido a este problema.

#### B - Absorção por capilaridade:

O ensaio de absorção por capilaridade é semelhante ao proposto por L.N.E.C. et al (1973), para determinação da absorção em cápsulas moldadas conforme ensaio de determinação do limite de contração, descrito por FRAENKEL (1980). DOAT et alii (1979), cita o mesmo ensaio realizado por alguns órgãos de pesquisa americanos, utilizando amostras cúbicas com 10cm de lado. Os corpos-de-prova no caso desta pesquisa, são moldados como aqueles para o ensaio de resistência à compressão simples (item a, citado anteriormente). Após o período de secagem em estufa durante 24 horas ou até constância de peso, os corpos-de-prova devidamente resfriados, são colocados sobre pedras porosas (foto III.1), imersas em água até o nível superior da face lateral destas pedras, em contato com a base dos corpos-de-prova. O tempo de ensaio é de 24 horas. O ensaio é realizado em uma sala fechada, com a temperatura mantida

aproximadamente constante (em torno de  $23^{\circ}\text{C}$ ), realizando-se leituras periódicas da mesma. O nível de água no recipiente é mantido praticamente constante no decorrer do ensaio, com reposição da água absorvida ou eventualmente evaporada. Observou-se no decorrer dos ensaios, que a maior parte da absorção se dá nas primeiras horas de exposição da amostra. O ensaio de absorção por imersão em água não foi utilizado, pois a imersão ocasionava em todos os casos, a rápida destruição do corpo-de-prova. Foram utilizados no mínimo 5 corpos-de-prova para cada solo, e a absorção é obtida através da média das cinco amostras. A absorção de cada amostra é obtida pela diferença entre o peso úmido e o peso seco do corpo-de-prova, dividida pelo peso seco inicial do mesmo corpo-de-prova.

#### C - Resistência à erosão:

Conforme citado anteriormente, um dos principais problemas existentes nas construções com solo, é a erosão das paredes externas, intimamente ligada ao fator durabilidade da habitação. Na tentativa de simular esta situação, procede-se ao ensaio de resistência à erosão.

Este ensaio é realizado em um aparelho simulador da deflecção das gotas de chuva contra a parede da habitação, montado e executado conforme trabalho realizado por VAIDYANATHAN & RAMASWAMY (1978).

O aparelho simulador da deflecção (figura III.1) consiste de um reservatório elevado, mantido com o nível de água constante. Na base deste reservatório existe uma saída de água ligada a uma tubulação horizontal com orifícios igualmente espaçados. Estes orifícios lançam jatos de água em um defletor inclinado, o qual desvia estes jatos na forma de pequenas gotas de 1 a 2mm de diâmetro, com um espaçamento e velocidades praticamente constantes. Cada dois minutos de descarga do aparelho pode ser considerado, segundo os autores, equivalente a uma precipitação pluviométrica de 1,3cm. Um piezômetro é colocado ao longo desta canalização de modo a verificar o nível da água no reservatório, o qual possui um "ladrão" para saída do

excesso de água. A abertura da válvula de saída de água regula a descarga da mesma.

Os corpos-de-prova a serem ensaiados (foto III.2) são colocados a 20cm do ponto de incidência do jato de água do defletor. Após 2 minutos de exposição de cada uma das duas faces opostas do corpo-de-prova aos jatos de água defletidos, o material erodido é coletado, seco e pesado. São realizados três ciclos iguais ao anterior para cada um dos elementos do conjunto de cinco corpos-de-prova. As faces opostas ensaiadas são as mesmas em todos os ciclos. Cada ciclo é realizado com um espaçamento de 24 horas, quando a superfície dos corpos-de-prova, mantidos à temperatura ambiente, já estão praticamente secos.

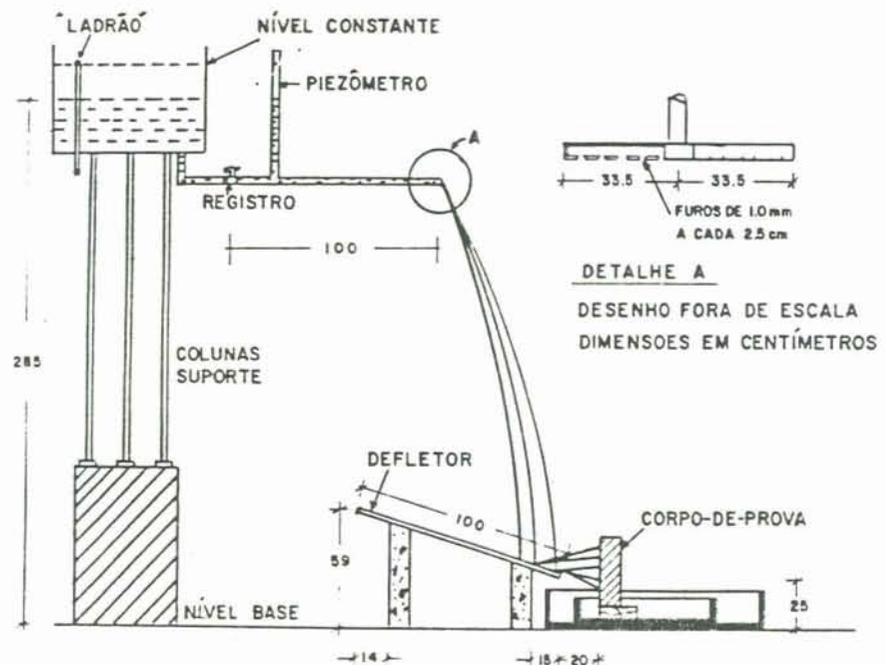


Figura III.1 - Ensaio de erosão - aparelho simulador da deflecção das gotas de chuva contra a parede da habitação (VAIDYANATHAN e RAMASWAMY, 1978)

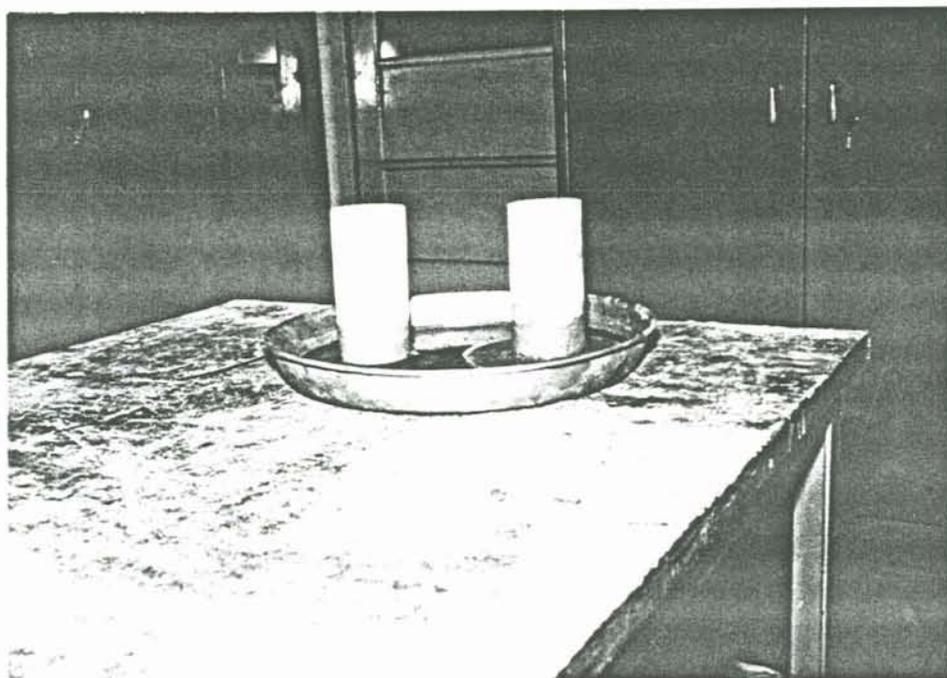


Foto III.1 - Ensaio de absorção por capilaridade

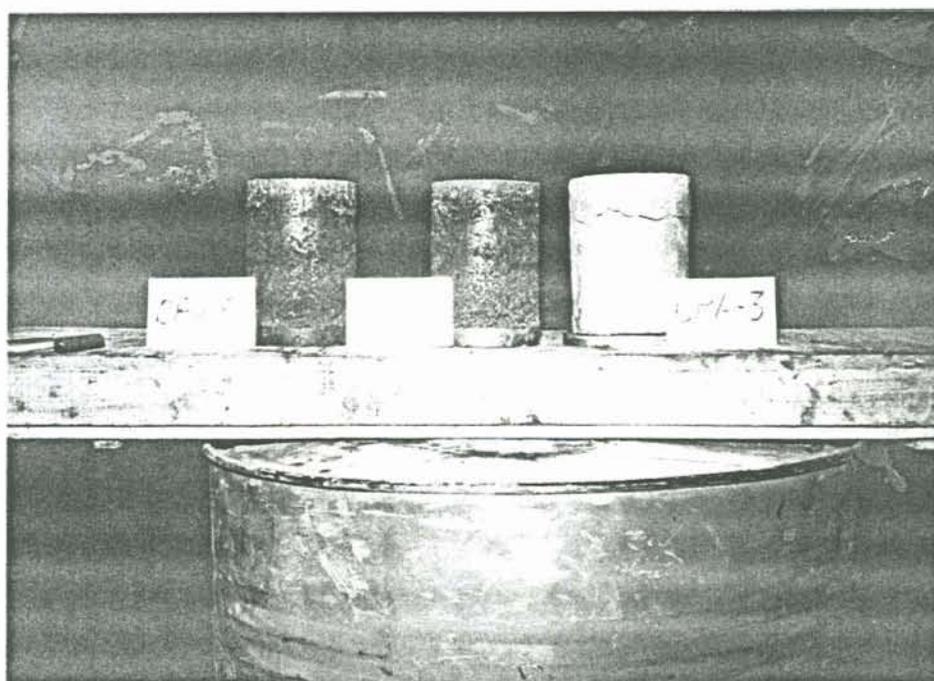


Foto III.2 - Corpos-de-prova sem proteção externa e com reboco, preparados para o ensaio de erosão

Calcula-se a média dos pesos de material erodido nos três primeiros ciclos, para cada corpo-de-prova, referente a determinado solo. A seguir, toma-se a média das médias destes cinco corpos-de-prova, sendo este valor final considerado como índice da taxa de erosão dos mesmos (peso seco do material erodido em relação ao peso inicial da amostra).

Finalmente, após os três ciclos de resistência à erosão, os corpos-de-prova foram testados quanto a resistência à compressão simples.

Quanto às dimensões dos corpos-de-prova, houve uma modificação em relação ao trabalho original, onde estes possuíam forma de pequenas blocos com dimensões de 49,0 x 34,0 x 8,8 cm ou 24,0 x 17,0 x 8,8cm. São utilizados corpos-de-prova moldados no ensaio de compactação, com as dimensões de 4" x 5" (diâmetro x altura). A moldagem é feita com a energia normal de compactação do ensaio de Proctor, igualmente ao realizado para os corpos-de-prova do ensaio de resistência à compressão simples.

A escolha de elementos de menor dimensão e de forma diferente a de uma parede, a qual simula uma situação mais próxima da realidade, é devida a necessidade de uma maior praticidade no ensaio. Elementos de dimensões e pesos elevados dificultam o manuseio e transporte dos mesmos. Além disso, necessitam de um volume de solo mais elevado para moldagem e mão-de-obra mais numerosa. Para cada bloco compactado, moldado para verificação da durabilidade quando exposto ao tempo, foram necessários mais de 100kg de solo.

Os corpos-de-prova reduzidos, pela facilidade de moldagem, permitem um número de amostras mais representativa, pois são moldados no mínimo cinco corpos-de-prova para cada condição de ensaio. Ressalva-se que, muito provavelmente, a forma do corpo-de-prova (cilíndrica), irá influenciar na erosão da amostra. Porém, serve para comparação entre as amostras moldadas desta mesma maneira. Além disso, conforme dito anteriormente, estes ensaios permitem uma análise mais

qualitativa do que quantitativa, devendo ser aperfeiçoados.

Para cada amostra de solo selecionada para o ensaio, são moldados no mínimo 20 corpos-de-prova, testando-se para cada conjunto de 5 elementos, em diferentes condições, os seguintes parâmetros:

-resistência à compressão simples dos corpos-de-prova secos (preparação e secagem conforme citado anteriormente);

-resistência à erosão dos corpos-de-prova secos e sem proteção externa;

-resistência à erosão dos corpos-de-prova secos e com pintura externa;

-resistência à erosão dos corpos-de-prova secos e com reboco externo.

Após os três ciclos de erosão, os corpos-de-prova são regularizados e avaliados quanto a perda de resistência em relação aos corpos-de-prova secos.

A tinta utilizada no ensaio é encontrada no mercado com o nome de CIMENTOL, sendo a mesma um produto à base de cimento, devendo ser, segundo o fabricante, impermeável à água. Os custos desta tinta, na época, mostravam-se compensadores quando comparados ao custo da cal.

A argamassa usada no reboco é constituída por cimento / cal / areia fina nas proporções 1 / 2 / 10, conforme recomendação de HAMMOND (1984).

A cal utilizada é do tipo dolomítica. A areia fina possui 100% dos grãos passando na peneira n<sup>o</sup> 50 (0,30mm).

#### D - Exposição à interpérie:

É realizada uma análise qualitativa do comportamento dos diversos solos estudados quando expostos à interpérie. Esta análise é feita através da moldagem de pequenos segmentos de paredes compactados, moldados na forma de blocos monolíticos. As dimensões destes corpos-de-prova são: 50,0 x 40,0 x 30 cm, sendo

a altura de compactação dividida em sete camadas de mesma espessura. A partir do conhecimento do peso específico aparente seco máximo e do volume da forma dos blocos, obtinha-se o peso de solo seco necessário para compactação dos blocos.

Para compactação utiliza-se um soquete de seção quadrada para compactação manual, a qual é executada até atingir-se a densidade máxima, pelo controle da altura da parte superior da camada até o topo da forma. Após a compactação de cada camada realiza-se a escarificação desta, para maior entrosamento com a camada superior.

A forma de moldagem empregada (foto III.3) foi construída em madeira, sendo as paredes lubrificadas, para facilitar a desmoldagem. Esta desmoldagem é realizada logo após a execução da compactação, em local ao ar livre, cobrindo-se com uma lona impermeável para perda lenta de umidade. Após 10 dias, procede-se ao descobrimento dos blocos e à colocação de uma cobertura somente na parte superior do bloco, deixando as laterais livres e expostas à interpérie (exemplo foto VI.1). Esta cobertura não oferece proteção adequada como no caso de um telhado com prolongamento de beirais. Avalia-se qualitativamente a erosão e as fissuras ao longo do tempo. A avaliação quantitativa de expansão e retração foi tentada inicialmente, mas devido a ação intensa de sol e chuva sobre o corpo-de-prova e o método manual de medidas, tornou completamente inviável a realização desta avaliação, devido a grande imprecisão destas medidas. Deve-se levar em conta que condição de exposição ao ar livre é bastante diferente da condição de um ensaio de laboratório, onde pode-se controlar as ações externas sobre os corpos-de-prova. O simples acompanhamento da evolução do estado do corpo-de-prova mostrou-se mais vantajoso, fornecendo uma boa idéia do comportamento da amostra numa situação mais próxima da realidade, apesar da condição de exposição ter sido bastante rigorosa.

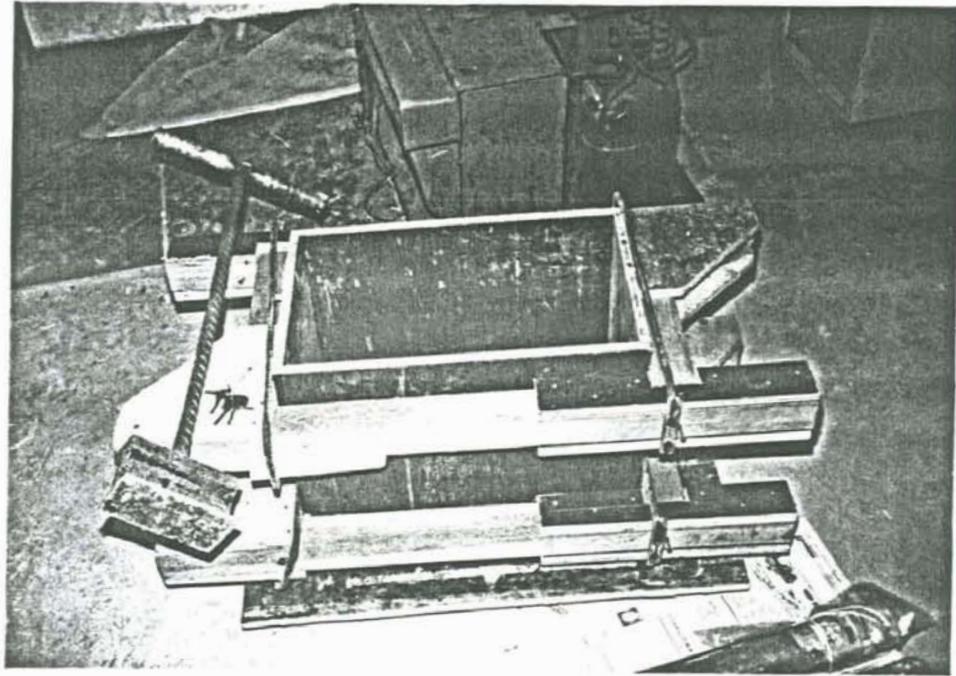


Foto III.3 - Forma de moldagem dos blocos compactados

## IV. ÁREA DE ESTUDO

### IV.1 - Características Gerais da Área de Estudo

A área de estudo compreende basicamente jazidas de solos situados nos municípios de Porto Alegre, Cachoeirinha e São Leopoldo. A figura IV.1 apresenta uma representação esquemática das jazidas dentro dos respectivos municípios da região metropolitana de Porto Alegre. Estes municípios localizam-se na porção leste do estado do Rio Grande do Sul, apresentando grande densidade populacional. A população de baixa renda, como ocorre nas grandes cidades do país, concentra-se nas vilas ao redor destas aglomerações.

Porto Alegre, o maior dos tres municípios, situa-se na margem leste do Lago Guaíba, possuindo uma área de  $497\text{km}^2$ . Enquanto isso, o município de Cachoeirinha está localizado na margem direita do rio Gravataí, com uma área de  $67\text{km}^2$ . O município de São Leopoldo, por sua vez, situa-se às margens do rio dos Sinos, apresentando uma área de  $60\text{km}^2$ .

### IV.2 - Características Geomorfológicas

A Região Metropolitana da Porto Alegre, devido a sua localização geográfica, possui uma grande heterogeneidade em termos de feições geomorfológicas. Isto deve-se ao fato da mesma localizar-se na zona de transição das quatro províncias geomorfológicas do estado do Rio Grande do Sul, sendo estas a Planície Costeira, a Depressão Periférica, o Escudo Sul-Riograndense e o Planalto Meridional.

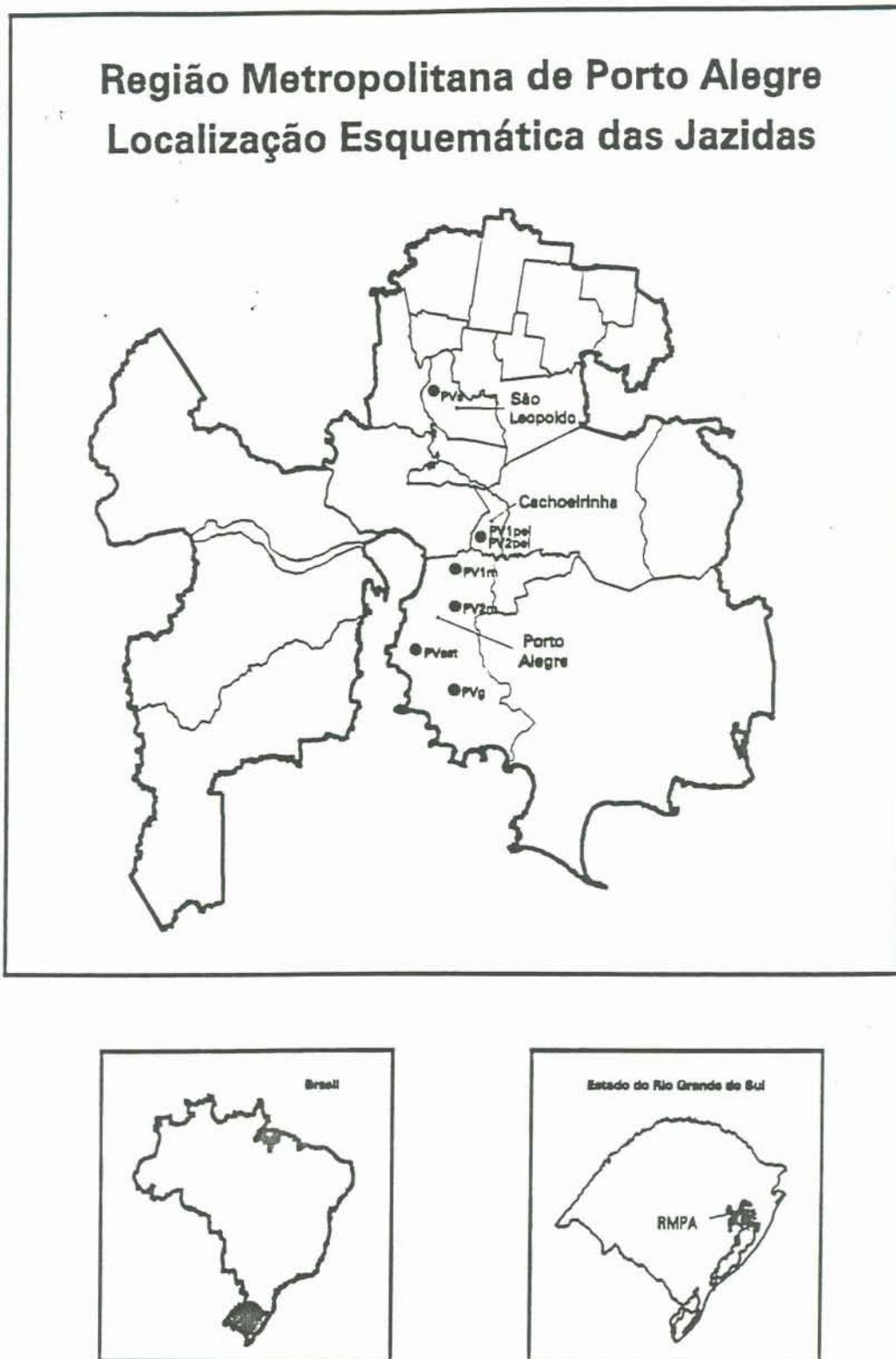


Figura IV.1 - Localização esquemática das jazidas de solos estudadas dentro das respectivas unidades geotécnicas na região metropolitana de Porto Alegre.

O limite norte da região coincide com os bordos do Planalto Meridional, onde encontram-se as escarpas basálticas e formações sedimentares constituídas por arenitos. Aparecem morros e colinas separadas por pequenos vales.

O relevo mais forte da região é constituído pelo Escudo Cristalino, aparecendo na margem esquerda do Guaíba e a sudoeste da área, na forma de morros, relevo residual e coxilhas. Nesta unidade é que estão localizados a maior parte dos perfis estudados.

Entre o Planalto e o Escudo, aparece a Depressão Periférica, onde se situam os rios Jacuí e Gravataí, bem como os rios Caí e dos Sinos, com suas respectivas planícies, terraços e banhados. Nesta área de transição morfoestrutural localizam-se os municípios de São Leopoldo e Cachoeirinha.

A leste e sudeste da Região Metropolitana encontra-se a Planície Costeira, que constitui as terras baixas das margens do Guaíba.

O núcleo de Porto Alegre está composto por morros e relevo residual das rochas do Escudo Cristalino. O outro núcleo localiza-se a nordeste da região, onde encontram-se morros e morros testemunhos das formações Botucatu e Serra Geral. O terceiro núcleo é formado pela borda nordeste do Escudo Sul-Riograndense. Esta é a região na qual situam-se as nascentes e as bacias de recepção dos arroios tributários do sistema dos Sinos, Gravataí, Jacuí e Guaíba. Os morros apresentam um manto de alteração residual bastante espesso e a vegetação é composta por gramíneas e arbustos.

Estudos realizados pela METROPLAN (1978, 1993), determinaram uma compartimentação geomorfológica na área de estudo, individualizando as seguintes unidades geomorfológicas:

- a. Patamares da Serra Geral: corresponde ao relevo de transição para o Planalto Meridional. Refere-se a área do relevo de cuestas arenítico-basáltica.

b. Depressão do Rio Jacuí: é a região mais arrasada, com relevo mais suavizado, composto de pequenas coxilhas de vertentes convexizadas.

c. Planícies e Terraços Lagunares: refere-se a área com relevo de acumulação, com formas predominantemente planas, associadas a planícies de inundação de cursos d'água e terraços lagunares.

d. Planalto Residual Canguçu e Planalto Rebaixado Marginal: unidades onde predominam processos de dissecação intensa sobre rochas cristalinas de idades pré-cambrianas. Formam-se relevos acentuados, na forma de colinas e morros com cristas alongadas, até coxilhas mais suavizadas.

De modo geral, as jazidas investigadas estão relacionadas a relevos suave-ondulado a ondulado, dentro de algumas destas unidades geomorfológicas, de acordo com a compartimentação realizada nestes trabalhos.

#### IV.3 - Geologia

Procede-se a seguir a uma breve descrição geológica daqueles materiais referentes ao substrato dos solos estudados, e responsáveis pela formação dos solos saprolíticos, subjacentes aos solos com desenvolvimento pedogenético mais intenso, denominados de solos lateríticos para fins de engenharia. Estes últimos podem ou não ter sua origem relacionada ao material subjacente, sendo importante observar-se a campo a existência ou não de descontinuidade litológica.

Devido a localização peculiar da área de estudo, são encontradas litologias bastante distintas, formando as diferentes unidades geotécnicas investigadas. São descritas as diversas unidades geológicas, e quando possível, e na presença de um geólogo, foram realizadas em alguns pontos descrições de ocorrências locais, nos pontos de estudo. Para análise de

características geotécnicas dos solos, as descrições geológicas mais específicas de determinados locais, são de maior validade do que descrições mais amplas, de grandes unidades.

As unidades geológicas ocorrentes nas áreas estudadas, desde as mais antigas, até as mais recentes são: o Embasamento Cristalino do Escudo Sul-Riograndense, a Formação Estrada Nova, pertencente ao grupo Passa Dois, a Formação Botucatu, relacionada ao grupo São Bento, e ainda os Sedimentos Terciários e Quaternários referentes aos Depósitos de Encosta (leques aluviais, coluviões e eluviões), denominados de Formação Gravataí por MORRIS (1963) no município de Cachoeirinha e de Alterito Serra de Tapes no município de Porto Alegre, segundo SCHNEIDER et alii (1974).

#### IV.3.1 - Escudo Sul-Riograndense

O complexo conjunto de migmatitos, gnaisses e granitos a leste do Escudo, denominado por JOST e VILLWOCK (1966) como Grupo Cambaí, foi posteriormente descrita por RADAMBRASIL (1986) como a zona de ocorrência do Complexo Canguçu, estando encravado neste a Suíte Intrusiva Arroio dos Ladrões. Esta última, composta por corpos graníticos distintos, possui denominações locais no mapeamento realizado por SCHNEIDER et alii (1974). Os locais estudados na presente pesquisa referem-se ao que foi denominado pelo autor como Granito Santana, e mais genericamente os migmatitos homogêneos e heterogêneos. Na presente pesquisa resolveu-se considerar estes últimos como associações complexas de granitos e gnaisses, de acordo com trabalhos mais recentes de diversos autores.

##### a. Granito Santana

É um corpo granítico de forma alongada, tectonicamente controlado por falhas, estabelecendo uma estrutura do tipo muralha. Constituído essencialmente de feldspatos róseos e esbranquiçados e quartzo. É um granito alaskítico, alcalino a sub-alcalino, albitizado. Segundo análise de BASTOS (1991), o solo saprolítico relacionado a esta rocha, apresenta uma fração

grosseira composta de quartzo e feldspato alcalino em alteração.

#### b. Associações graníticas e ortognáissicas

Segundo CPRM (1993), na área de estudo, as rochas pertencentes ao embasamento cristalino estão divididas em seqüências de rochas ortognáissicas de composição granodiorítica a siénograníticas, recortadas por intrusões graníticas (não deformadas) posteriores.

#### IV.3.2 - Formação Estrada Nova

Estes materiais constituem parte das formações sedimentares do Permiano (Paleozóico), as quais apresentam-se em seqüências estratigráficas. RADAMBRASIL (1986) descreve os materiais desta formação como lamitos cinza-escuro a negros, cinza-claro quando intemperizados, argilitos, siltitos e arenitos finos de cor cinza-claro a esverdeado com concreções calcíferas de cor amarela. BRASIL (1987), descreve como argilitos, siltitos e folhelhos cinza a cinza-escuro, com lentes arenosas caclcíferas e gretas de contração. Por fim, CECO (1984), descreve esta mesma formação como sendo composta de folhelhos argilosos com intercalações de arenitos finos e siltitos. É comum na área de Cachoeirinha, onde foram estudadas duas jazidas de solos em seu horizonte B, o recobrimento destes materiais pela Formação Gravataí (MORRIS, 1963), descrita a seguir, de idade correspondente ao Terciário-Quaternário.

#### IV.3.3 - Formação Botucatu

Esta formação é constituída por arenitos de origem eólica, denominados de Arenito Botucatu. Segundo RADAMBRASIL (1986), estes materiais são constituídos por grãos arredondados, essencialmente de quartzo e localmente de feldspatos, de granulometria média a fina. Estes grãos estão interligados por cimento predominantemente limonítico, podendo ser também silicoso, o que lhe dá boa resistência. A perda progressiva do cimento ferruginoso o torna friável, transformando-o em areia, diminuindo sua resistência. Possui coloração vermelha, rósea e

amarelo-claro. Estes arenitos praticamente não possuem variações litológicas, o que lhes confere, de modo geral, propriedades texturais, mineralógicas e estruturais homogêneas.

Em NUNEZ (1991), a jazida estudada é descrita como sendo um "...afloramento em arenito, onde se verifica a estratificação acamadada de grande porte das dunas. Na parte superior do afloramento, onde a rocha está mais alterada (horizonte C), verifica-se que a mesma está sofrendo processo de descoloração e os feldspatos caolinização. A rocha não está bem cimentada, pois consegue-se desagregá-la facilmente com a pá."

#### IV.3.4 - Sedimentos terciários e quaternários

Estes sedimentos, que constituem o material de origem para muitos solos ocorrentes na área de estudo, são denominados geologicamente de leques aluviais e depósitos gravitacionais de encosta eluvionares e coluvionares, relacionados a litologias pré-existentes na região.

Os sedimentos de idade terciária-quaternária, denominados por SCHNEIDER et alii (1974) como Alterito Serra de Tapes, são descritos como paleossolos ferralitizados, relacionados às rochas graníticas da região. Os mesmos constituem uma unidade geotécnica na área em questão, formando espessos perfis de solos com características, em geral, de boa cimentação e avançado grau de desenvolvimento pedogenético.

Os depósitos gravitacionais de encosta e leques aluviais, encontrados na região de Cachoeirinha, são denominados por MORRIS (1963) de Formação Gravataí. Possuem idade Terciária (Plioceno) e seus conglomerados são formados por materiais diversos, desde aqueles relacionados às formações sedimentares, até aqueles materiais das escarpas basálticas (arenitos, basaltos), ocorrendo ainda alguns materiais granitóides. As proporções destes materiais são variadas, constituindo um recobrimento, não possuindo assim uma seção tipo. Observou-se que em alguns casos estes recobrimentos perdem a continuidade, ou tornam-se bastante pouco espessos, estando os solos mais

relacionados às formações sedimentares do que a esses materiais.

#### IV.4 - Pedologia

A pedologia vem assumindo um papel muito importante para estudos de solos para fins de engenharia. Através dos mapas pedológicos, com textos esclarecedores, obtém-se dados muito importantes para trabalhos com fins geotécnicos. Os dados pedológicos vêm sendo utilizados a bastante tempo em países como os Estados Unidos. No Brasil, nas últimas décadas o mesmo vem ocorrendo.

De acordo com KLAMT (1989), atualmente a pedologia é considerada como sendo a parte da ciência do solo que trata mais especificamente da caracterização, gênese e classificação dos solos. O conhecimento destes fatores são muito importantes para compreensão do processo evolutivo e as conseqüentes características mecânicas dos solos, formados a partir do intemperismo físico e principalmente químico. A definição de unidades pedológicas é realizada a partir de solos com características semelhantes.

A Região Metropolitana de Porto Alegre, devida a sua peculiar localização, com um sítio muito complexo e diversificado, apresenta uma grande variedade de unidades pedológicas. Segundo BRASIL (1973) e RADAMBRASIL (1986), os principais solos encontrados na região são classificados em: Litólicos, Podzólicos Vermelho-Amarelo, Podzólicos Vermelho-Escuro, Cambissolos, Planossolos, Gleis e Solos Aluviais.

As jazidas de solos investigadas, pertencentes às diversas unidades geotécnicas da área de estudo, são compostas basicamente por solos classificados pedologicamente como Podzólicos Vermelho-Escuro e Podzólicos Vermelho-Amarelo. O interesse pelo estudo destas unidades deve-se basicamente ao fato de que estes solos são os mais desenvolvidos pedologicamente sob o ponto de vista de profundidade dos perfis,

e pela sua representatividade na região. A opção, em dois casos, pelo estudo do horizonte C destes solos, ao invés do horizonte B, deve-se a quantidade de material disponível, entre outros fatores, que tornava o estudo destes materiais mais apropriados ao presente caso.

De modo genérico, os solos podzólicos estudados possuem características pedológicas semelhantes, distinguindo-se mais em função de características relacionadas ao material fonte e relevo. Aqueles materiais relacionados às rochas cristalinas referentes ao Escudo Sul-Riograndense (granitos, gnaisses, migmatitos), possuem textura mais cascalhenta, perfis um pouco menos profundos que aqueles solos localizados em relevos mais suavizados, e com textura mais fina. Também as cores tendem mais ao vermelho-amarelo, sendo menores os teores de óxido de ferro, segundo RADAMBRASIL (1986). Ainda em função da complexidade litológica, há uma variação mais intensa nos tipos de solos desenvolvidos, ocorrendo em muitos casos associações complexas de solos Podzólicos, Cambissolos, Solos Litólicos e Afloramentos de Rochas, em relevos mais movimentados. Devido principalmente a este fator que as zonas de relevo forte ondulado são descartadas deste estudo.

As áreas investigadas, correspondentes às unidades geomorfológicas Depressão do Rio Jacuí e a transição para os Patamares da Serra Geral, onde começam a aparecer os morros testemunhos desta unidade, correspondem às zonas de perfis mais profundos e de textura mais fina. O relevo é mais suave e alternam-se a ocorrência de perfis de solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho-Escuro. Na região de ocorrência dos depósitos gravitacionais de encostas das rochas do Escudo, denominados de Alterito Serra de Tapes, é que ocorrem os perfis mais profundos no município de Porto Alegre.

No caso geral de todos os perfis de solos podzólicos estudados, a seqüência normal dos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais é A, B, C, com o incremento de argila do horizonte A para o horizonte B, necessário para caracterização deste tipo de solo, denotando o processo de

eluviação-iluviação de argila. Em geral, a textura destes solos varia de areno-argilosa a argilosa cascalhenta no caso de substrato granitos, gnaisses e migmatitos, sendo normalmente bem drenados, apresentando argilominerais de baixa atividade na maioria dos casos analisados, predominantemente do grupo das caulinitas, de acordo com BASTOS (1991). Conforme descrição anterior, da geologia da área de estudo, os solos podzólicos no município de Porto Alegre são formados a partir do intemperismo de granitos, gnaisses e migmatitos, e mesmo sobre os depósitos coluvionares, denominados de Alterito Serra de Tapes por SCHNEIDER et alii (1974). No município de Cachoeirinha, os solos podzólicos estudados são formados a partir do intemperismo de materiais coluvionares, eluvionares e leques aluviais, de idades terciárias e quaternárias, ou ainda a partir de formações sedimentares de idade gonduânica. No caso do município de São Leopoldo, o substrato do solo estudado é o arenito de origem eólica da Formação Botucatu.

#### IV.5 - Clima

O clima da Região Metropolitana de Porto Alegre, segundo RADAMBRASIL (1986) e METROPLAN (1978), é classificado como subtropical, a temperatura no mês mais quente é superior a 23°C e no mês mais frio oscila entre -3°C e 18°C. A temperatura média anual é superior a 18°C. A média anual de precipitação varia entre 1200 e 1500mm, sendo os meses mais chuvosos junho (134mm) e setembro (130mm), e o mais seco, novembro (77mm). De acordo com MORENO (1961), a região tem um clima de transição, com umidade elevada e temperatura moderadamente alta.

#### IV.6 - Vegetação

Segundo RADAMBRASIL (1986), a Região Metropolitana de Porto Alegre está caracterizada como área de tensão ecológica, pois consiste de uma área de transição entre a Savana, muito comum no estado, e áreas de Formações Pioneiras e Floresta Estacional.

## V - MATERIAIS ESTUDADOS

Dentro da área de estudo, foram analisados inicialmente uma série de perfis, referentes a algumas das diversas unidades geotécnicas da região metropolitana de Porto Alegre. Após avaliações prévias, citadas no capítulo 3, optou-se pelo estudo de 7 jazidas com condições de exploração. Estas jazidas pertencem a 6 unidades geotécnicas distintas, e os solos estudados dentro das mesmas não correspondem necessariamente ao perfil modal destas unidades. Os solos destas unidades foram então estudados mais detalhadamente. A tabela V.1 apresenta uma análise geral das condições atuais e características dos locais visitados e eventualmente selecionados para pesquisa. Alguns destes locais (jazidas) foram estudados por CRUZ (1988), visando a estabilização com solo-cimento para aplicação em moradias de baixo custo. Outros pontos selecionados, foram visitados conjuntamente com BASTOS (1991), que realizou o mapeamento geotécnico do município de Porto Alegre. Além destes, outros locais foram selecionados. O quadro geral anexo apresenta os resultados de uma série de ensaios realizados em diversos perfis de solo, estando presentes mesmo resultados de ensaios de compactação e para determinação do Índice Suporte California (ISC) de solos não incluídos nesta pesquisa. Estes ensaios foram realizados em convênio com a Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), tendo sido incluídos na bateria de ensaios mesmo aqueles solos que fizeram parte somente da investigação prévia de jazidas, mas que não foram estudados mais detalhadamente na presente pesquisa.

As jazidas selecionadas, constam tanto de solos denominados lateríticos, para fins de engenharia, relacionados a uma maior evolução pedogenética dos horizontes superficiais e subsuperficiais, como aqueles denominados saprolíticos, correspondentes aos horizontes menos desenvolvidos do ponto de

JAZIDA	LOCALIZACAO	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	UNIDADE GEOTECNICA	AVALIACAO DA SITUACAO ATUAL DA JAZIDA
AGRONOMIA	Av. Bento Gonçalves (em frente a Faculdade de Agronomia) - Morro da Companhia	Granito Santana	Podzolico Vermelho Amarelo	PVg	Local e utilizado para retiradas esporádicas de saibro. A parte central encontra-se inundada. Ainda há bastante material aproveitável.
ENCANTADORA	Rua Encantadora (no topo do morro) - Vila dos Sarigentos	Granito Santana	Podzolico Vermelho Amarelo e Cambissolos	PVg	É uma antiga saibreira. O horiz. B é pouco espesso ou inexistente. O horiz. C é composto de material muito grosso e seiro. Há ocupação ilegal da área.
SÃO JOSE/APARICIO ALVES	Rua Volta da Cobra Acesso Bento Gonçalves via Rua D. Firmina	Granito Santana	Podzolico Vermelho Amarelo e Litólicos	PVg	Local denominado Saibreira da Políglia. É grande a ocupação por moradores. O material existente não possibilita utilização neste caso.
JARDIM BENTO GONCALVES	Rua Rafael Clark (próximo ao CTG) - Jardim Bento Gonçalves	Granito Santana	Podzolico Vermelho Amarelo e Cambissolos	PVg	Pouco material disponível. Horiz. B pouco espesso, horiz. C com profundidades variáveis. Afioramentos de rocha.
LOMBA DO PINHEIRO	Próximo a Vila Mapa Acesso Estrada João Reimão (Beco do David) - Morro da Companhia	Granito Santana	Podzolico Vermelho Amarelo e Cambissolos	PVg	Condições de exploração difíceis devido à presença de uma britéria e pouco material utilizável.
RESTINGA	Estrada João Antonio - Morro São Pedro	Granito Ponta Grossa	Podzolico Vermelho Amarelo e Cambissolos	PVg	Zona pouco ocupada. O horiz. B é pouco espesso, o horiz. C, bastante espesso, e de granulacao fina a média.
TRISTEZA	Av. D. Paulina, próximo à Aldeia SOS - Morro do Osso	Granito Ponta Grossa	Litólicos e Cambissolos	Rg	Material disponível para retirada praticamente inexistente.
CACHOEIRINHA	Próximo ao Conjunto Habitacional Parque Tancred Neves (Substação CEEE)	Pelitos da Form. Estrada Nova	Podzolicos Vermelho Amarelo e Escuro	PVp	Local de extração de material de empréstimo para aterros, barragens, etc. Grandes volumes de solos disponíveis.
UPAMAROTI	Morro Santa Tereza Rua Upamaroti	Alterito Serra de Tapes	Podzolico Vermelho Amarelo	PVst	Corte de beira de estrada. Horiz. B bastante espesso. Zona residencial, retirada um tanto dificultada.
CERAMICA CORDEIRO	Rua B-Vila Costa e Silva Próximo a antiga Cerâmica Cordeiro.	Granitos e Gnaisses	Podzolico Vermelho Amarelo	PVg,gn	Local de retirada de material de empréstimo. Horizonte B profundo, horizonte C não visível no local.
CEEE	Acesso pela Rua Afonso Sant'Ana - próximo ao Centro Gaúcho de Esportes	Granitos e Gnaisses	Podzolico Vermelho Amarelo	PVg,gn	Grande área não ocupada, pertencente à CEEE. Horiz. B pouco espesso, horizonte C com grande volume disponível.
VILA SCHARLAU	RS-240 - Vila Scharlau São Leopoldo, próximo ao entroncamento da BR116	Arenitos da Formação Botucatu	Podzolico Vermelho Amarelo	PVa	Ampla área de empréstimo. Horiz. C com profundidades de até 20m.

Tabela V.1 - Descrição geral das condições atuais e características dos diversos locais visitados e eventualmente selecionados para a pesquisa

vista pedológico, guardando semelhanças com a rocha de origem. O emprego de determinado solo (horizonte B ou C) deveu-se principalmente a disponibilidade de material (espessura dos horizontes) no local, e conseqüentemente, da sua maior representatividade. Esta escolha era feita após uma análise tátil-visual, indicando algumas características básicas que apresentassem possível adequação ao estudo pretendido, uma vez que esta pesquisa tinha um caráter inicial de aplicação direta, com a construção de um protótipo, conforme citado inicialmente. Devido a não construção do mesmo é que limitou-se o estudo a avaliação de jazidas pertencentes às diferentes unidades geotécnicas, levando-se em conta a possível utilização destes solos na construção de habitações de baixo custo.

Os solos estudados em seu horizonte B, num total de cinco perfis, foram classificados, segundo a metodologia de estimativa de unidades geotécnicas de DAVISON DIAS (1989), da seguinte maneira: Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato depósitos de encostas de idade terciária (PVst) (Alterito Serra de Tapes), Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato complexo granítico-gnáissico (PVg,gn1), Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato pelitos (PVp) (Formação Estrada Nova) e Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito Santana (PVg).

Os solos estudados em função das características do seu horizonte C pertencem respectivamente às unidades geotécnicas Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato complexo granítico-gnáissico (PVg,gn2) e Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato arenitos (PVA) (Formação Botucatu), respectivamente. A seguir procede-se a descrição de cada um dos mesmos, salientando-se que as unidades PVg,gn1 e PVg,gn2 são descritas conjuntamente.

#### V.1 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Depósitos de Encostas (PVst)

O substrato referente a estes solos são depósitos gravitacionais depositados desde o período Terciário, e sobre os quais há um processo de desenvolvimento pedogenético. Este solo

é classificado pedologicamente (Sistema Brasileiro - EMBRAPA, 1988) como Podzólico Vermelho-Amarelo. Portanto, possui um horizonte B iluvial, ou seja, com concentração de argila eluviada dos horizontes superiores, menos argilosos, denotando desta forma, gradiente textural entre os mesmos. Os perfis representantes deste solo, apresentam-se bastante profundos e bem desenvolvidos no que se refere principalmente a processos de dessilicificação e ferralitização. Observou-se serem estes solos, os mais espessos daqueles estudados em seu horizonte B, juntamente com os perfis da unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato pelitos (PVp), descritas a seguir. A sua coloração e características estruturais, bem como sua forte consistência quando secos, denotam características de cimentação por óxidos de ferro em agregações argilosas. Este fato foi observado por SCHNEIDER et alii (1974) e BASTOS (1991). São descritos como paleossolos ferralitizados de origem coluvionar e eluvionar, pertencendo a unidade de mapeamento geológico Alterito Serra de Tapes.

Devido principalmente a estas características, citadas anteriorente, é que estes solos despertaram o interesse de inclusão neste estudo, apesar dos altos teores argilosos, como veremos a seguir, o que, a princípio, não recomendaria o emprego do mesmo na construção com solos.

#### V.2 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Complexo Granítico-Gnáissico (PVg,gn1 e PVg,gn2)

O solo da unidade PVg,gn1, classificado pedologicamente como Podzólico Vermelho-Amarelo, como a maioria dos solos que foram estudados em seu horizonte B, apresenta-se em perfis profundos e bem desenvolvidos. A aparência externa do perfil denota o seu caráter mais argiloso no horizonte B em relação ao horizonte A, característico do processo de eluviação-iluviação, evidenciando a podzolização. Possui fortes colorações avermelhadas e estrutura bem desenvolvida. Dificilmente observa-se afloramentos do material de origem. Pela análise de campo, observou-se que o material possui boas condições de escavabilidade, em condições de maior umidade, mas quando seco

têm-se certa dificuldade para sua retirada com equipamentos manuais.

O perfil completo do solo da unidade PVg,gn2 é classificado segundo o Sistema Brasileiro (EMBRAPA, 1988) como Podzólico Vermelho-Amarelo. Porém, o horizonte C, classificado para fins de engenharia como solo saprolítico do complexo granítico-gnáissico, com maiores espessuras em relação ao horizonte B, mais raso, mostrou-se mais adequado num primeiro instante. A razão desta maior adequação inicial, além da maior espessura, seria pelas características físicas detectadas na análise tátil-visual, que serviram também de parâmetro inicial para escolha de solos. Este horizonte foi escolhido por sua maior expressividade na jazida em questão, sendo este, na maioria das vezes, preterido em relação ao horizonte B, muito utilizado como material de construção de aterros, estradas, etc. Os volumes de solo do horizonte C são muitas vezes bastante significativos, sendo encontradas muitas vezes grandes áreas expostas e abandonadas com este material.

BASTOS (1991), no estudo deste solo, verificou serem os mesmos bastante heterogêneos, em função da litologia complexa originária deste material. Observa-se o gradiente textural entre os horizontes A e B, característico do processo de podzolização do solo. Por consequência, o horizonte A possui menores teores de argila que o horizonte B. A seqüência de horizontes determinadas para o perfil completo foi A, AB, B, BC e C. O topo do horizonte B possui colorações mais claras que o restante deste mesmo horizonte. A cor predominante é o vermelho-amarelo, com tons cinzas, referentes aos mosqueados existentes devido a redução de ferro do perfil. Este horizonte argiloso é ligeiramente plástico e pegajoso, com profundidade média de 1,20cm. O horizonte C deste solo, em função do substrato ser composto de rochas migmatíticas, é bastante heterogêneo. As suas características, por ser um solo saprolítico, estão relacionadas com a composição e a estrutura destas rochas. Na análise de campo, foi possível observar algumas seções do perfil saprolítico que apresentavam preservado o bandamento da rocha de origem, típico de rochas foliadas. Por outro lado, foi possível observar também a presença de outra rocha, classificada como

riolito. Esta rocha foi encontrada em avançado estado de decomposição, ou mesmo como rocha sã. Quando na forma de rocha sã, era possível distinguir os grãos porfiríticos dispersos em uma matriz mais fina. Quando na forma mais intemperizada, podia-se observar a estrutura da rocha de origem, porém, o material era bastante friável e fino com grãos maiores de quartzo pouco intemperizados. A coloração do solo apresenta tons róseos e avermelhados ou mesmo roxos, em função da heterogeneidade litológica. A textura é variável entre franco e franco-arenosa, sendo um solo ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. A profundidade média visível deste horizonte é de 4 a 5 metros.

### V.3 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Pelitos (PVp-1 e PVp-2)

Os locais em que foram coletadas amostras destes solos localizam-se no município de Cachoeirinha. Os perfis de solo na jazida referente a unidade PVp-1 apresentam-se bastante profundos e bem desenvolvidos, sendo a área ocupada por estes solos bastante significativa na região. O horizonte B, com todas as suas subdivisões, apresenta espessuras variáveis de 2,0 a 4,0m. As condições de escavabilidade são boas em condições úmidas, ocorrendo alguma dificuldade quando o solo apresenta baixos teores de umidade. Este horizonte possui cores avermelhadas a vermelho-amareladas e estrutura bem desenvolvida em blocos subangulares, pequenos a grandes. São solos porosos, plásticos a ligeiramente plásticos e pegajosos. Foi possível observar-se os materiais semi-alterados e alterados compondo o horizonte C. São siltitos e argilitos de idade gonduânica da Bacia do Rio Paraná. É bastante provável, pela análise do perfil e das características gerais da região, que não exista relação entre o material sobrejacente e o substrato local. Em alguns pontos observa-se a descontinuidade litológica no perfil, ocorrendo muitas vezes a sobreposição de materiais coluvionares de idade terciária aos sedimentos gonduânicos.

As amostras do solo PVp-2 foram coletadas em um corte a beira de estrada, de onde extrai-se material de empréstimo para

aterros. Como no caso do solo descrito anteriormente, os perfis deste material encontram-se bem desenvolvidos e profundos, com uma boa estruturação. As colorações neste caso são mais escuras (bruno-avermelhado a avermelhado). Observa-se perfis com até 4,0m de profundidade, não tendo sido encontrado nas proximidades, nenhum ponto que apresentasse sinais de afloramento do substrato. A identificação deste substrato foi baseada nas informações de mapas geológicos, com acompanhamento de geólogo a campo. Na inspeção de campo, conforme caso anterior, foram encontradas algumas evidências de que o solo com evolução pedogenética mais acentuada (horizontes A e B), não apresenta relação com o substrato formado por sedimentos finos de idade gonduânica. Entre estas evidências destacam-se as linhas de seixo, pedregulhos, blocos de rocha, entre outros), evidenciando transporte de material e o desenvolvimento do perfil de solo a partir deste mesmo material.

#### V.4 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granito Santana (PVg)

As jazidas desta classe de solos estão localizadas no município de Porto Alegre e, embora varie nas mesmas o material granítico referente ao substrato, pode-se dizer que estes solos ocupam uma área significativa deste mesmo município.

Os perfis referentes a este tipo de solo (horizontes A e B) variam de pouco profundos a profundos (0,5 a 2,0m), sendo normal observar-se a gradação destes solos, mais desenvolvidos pedologicamente, para aqueles menos desenvolvidos, como os Solos Litólicos e Cambissolos, em especial quando o relevo torna-se mais acentuado.

O horizonte A chega até profundidades de 0,50m, sendo, em geral, bastante cascalhento. O horizonte B possui graus de desenvolvimento variáveis, com significativa presença de cascalho ( $\varnothing > 2\text{mm}$ ), estrutura moderada, blocos subangulares, com boa drenagem interna do perfil. A transição entre os horizontes é clara e plana ou ondulada.

O relevo ocupado por estes solos, em função da litologia presente, é variável entre ondulado e forte ondulado, favorecendo o transporte de material, evidenciado por claras linhas de seixos e blocos esparsos na massa de solo, e ao mesmo tempo dificultando a formação de perfis mais profundos (horizontes A + B).

O horizonte C apresenta-se bastante espesso, com graus variáveis de alteração do material de origem granítica, com mosqueados de colorações variáveis e tons róseos referentes ao feldspato alcalino da rocha-mãe. É um material muito pedregulhoso, com muito baixa percentagem de argila, e por este motivo evitou-se o seu emprego nesta pesquisa.

#### V.5 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Arenito (PVa)

O horizonte B dos solos desta unidade geotécnica são profundos, bem drenados, de coloração bruno-avermelhada a vermelha, textura argilo-arenosa, sendo poroso e bem drenados. As espessuras variam em torno de 1,5 a 2,0m.

O horizonte C é classificado para fins de engenharia geotécnica como solo saprolítico de arenito. Este horizonte faz parte de um perfil de solo bem desenvolvido em termos pedológicos, com um horizonte B textural profundo, sendo classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo ou Vermelho-Escuro, de acordo com algumas características diagnósticas, entre estas, o teor de óxido de ferro presente no horizonte B.

O material de origem do horizonte C é um arenito de origem eólica, pertencente a Formação Botucatu. Apresenta colorações róseas predominantemente, com profundidades que podem chegar até 20 m. NUNEZ (1991), constatou a homogeneidade do horizonte C quanto às suas características físicas, ao longo de toda a sua profundidade. A inclusão desta unidade dentro deste estudo, deve-se principalmente a sua abrangência na região de estudo, apesar da suposição inicial de que os solos da mesma não fossem muito adequados a construção com solos sem o emprego de estabilização.

## VI - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Conforme citação no capítulo V, foram escolhidas 7 jazidas para esta pesquisa, sendo os perfis típicos das mesmas classificados dentro de suas respectivas unidades geotécnicas. Os ensaios realizados foram de caracterização física e de avaliação do comportamento mecânico dos solos, além da análise qualitativa de desempenho de blocos de solo compactados, simulando pequenos segmentos de paredes monolíticas, expostos à interpérie em condições desfavoráveis do ponto de vista de medidas de proteção externa.

A caracterização, cujos resultados são a seguir apresentados, constam basicamente dos seguintes ensaios: análise granulométrica, limites de consistência e peso específico real dos grãos. Através do ensaio de compactação (na energia de compactação Proctor Normal) foram determinados o peso específico aparente seco máximo e a umidade ótima de compactação. O comportamento mecânico dos solos foi avaliado por intermédio dos seguintes ensaios: resistência à compressão simples, absorção por capilaridade e resistência à erosão. Este último ensaio foi realizado apenas para os solos pertencentes às unidades geotécnicas PVg (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito) e PVg,gn1 (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato complexo granítico-gnáissico). Estes dois solos foram escolhidos para este ensaio por enquadrarem-se razoavelmente dentro das recomendações de propriedades mais adequadas ao uso na construção. A análise dos blocos compactados foi inicialmente favorável, influenciando nesta escolha. No quadro geral de resultados de ensaios em anexo, são apresentados ainda os resultados dos ensaios para determinação do Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR-California Bearing Ratio), realizado tanto para os solos incluídos nesta pesquisa, como para aqueles

não incluídos. A energia de compactação utilizada para o ensaio de determinação do ISC foi a do Proctor Normal. Estes ensaios foram realizados nos laboratórios da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), através de convênio com este órgão.

Apresenta-se a seguir, os resultados dos estudos realizados, os quais são apresentados de acordo com a unidade geotécnica à qual os solos fazem parte.

#### VI.1 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Depósitos de Encosta (PVst)

##### VI.1.2 - Características físicas do solo

As tabelas VI.1, VI.2 e VI.3 apresentam respectivamente os resultados das análises granulométricas com e sem defloculante, dos limites de consistência e plasticidade, peso específico real dos grãos, atividade coloidal de Skempton, variação volumétrica, e ensaio de compactação. Apresenta-se ainda a classificação destes solos segundo os sistemas tradicionais, para efeito de comparação.

As figuras VI.1 e VI.2 apresentam respectivamente as curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante, e as curvas do ensaio de compactação, realizado na energia do Proctor Normal.

Pela análise dos limites de consistência e de plasticidade, verifica-se em primeiro lugar, tratar-se de um solo medianamente plástico ( $IP=11\%$ ), segundo VARGAS (1977) e DOAT (1979). Quanto ao coeficiente de atividade (relação  $IP/\%$  grãos menores que 2 microns), conforme citação de DOAT (1979) e LAMBE e WHITMAN (1979), este solo possui argila inativa ( $I_a=0.25$ ). A figura VI.3 apresenta a correlação entre LL e IP para cada solo no gráfico de plasticidade de Casagrande. A figura VII.3 apresenta a análise conjunta dos solos, relacionando ainda IP com a atividade coloidal de Skempton paralelamente ao gráfico de Casagrande. Segundo POPESCU (1983), o valor de LC elevado (28%) como neste caso, poderia indicar a

presença do argilomineral caolinita.

O potencial de expansão deste solo, segundo correlação com IP e LC realizado por SOWERS (1962) e CHEN (1974) seria baixo. Porém, segundo correlação de BOWLES (1977), que inclui na correlação o limite de liquidez, este poderia ser de baixo a médio. Contudo, pela análise difratométrica, descrita a seguir, e o valor da expansão obtida no ensaio de determinação do I.S.C., pode-se verificar que este solo não têm uma expansão crítica.

A análise difratométrica comprovou a existência do argilomineral caolinita e quartzo na fração fina de solo. O mineral predominante na fração grosseira são grãos de quartzo de diversas formas e tamanhos. Segundo BASTOS (1991), nestes solos existe o acúmulo de sesquióxidos de ferro, formando agregações, evidenciando um processo de ferralitização. Este fato tornaria as agregações bastante endurecidas em condições de baixa umidade. Porém, o endurecimento é facilmente reversível com o umedecimento. Este tipo de argilomineral não confere características de expansão a este solo.

Na análise dos resultados do ensaio de compactação, com peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_d$ ) igual a 17,35kN/m<sup>3</sup>, verifica-se que o mesmo é superior aos valores encontrados por TOWNSEND (1985) para solos lateríticos finos e inferior aos solos pedregulhosos. Este valor intermediário se explica pelo fato de que este solo apresenta em torno de 10% de areia grossa, mas também um elevado teor argiloso, isto se analisarmos pelas frações granulométricas. Porém, enquadra-se muito bem nos intervalos fornecidos por HAMMOND (1972) para  $\gamma_d$  e  $\omega_{ot}$  para o caso de solos lateríticos. Por fim, o valor de  $\gamma_d$  igual a 17,35kN/m<sup>3</sup>, seria considerado ruim pela avaliação genérica de DOAT(1979) para o emprego deste solo na construção. Entretanto, esta avaliação não pode ser aplicada diretamente ao caso de solos tropicais e subtropicais, pois mesmo mesmo solos com  $\gamma_d$  inferior a este podem ter um desempenho mecânico aceitável.

### VI.1.2 - Características mecânicas e de absorção

Os valores obtidos para a resistência à compressão simples e absorção por capilaridade estão expostos na tabela VI.4. A figura VI.4 apresenta a relação entre a resistência à compressão e a umidade de ruptura da amostra. Os valores obtidos com a amostra seca são bastante próximos àqueles exigidos pela norma alemã DIN 18954 (1956), que recomenda valores de resistência seca entre 2000 e 4000kN/m<sup>2</sup>. Porém, no caso dos teores de umidade mais elevados, com saturação em torno de 90%, estes valores são bastante inferiores. A taxa de decréscimo de resistência à compressão para o solo úmido em relação ao solo seco foi de 83%. No caso da absorção, o valor obtido neste caso, é um pouco inferior a 20%. A condição de ensaio utilizada é muito menos rigorosa que a absorção por imersão. A imersão foi tentada, mas nenhum corpo-de-prova, de todos solos estudados, suportou mais do que alguns minutos de ensaio.

### VI.1.3 - Avaliação qualitativa do bloco compactado

As fotos VI.1 e VI.2 apresentam a evolução do comportamento do bloco compactado desde a primeira chuva de maior intensidade até aproximadamente um ano após. Um dos problemas iniciais deste corpo-de-prova foi uma nítida separação de camadas, apesar de ter havido o cuidado de se escarificar a parte superior de cada uma destas, de modo a facilitar uma mais efetiva ligação entre as mesmas. Após a moldagem, o corpo-de-prova ficou coberto por uma lona durante 10 dias, sendo então exposto à intempérie. As primeiras trincas transversais às camadas e a separação entre as mesmas surgiram logo após a primeira chuva mais forte, seguido de uma leve erosão superficial. A partir disto, até 12 meses após, houve somente o agravamento destes problemas, provocados por ciclos de molhagem e secagem, causando prováveis esforços de expansão e retração, gerando trincas e separação das camadas. Pode-se notar também, que ao longo do período de análise da amostra, a erosão superficial não teve uma significativa evolução, havendo ainda a quebra de alguns cantos da mesma. O alto teor argiloso pode ser uma das prováveis causas deste comportamento, uma vez que não

Unid. Geot.	Horiz	Prof m	Tipo de Ensaio	Pedreg %	Areia Gross %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %
PVst	B	1.0	com defloc	0	10	18	10	18	44
			sem defloc	0	10	15	28	47	0

Tabela VI.1 - Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante

Limites de Cons e Plasticidade (%)				P.Espec. Real Gr. (kN/m <sup>3</sup> )	Ativ. Coloid (Ia)	Var. Vol. (%)	Compactação	
LL	LP	IP	LC				$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_t$ (%)
50	39	11	28	25.9	0.25	34.4	17.35	17.0

Tabela VI.2 - Limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVst)

Unid. Geot.	Classificação do solo		
	SUCS	HRB/AASHO	TRIANG. TRILINEAR
PVst	CL/CH	A-7-5(7)	Argiloso

Tabela VI.3 - Classificação do solo segundo sistemas tradicionais

UNID. GEOT.	RESIST.À COMPR.(kN/m <sup>2</sup> ) x UMIDADE DE RUPTURA(%)							ABSORÇÃO (%)
	RCS1 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r1}$ (%)	RCS2 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r2}$ (%)	RCS3 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r3}$ (%)	SAT3 (%)	
PVst	1989	0.56	1770	2.55	339	17.0	89.3	19.17

RCS1 - AMOSTRA SECA EM ESTUFA

RCS2 - AMOSTRA SECA AO AR LIVRE

RCS3 - AMOSTRA COM UMIDADE DE MOLDAGEM

Tabela VI.4 - Resistência à compressão simples com diferentes teores de umidade e absorção por capilaridade

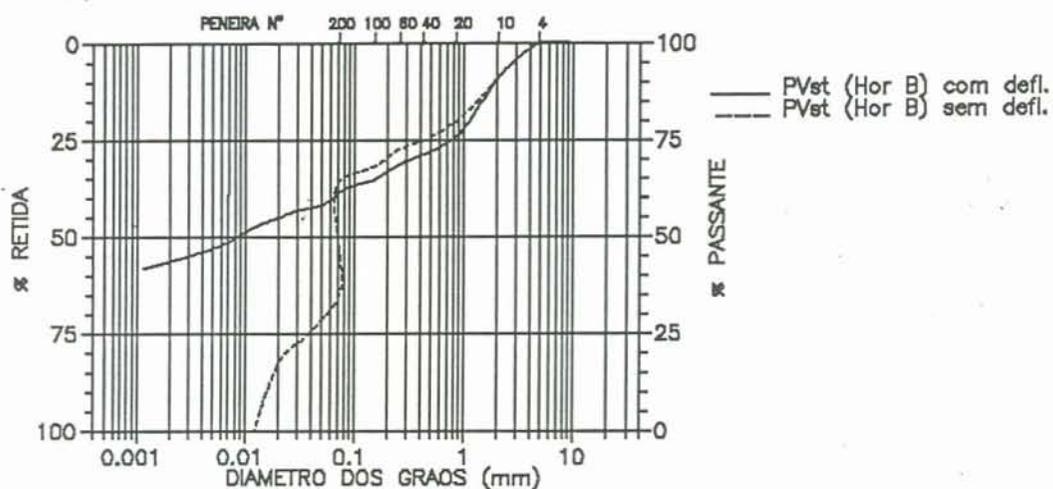


Figura VI.1 - Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVst)

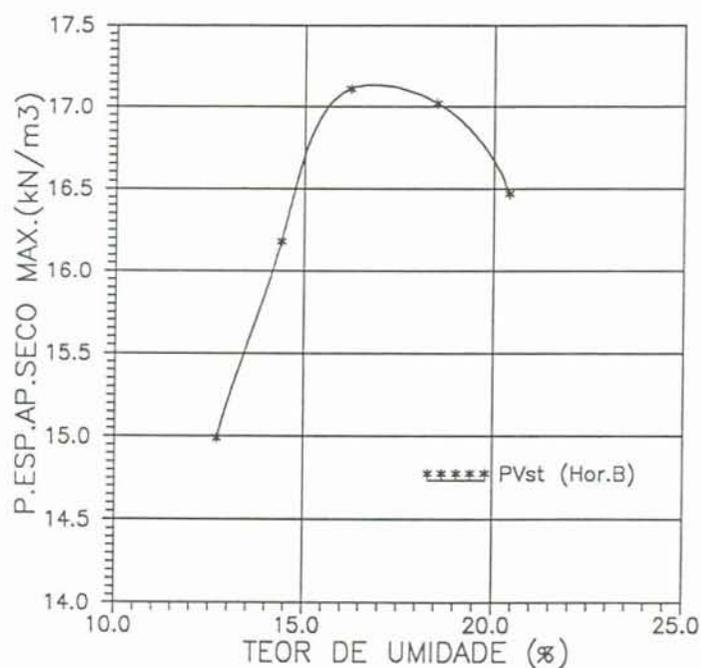


Figura VI.2 - Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVst)

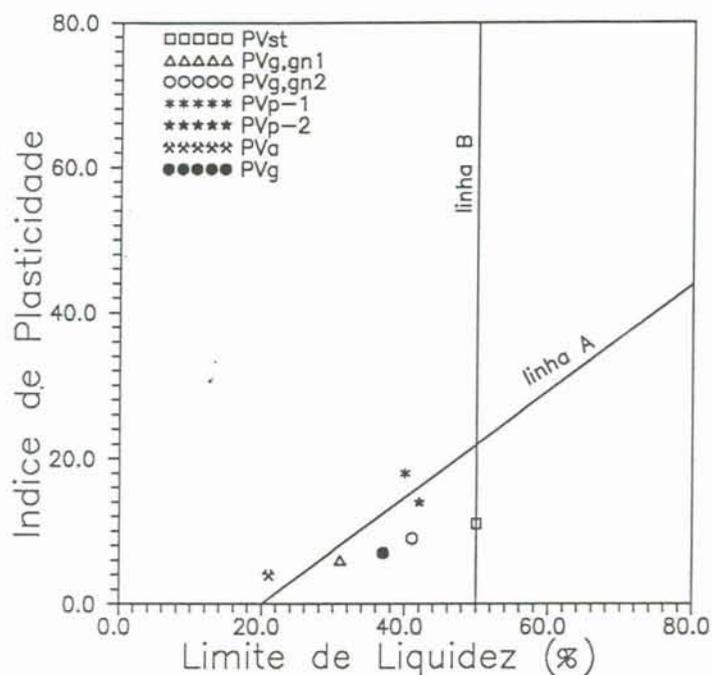


Figura VI.3 - Plasticidade dos solos representada no gráfico de classificação de Casagrande

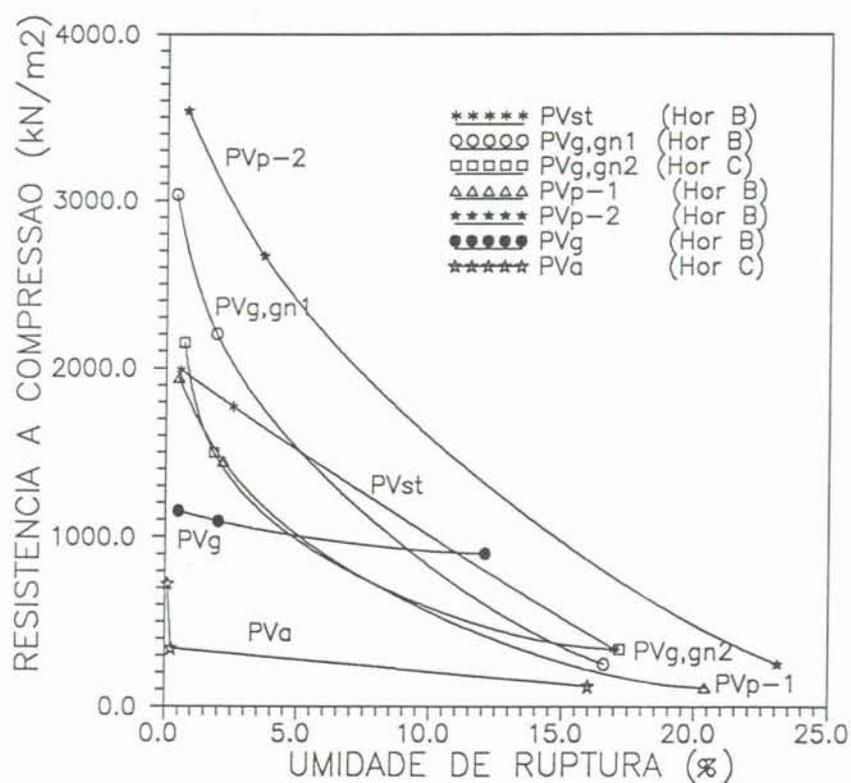


Figura VI.4 - Relação entre resistência à compressão simples e umidade de ruptura para todos solos

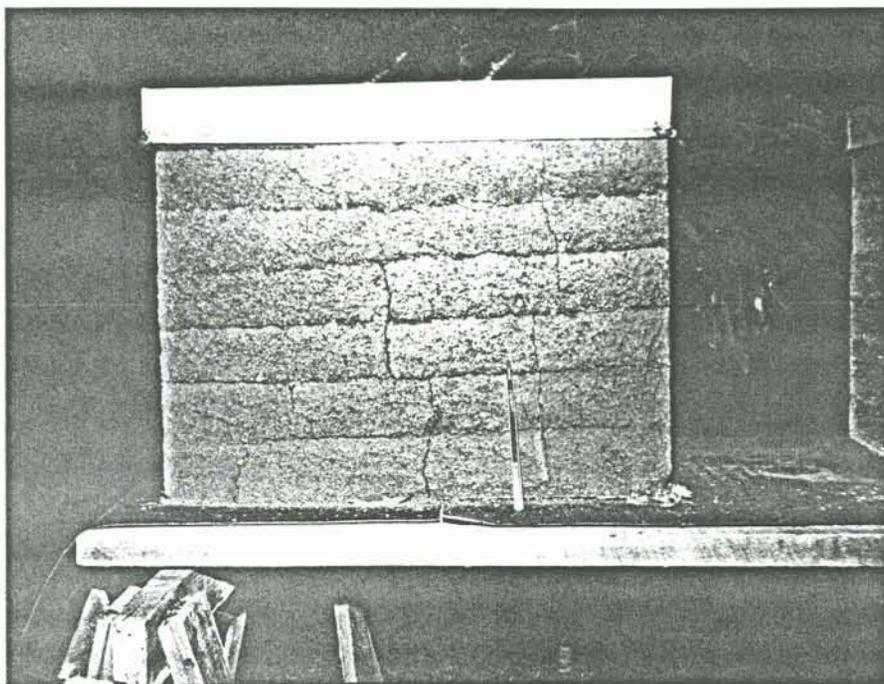


Foto VI.1 - Situação do bloco compactado após a primeira chuva de maior intensidade (unidade PVst)

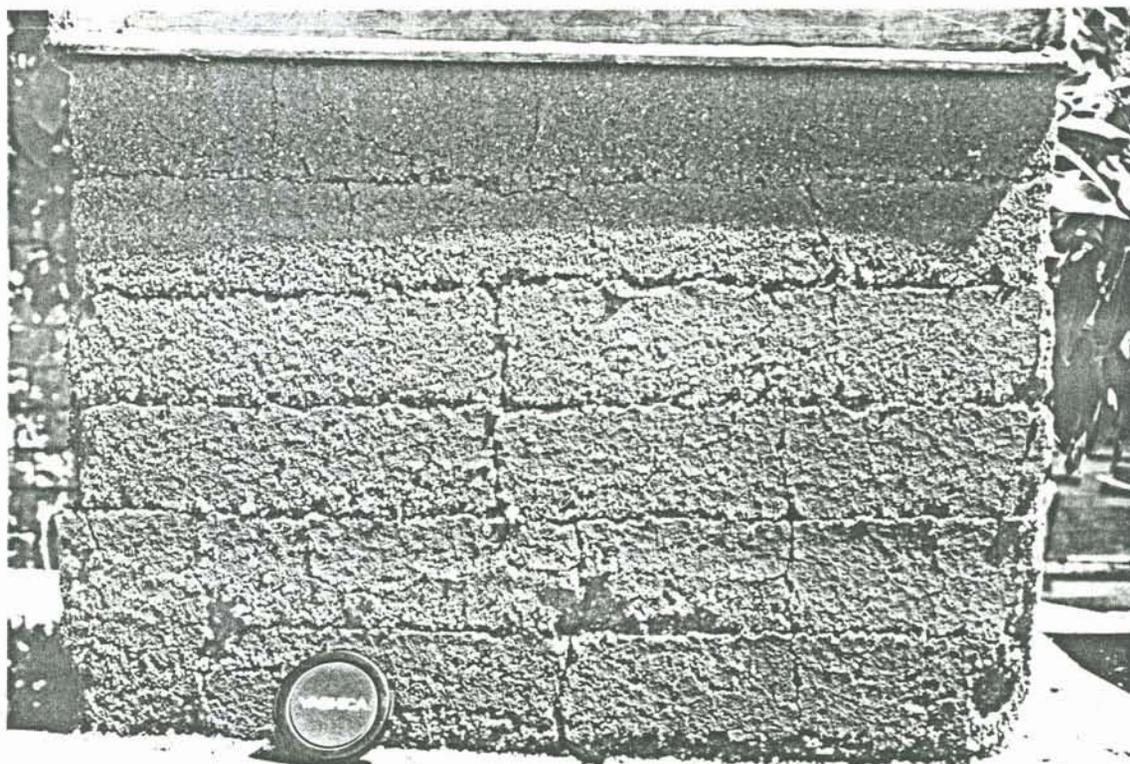


Foto VI.2 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVst)

foram detectados argilominerais expansivos neste solo. As tensões capilares geradas pela absorção e posterior perda de água acabam por gerar os problemas citados anteriormente.

VI.2 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Complexo Granítico-Gnáissico (PVg,gn1 e PVg,gn2)

VI.2.1 - Características físicas do solo

As tabelas VI.5, VI.6 e VI.7 apresentam respectivamente os resultados da análise granulométrica realizada com e sem defloculante, limites de Atterberg, índices físicos, atividade coloidal de Skempton, variação volumétrica e resultados do ensaio de compactação.

As figuras VI.5 e VI.6 apresentam respectivamente as curvas granulométricas com e sem defloculante e as curvas do ensaio de compactação.

Os dois solos desta unidade geotécnica, classificados como franco ou franco arenoso no sistema triangular trilinear, adequaram-se bem a faixa granulométrica proposta por HAMMOND (1972), mas para solos lateríticos. No caso do ábaco de classificação textural apresentado, o solo saprolítico (PVg,gn2) não correspondeu à zona considerada adequada.

Verificou-se, pela análise dos limites de Atterberg e índice de plasticidade, de acordo com VARGAS (1977) e DOAT (1979), que o solo da unidade PVg,gn1 é fracamente plástico, enquanto o solo da unidade PVg,gn2 é medianamente plástico. Segundo LAMBE E WHITMAN (1979) e DOAT (1979), o primeiro solo possui índice de atividade coloidal (Ia) igual a 0,33, caracterizando a argila como inativa, e o segundo solo possui índice de atividade coloidal igual a 0.90, classificando a argila deste solo, como de atividade moderada. A figura VI.3 apresenta a correlação entre LL e IP para cada solo no gráfico de plasticidade de Casagrande. A figura VII.3 apresenta a análise conjunta dos solos, relacionando ainda IP com a atividade coloidal de Skempton paralelamente ao gráfico de

Unid. Geot.	Horiz	Prof m	Tipo de Ensaio	Pedreg %	Areia Gross %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %
PVggn1	B	1.0	com defloc	0	2	12	38	30	18
			sem defloc	0	2	11	39	45	0
PVggn2	C	4.0	com defloc	0	9	21	28	32	10
			sem defloc	0	9	25	21	45	0

Tabela VI.5 - Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante

Limites de Cons e Plasticidade (%)				P.Espec. Real Gr. (kN/m <sup>3</sup> )	Ativ. Coloid	Var. Vol.	Compactação $\gamma_d$ $\omega_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) (%)	
LL	LP	IP	LC					
31	25	6	21	26.5	0.33	39.5	17.24	16.6
41	32	9	26	26.1	0.90	56.6	17.47	17.2

Tabela VI.6 - Limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2)

Unid. Geot.	Classificação do solo		
	SUCS	HRB/AASHO	TRIANG. TRILINEAR
PVggn1	SM	A-4(3)	Franco a Franco-Arenoso
PVggn2	SM	A-5(1)	Franco-Arenoso

Tabela VI.7 - Classificação dos solos segundo sistemas tradicionais.

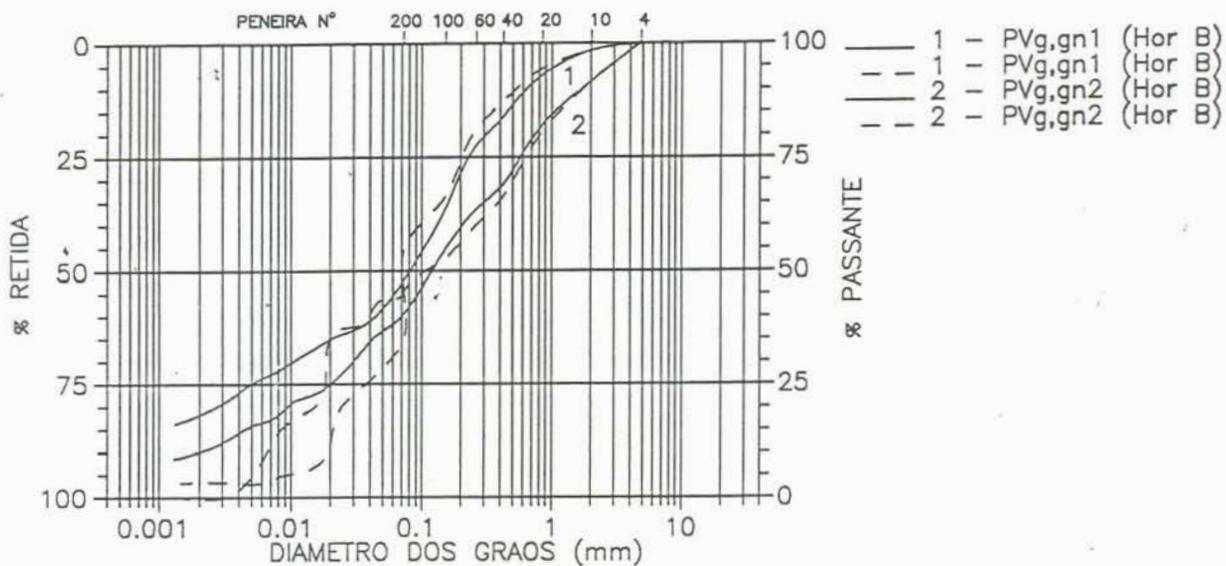


Figura VI.5 - Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2)

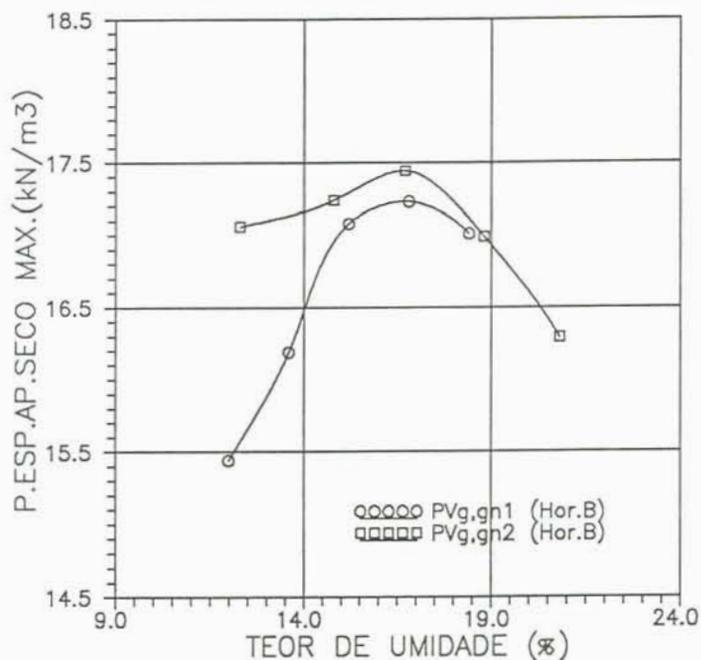


Figura VI.6 - Curvas de compactação (Proctor Normal) (unidades PVg,gn1 e PVg,gn2)

Casagrande. De acordo com POPESCU (1983), o resultado de LC (21%) poderia indicar, neste caso, a presença do argilomineral caolinita ou mesmo de illita. O valor de LC igual a 26% indicaria, segundo autor citado acima, a presença de caolinita. De acordo com a análise mineralógica, realizada através de difratogramas de raio-x, evidenciou-se a presença do argilomineral caolinita e quartzo na fração fina do solo da unidade PVg,gn1. O solo da unidade PVg,gn2 possui além deste argilomineral, illita e mica parcialmente alterada.

O potencial de expansão, segundo correlações com o índice de plasticidade, limites de liquidez e de contração apresentados anteriormente, seria baixo, podendo ser até moderado, de acordo com o limite de liquidez, segundo SOWERS (1977), para o caso de ambos os solos. A expansão obtida no ensaio de determinação do I.S.C. foi baixa para os dois solos (<1%), chegando a 0,9% o caso do solo da unidade PVg,gn2, que têm este valor um pouco mais elevado possivelmente pela presença de argilominerais com algum poder de expansão, como é o caso da illita. Porém, estes valores de expansão não parecem ser críticos, a julgar pelo conjunto de características analisadas.

Segundo avaliação de recomendações para construção com solos, realizados por DIETZ (1979), o valor de LL para o caso da unidade PVg,gn2 estaria um pouco acima do valor máximo normalmente estabelecido pelos diversos autores analisados. Os valores de  $\gamma_d$  e  $\omega_{ot}$  obtidos no ensaio de compactação para o solo da unidade PVg,gn1 são superiores aos encontrados por TOWNSEND (1985), para o caso de solos lateríticos finos. Estes valores estão situados dentro do intervalo proposto por HAMMOND (1972) para estes mesmos solos. Porém,  $\gamma_d$  seria considerado ruim na avaliação de DOAT (1979) para emprego na construção. Esta comparação com a avaliação deste autor serve somente para uma análise inicial, pois os valores citados nem sempre são adequados. O solo da unidade PVg,gn2 também teria a mesma avaliação, segundo o autor.

### VI.2.2 - Características mecânicas e de absorção

A tabela VI.8 apresenta os resultados de resistência à compressão e absorção por capilaridade obtidos para estes solos. A relação entre resistência à compressão e umidade de ruptura dos mesmos está representada na figura VI.4.

O solo da unidade PVg,gn1 apresentou resultados de resistência à compressão seca bastante satisfatórios, quando comparados às exigências da norma DIN 18954 (1956) para resistência seca. Quanto ao solo da unidade PVg,gn2, estes valores já são mais baixos, estando um pouco acima do mínimo exigido. Porém, como no caso anterior, o decréscimo de resistência para teores de umidades mais elevados, com saturação entre 80 e 90%, é bastante grande, de 92 e 84% respectivamente.

A absorção por capilaridade do solo da unidade PVg,gn2 foi o mais elevado de todos solos estudados, ficando acima do limite de 20%. Este solo apresenta teor argiloso baixo, o que não favoreceria a absorção capilar muita intensa, porém a fração arenosa é bem significativa, favorecendo a absorção. Por outro lado, a presença de ilita e mica neste solo pode ter influenciado esta maior absorção.

O ensaio de resistência à erosão foi realizado para o solo da unidade PVg,gn1, sendo os valores obtidos apresentados na tabela VI.9. Conforme descrito na capítulo 3, foram ensaiadas amostras sem proteção externa, ou com a pintura de uma tinta à base de cimento e ainda outro conjunto de amostras com reboco ao redor das mesmas e uma nata de cimento nas extremidades para regularização. O ensaio visava a determinação da taxa de erosão após três ciclos de exposição ao jato de água, de dois minutos para cada ciclo, e com um espaçamento de 24 horas entre estes mesmos ciclos.

As amostras sem proteção tiveram que ser ensaiadas duas vezes, pois no primeiro ensaio, houve problemas com a base dos corpos-de-prova devido ao deslocamento dos mesmos em cada ciclo

realizado. O resultado foi uma menor resistência à compressão, devido à quebra de partes da base da amostra e uma maior saturação, devido a um ajustamento inicial não muito adequado do jato de água. No segundo ensaio sem proteção das amostras estes problemas foram solucionados, sendo a taxa de erosão média ao final dos ciclos de molhagem e secagem, bem mais baixa e com uma menor saturação, e em consequência uma maior resistência à compressão.

Os corpos-de-prova com uma pintura externa apresentaram uma taxa de erosão média mais baixa que os corpos-de-prova sem proteção, porém, o problema mais sério neste caso, foi no momento em que começaram a desprender-se placas de solo aderido à pintura. Devido aos ciclos de molhagem e secagem, abriram-se trincas na pintura, e com a maior saturação da amostra, estas se tornaram mais suscetíveis à erosão. Este fenômeno foi mais forte no caso do solo da unidade PVg, conforme veremos a seguir.

As amostras ensaiadas com reboco de cal, cimento e areia fina, não sofreram nenhum tipo de erosão. Neste caso, a resistência à compressão ao final dos ciclos de erosão foi muito baixa, devido à alta saturação dos corpos-de-prova. Esta saturação deu-se não só pelo fato do reboco não ser impermeável, mas também pelas fissuras surgidas devido à retração do próprio reboco com cimento. Além disso, pode-se observar que as fissuras deram-se ao longo do contorno do corpo-de-prova (vide foto VI.3), principalmente na altura da última camada compactada. Através da maior saturação da amostra, é possível ter havido movimentos de expansão, que fizeram com que esta fissura se abrisse mais, permitindo a entrada de água mais facilmente. Segundo HAMMOND (1973), durante a secagem produzem-se movimentos diferenciais de retração entre a argamassa de cimento e o corpo-de-prova ou parede, produzindo-se trincas ao longo da mesma.

A falta de aderência entre o reboco e o solo sem estabilizante foi outro problema sério. Durante o ensaio de resistência à compressão, observava-se o desprendimento das placas de reboco, com ou sem solo, levando a amostra à ruína. A umidade amolece a superfície da amostra, destruindo a adesão

UNID. GEOT.	RESIST.À COMPR.(kN/m <sup>2</sup> ) x UMIDADE DE RUPTURA(%)							ABSORÇÃO (%)
	RCS1 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r1}$ (%)	RCS2 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r2}$ (%)	RCS3 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r3}$ (%)	SAT3 (%)	
PVgg1	3035	0.38	2202	1.91	251	16.6	81.9	17.88
PVgg2	2148	0.70	1497	1.83	339	17.2	90.9	24.33

RCS1 - AMOSTRA SECA EM ESTUFA

RCS2 - AMOSTRA SECA AO AR LIVRE

RCS3 - AMOSTRA COM UMIDADE DE MOLDAGEM

Tabela VI.8 - Resistência à compressão simples com diferentes teores de umidade e absorção por capilaridade

UNID. GEOT.	TIPO DE AMOSTRA	TAXA DE EROSAO MEDIA (%)	RCS MEDIA (ANTES DO ENSAIO) (kN/m <sup>2</sup> )	RCS MEDIA (APOS O ENSAIO) (kN/m <sup>2</sup> )	TAXA DE DECRESCIMO DA RCS (%)	UMIDADE RUPTURA (%)	SATURACAO (%)
PV <sub>g,gnl</sub>	sem protecao		2658			seco em estufa	
	sem protecao ensaio 1	0.28		183	93.1	14.9	73.6
	sem protecao ensaio 2	0.09		1258	52.7	9.79	48.3
	com pintura	0.06		600	77.4	13.1	64.7
	com reboco	NULA		141	94.7	14.8	73

Tabela VI.9 - Resultados do ensaio de resistência à erosão e decréscimo de resistência à compressão simples

existente. HAMMOND (1973) cita soluções como o uso de telas metálicas para solucionar o problema da adesão, mas isto implica no aumento do custo de execução. Segundo o autor, a proporção de cal, cimento e areia recomendados são bastante variáveis de acordo com o clima, as propriedades de resistência do solo e as técnicas empregadas. Procedimentos executivos para este reboco são recomendados ainda para obtenção de melhores resultados, como a diminuição da fissuração e aumento da adesão.

Na comparação entre os resultados das amostras sem proteção com aquelas pintadas ou rebocadas, pode-se observar que apesar da menor erosão, ou mesmo inexistência da mesma, nestes dois últimos conjuntos de amostras, a resistência à compressão medida logo após o último ciclo de ensaio foi bem menor nas amostras protegidas. A saturação nas amostras protegidas foi maior, e isto se explica pelo fato de que a medida que há uma maior proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, por outro lado a perda de umidade durante o período de secagem é mais lenta, conduzindo a amostra a uma maior saturação. Apesar destes resultados aparentemente negativos para o caso de resistência à compressão, sem dúvida pinturas adequadas ou rebocos cumprem o seu papel de proteção contra erosão. A questão principal é buscar-se aqueles materiais que resultem em uma boa impermeabilização e que mantenham-se aderidos à parede durante os ciclos de molhagem e secagem, levando-se em conta para isto, os detalhes executivos recomendados.

### VI.2.3 - Avaliação qualitativa dos blocos compactados

As fotos VI.4, VI.5 e VI.6 apresentam a situação dos blocos compactados para os dois solos desta unidade, no final do período de análise (aproximadamente 1 ano). No caso do bloco moldado com solo da unidade PVg,gn2, pode-se observar na foto VI.5, referente ao dia seguinte após a primeira forte chuva. Até então, o bloco apresentava-se praticamente sem problemas. A partir disto, houve uma expressiva erosão superficial, com alguma separação entre camadas de compactação. Porém, o problema maior foi a erosão causada por caminhos preferenciais da água, gerados pela cobertura inadequada, a qual não oferecia proteção

às laterais do bloco. Outro problema sério foi o surgimento de trincas com largura em torno de 2 a 3mm devido a secagem do bloco ao sol. Na seqüência do período houve a quebra de grandes partes dos cantos do bloco, bem como o aprofundamento da erosão nos caminhos preferenciais da água. A separação de camadas e trincas devido à retração não teve uma evolução muito significativa no período. Entretanto, a deterioração do bloco foi significativa, levando o mesmo à ruína, principalmente pela quebra de cantos e o "sulcamento" devido a ação da água. O material compactado mostrou-se pouco coesivo após exposição ao tempo, sendo a fração argilosa bastante baixa. Por outro lado, durante os períodos úmidos era visível uma certa expansão do material, devido a sua absorção elevada, ocorrendo uma diminuição da largura de algumas fissuras.

O bloco compactado da unidade PVg,gn1, aparentemente mostrava características favoráveis a este tipo de utilização, porém o desempenho final não foi muito positivo. Pode-se observar que devido principalmente aos teores mais elevados da fração argila, o solo compactado mostrou-se mais coesivo e menos suscetível à erosão superficial do que o bloco anteriormente descrito. Contudo, as trincas e separação de camadas devido a ciclos de retração e expansão foram significativas e evoluíram bastante durante o período de análise. Uma questão importante a ser observada com relação às trincas, é que as mesmas podem ser geradas já no momento da desmoldagem, devido aos esforços de desprendimento das paredes da forma. Este fato ocorreu, no caso deste bloco, o qual teve que ser novamente executado. Não houve reuso de solo na compactação em nenhum caso. As trincas devido a desmoldagem, se ocorrerem, podem servir de ponto de partida para destruição mais rápida do bloco ou parede no caso de uma moradia.

O solo da unidade PVg,gn1 não apresentou argilominerais expansivos, tem baixa plasticidade, uma variação volumétrica dentro de limites não muito elevados, e com absorção também não muito alta (inferior a 20%), se comparada aos outros solos estudados. A distribuição granulométrica parece ser bem equilibrada e dentro das especificações gerais de diversos

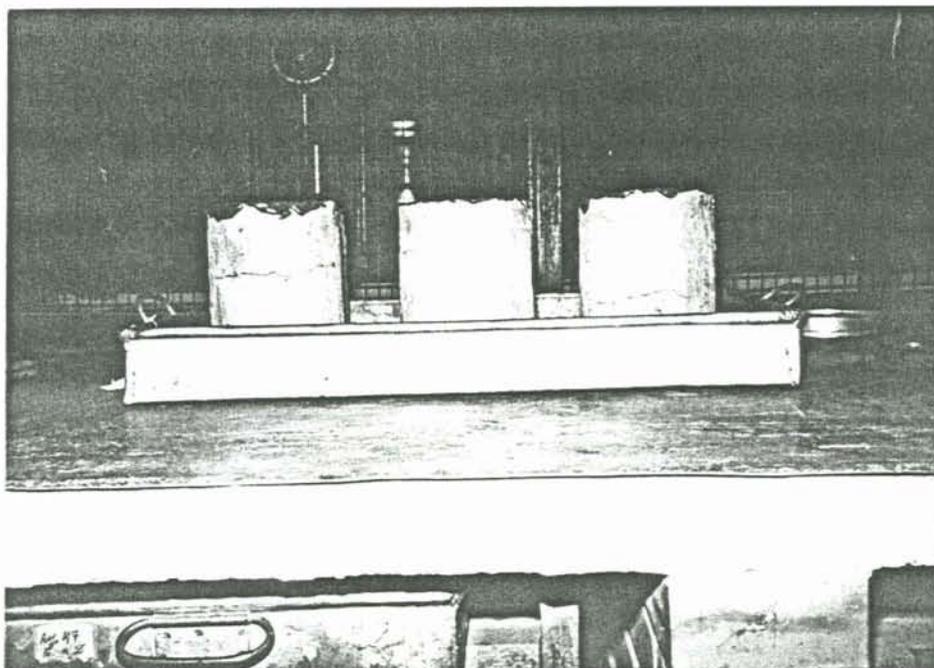


Foto VI.3 - Fissuras no reboco do corpo-de-prova preparado para o ensaio de erosão

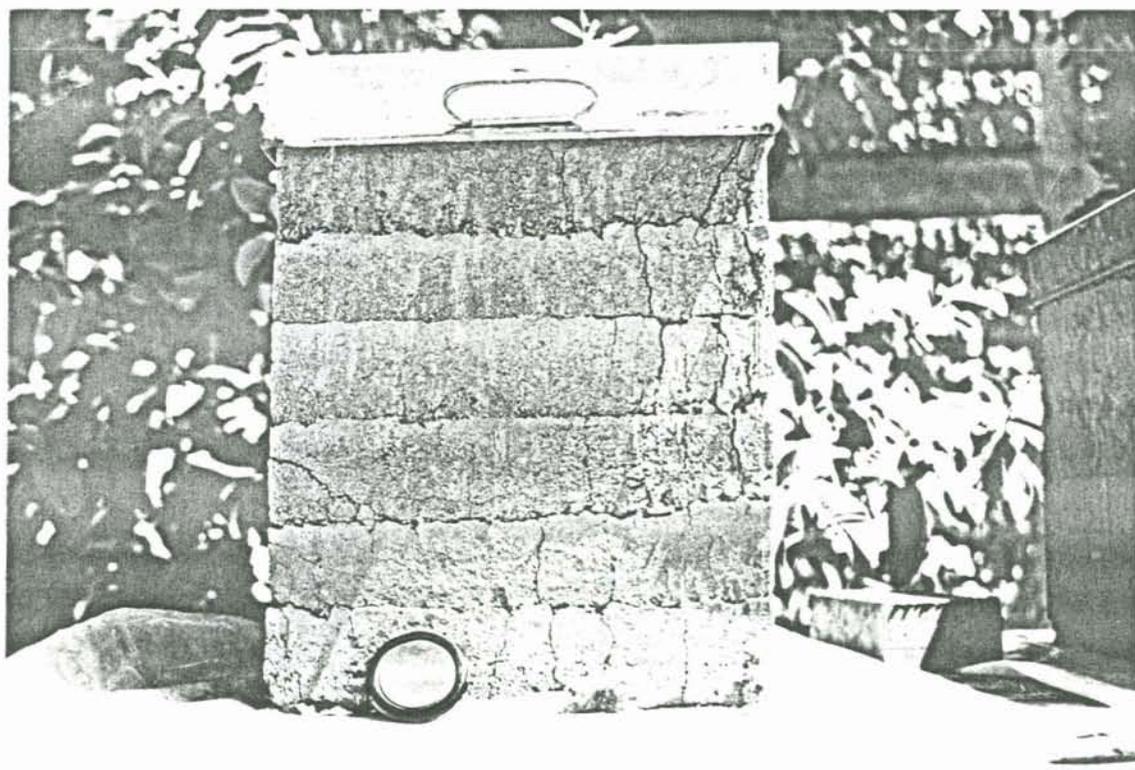


Foto VI.4 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg,gn1)

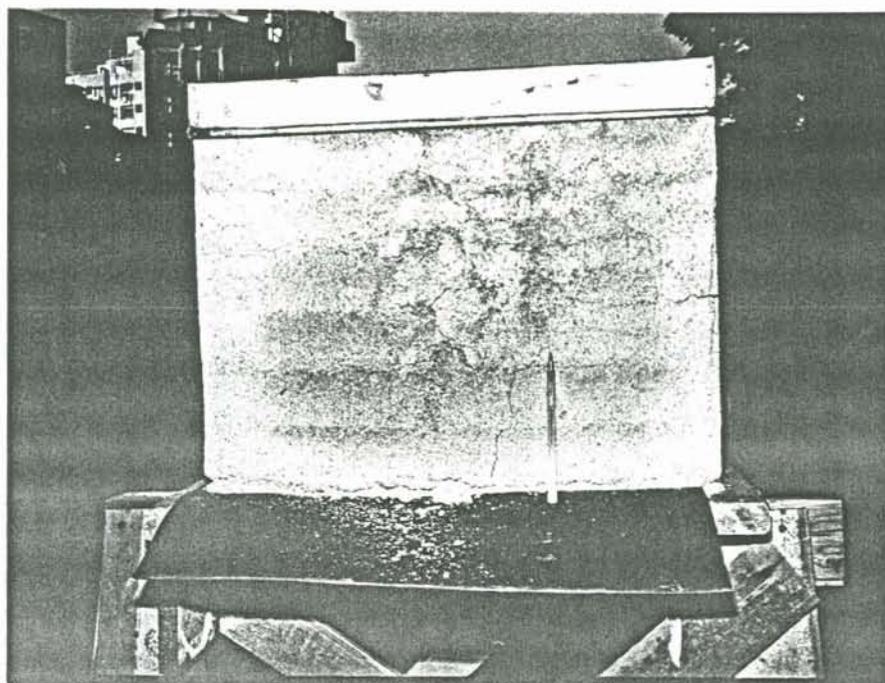


Foto VI.5 - Situação do bloco compactado após a primeira chuva de maior intensidade (unidade PVg,gn2)

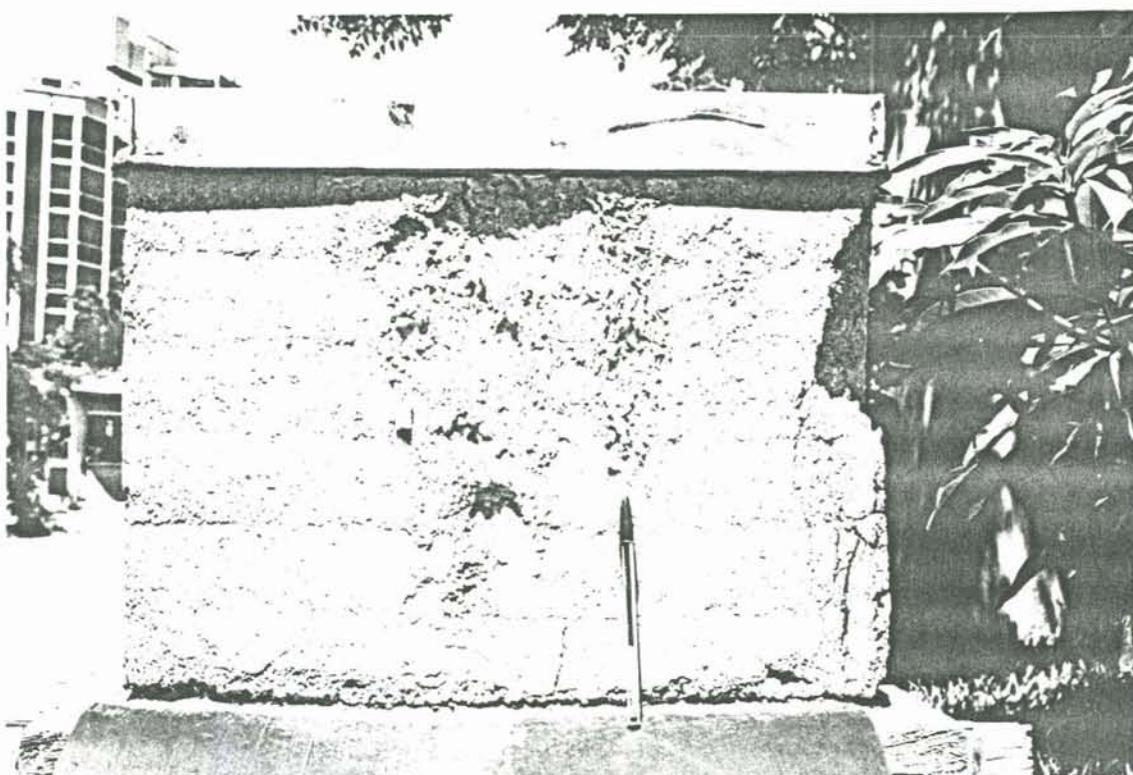


Foto VI.6 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg,gn2)

autores citados anteriormente, porém, talvez se o solo fosse um pouco mais grosseiro, mantendo-se os níveis de argila, poderia apresentar melhores resultados. Esta suposição baseia-se no desempenho do bloco de solo compactado referente a unidade PVg, descrita a seguir.

### VI.3 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Pelitos (PVp-1) e (PVp-2)

#### VI.3.1 - Características físicas do solo

As tabelas VI.10, VI.11 e VI.12 apresentam respectivamente os resultados das análises granulométricas realizadas com e sem defloculante, limites de Atterberg, índices físicos, atividade coloidal de Skempton, variação volumétrica e resultados do ensaio de compactação.

As figuras VI.7 e VI.8 apresentam respectivamente as curvas granulométricas com e sem defloculante e as curvas do ensaio de compactação.

O primeiro solo (PVp-1), classificado como franco-argiloso no sistema triangular trilinear, e o solo PVp2 classificado como argiloso pelo mesmo sistema, quando comparados com a faixa granulométrica proposta por HAMMOND (1972), localizam-se fora da mesma (figura VII.1). O mesmo ocorre com o ábaco apresentado na (figura VII.2). De todos os solos estudados, estes parecem ser os menos adequados, principalmente se a análise é feita através de suas propriedades físicas. O teor argiloso é bastante elevado e a fração grosseira (areia) é bastante baixa.

Segundo critérios de VARGAS (1977), no caso do solo PVp-1, trata-se de um solo altamente plástico, por apresentar IP maior que 15%. Em relação ao coeficiente de atividade coloidal ( $I_a = IP/\%$  grãos menores que 2 microns), expostos por LAMBE e WHITMAN (1979) e DOAT (1979), este solo possui argila inativa ( $I_a = 0.50$ ). As figuras VI.3 e VII.3 apresentam as relações entre LL e IP para cada solo e entre IP, atividade coloidal de

Skempton e LL para os solos conjuntamente. O valor de LC (22%) indica, segundo POPESCU (1983), a provável existência dos argilominerais caolinita e illita.

No caso do solo PVp-2, observa-se ser o solo medianamente plástico, segundo critérios de VARGAS (1977) e DOAT (1979). O coeficiente de atividade coloidal ( $I_a = IP/\%$  grãos menores que 2 microns), segundo DOAT (1979), classifica o argilomineral deste solo como inativo ( $I_a = 0,50$ ). Na avaliação do tipo de argilomineral presente, através da análise de LC, de acordo com POPESCU (1983), poderia tratar-se de um solo caolinítico, com presença possível de illita. A análise mineralógica feita através de difratogramas de raio-x indicou a presença do argilomineral caolinita como fração predominante, enquanto a fração grosseira indicou a presença de quartzo para ambos os casos.

Segundo análise de correlações do potencial de expansão através de métodos indiretos, realizados pelos autores citados nas unidades anteriores, ambos solos possuiriam potencial de expansão baixo a médio. Pelas avaliações de DIETZ (1979) e HAMMOND (1972) das faixas de limites de liquidez mais adequadas, conclui-se que os mesmos possuem valores um pouco acima do recomendado. A figura VII.4 mostra a tendência ao aumento de LL com o teor de argila dos solos estudados. Como os solos estudados desta unidade são medianamente a altamente plásticos, os valores de IP são um pouco superiores aos limites máximos normalmente recomendados. Apresentam assim uma variação volumétrica bem significativa, excedendo os valores máximos obtidos por HAMMOND (1972) para o caso de solos lateríticos finos. DAVISON DIAS (1987) no estudo de horizontes B de solos desta mesma região, referidos a unidade de mapeamento pedológico Gravataí, encontrou valores bastante semelhantes aos determinados para os solos da presente pesquisa.

Outro fator bastante negativo com relação ao uso na construção para estes solos, foi o baixo peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_d$ ) e a umidade ótima elevada. Pela avaliação de DOAT (1979) de  $\gamma_d$  para este tipo de aplicação, os

solos estariam ainda abaixo do limite considerado ruim. Estes valores de  $\gamma_d$ , embora possam ser bem superiores em alguns casos, são bastante comuns para os solos lateríticos finos, adequando-se aos intervalos de variação expostos por HAMMOND (1972) e TOWNSEND (1985). DAVISON DIAS (1991) no estudo de latossolos roxos na região sul do Brasil, os quais também possuem granulação fina, encontrou valores de  $\gamma_d$  e  $\omega_{ot}$  próximos aos obtidos para o presente caso, apesar das diferenças morfológicas destes solos. Neste trabalho, autor apresenta ainda uma correlação linear no qual há diminuição de  $\gamma_d$  com o aumento do teor argiloso do solo.

#### VI.3.2 - Características mecânicas e de absorção

A tabela VI.13 apresenta os valores de resistência à compressão e absorção determinados para estes solos. O decréscimo de resistência à compressão com o aumento da umidade de ruptura está apresentado na figura VI.4.

O solo PVp-2 apresentou valores de resistência à compressão seca bem mais elevados do que o solo PVp1, bem acima inclusive do mínimo exigido pela norma DIN 18954 (1956), enquanto a resistência do outro solo ficou um pouco abaixo deste mínimo. O alto teor argiloso do primeiro solo fornece características de resistência à compressão elevadas quando secos, sendo esta inclusive uma característica para identificação deste tipo de solo pelo sistema de classificação unificada (SUCS). Entretanto, para teores de umidade elevados, estes valores tendem a ser próximos e igualmente baixos. Os dois solos apresentaram também as maiores taxas de decréscimo de resistência quando úmidos, superiores a 90%, em relação a resistência seca do corpo-de-prova.

A absorção por capilaridade foi elevada nos dois casos, passando dos 20% no caso do solo PVp-2 e pouco abaixo deste limite no solo PVp-1. Pelo acompanhamento do ensaio, observou-se uma lenta absorção capilar das amostras argilosas, ao contrário das amostras arenosas.

### VI.3.3 - Avaliação qualitativa dos blocos compactados

As fotos VI.7 e VI.8 registram a situação dos blocos de solo compactado, PVp-1 e PVp-2 respectivamente, ao final do período de análise. Estes dois blocos foram os últimos a serem executados, estando assim expostos por um menor espaço de tempo à interperie. Entretanto, foram os elementos que apresentaram a mais rápida deterioração. A causa principal foi, conforme o esperado, uma forte fissuração, com abertura de trincas transversais principalmente, e separação de camadas, devido aos períodos alternados de chuva e sol. Este ressecamento, provoca tensões capilares elevadas no caso de solos argilosos, as quais acabam por exceder a resistência à tração do solo.

Em relação aos problemas executivos, pode-se observar que especialmente no caso do solo PVp-1, havia durante a moldagem do bloco, uma forte aderência ao soquete, dificultando a compactação. Além disso, houve também uma aderência do solo às paredes da forma, apesar da lubrificação das mesmas. O que se observa na foto VI.7 não é a erosão superficial das paredes do bloco, que no caso dos solos argilosos, mais coesivos, foi bastante baixa. Trata-se do resultado da forte aderência do solo à parede da forma. Isto fornece um mau acabamento, tornando ainda a parede mais vulnerável à erosão.

O resultado obtido com estes blocos era esperado, a medida em que se desenvolvia a pesquisa, e em função das características desfavoráveis dos mesmos. Os solos da unidade têm plasticidade um tanto elevada para este tipo de aplicação, da mesma forma quanto ao teor argiloso e limites de consistência. A absorção capilar é alta e os parâmetros de compactação desfavoráveis (baixo  $\gamma_d$  e alta  $\omega_{ot}$ ). A resistência seca do solo PVp-2 foi bastante elevada (3335 kN/m<sup>2</sup>) quando comparada aos outros solos pesquisados, atribuída ao alto teor argiloso. Quando o solo argiloso não está mais saturado, estando praticamente seco, possui uma forte ligação entre as partículas, segundo VARGAS (1977), atribuído ao potencial atrativo das partículas coloidais.

Unid. Geot.	Horiz	Prof m	Tipo de Ensaio	Pedreg %	Areia Gross %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %
PVp-1	B	3.0	com defloc	0	0	4	36	24	36
			sem defloc	0	0	4	36	60	0
PVp-2	B	2.0	com defloc	0	0	3	23	23	51
			sem defloc	0	0	3	25	72	0

Tabela VI.10 - Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante

Limites de Cons e Plasticidade (%)				P.Espec. Real Gr. (kN/m <sup>3</sup> )	Ativ. Coloid (Ia)	Var. Vol. (%)	Compactação	
LL	LP	IP	LC				$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega_{ot}$ (%)
40	22	18	22	26.8	0.50	30.1	16.07	20.4
42	28	14	23	27.0	0.27	32.4	15.51	23.1

Tabela VI.11 - Limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidades PVp-1 e PVp-2)

Unid. Geot.	Classificação do solo		
	SUCS	HRB/AASHO	TRIANG. TRILINEAR
PVp-1	CL	A-6(8)	Franco-Argiloso
PVp-2	CL	A-7(9)	Argiloso

Tabela V.12 - Classificação do solos segundo sistemas tradicionais

UNID. GEOT.	RESIST.À COMPR.(kN/m <sup>2</sup> ) x UMIDADE DE RUPTURA(%)							ABSORÇÃO (%)
	RCS1 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r1}$ (%)	RCS2 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r2}$ (%)	RCS3 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r3}$ (%)	SAT3 (%)	
PVp-1	1941	0.49	1446	2.18	113	20.4	81.9	19.48
PVp-2	539	0.77	2666	3.69	251	23.1	84.2	23.84

RCS1 - AMOSTRA SECA EM ESTUFA  
RCS2 - AMOSTRA SECA AO AR LIVRE  
RCS3 - AMOSTRA COM UMIDADE DE MOLDAGEM

Tabela VI.13 - Resistência à compressão simples com diferentes teores de umidade e absorção por capilaridade

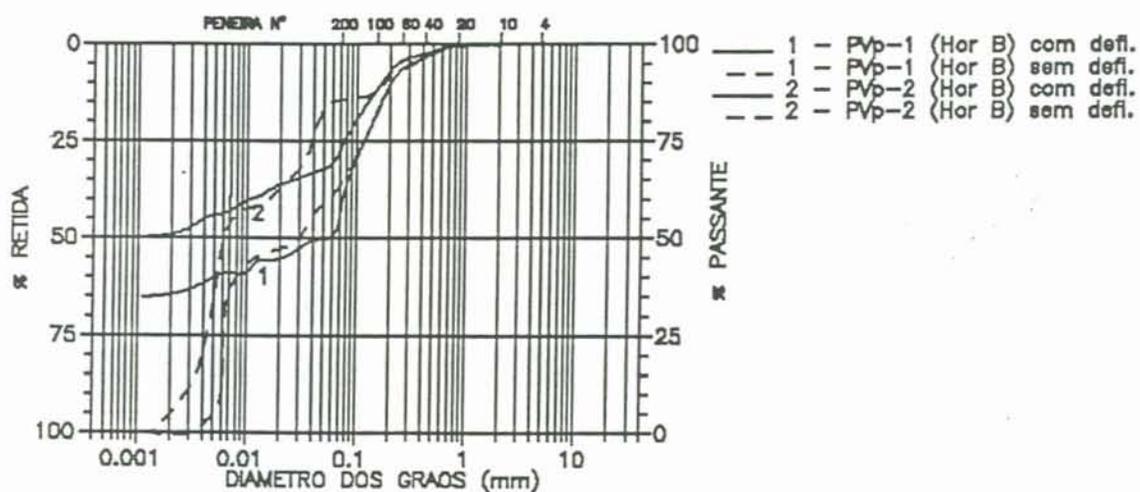


Figura VI.7 - Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidades PVp-1 e PVp-2)

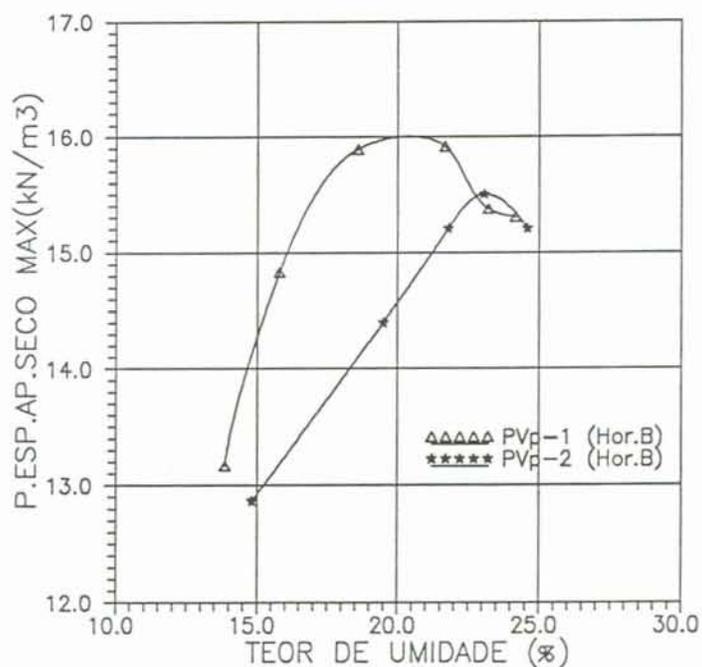


Figura VI.8 - Curvas de compactação (Proctor Normal) (unidades PVp-1 e PVp-2)

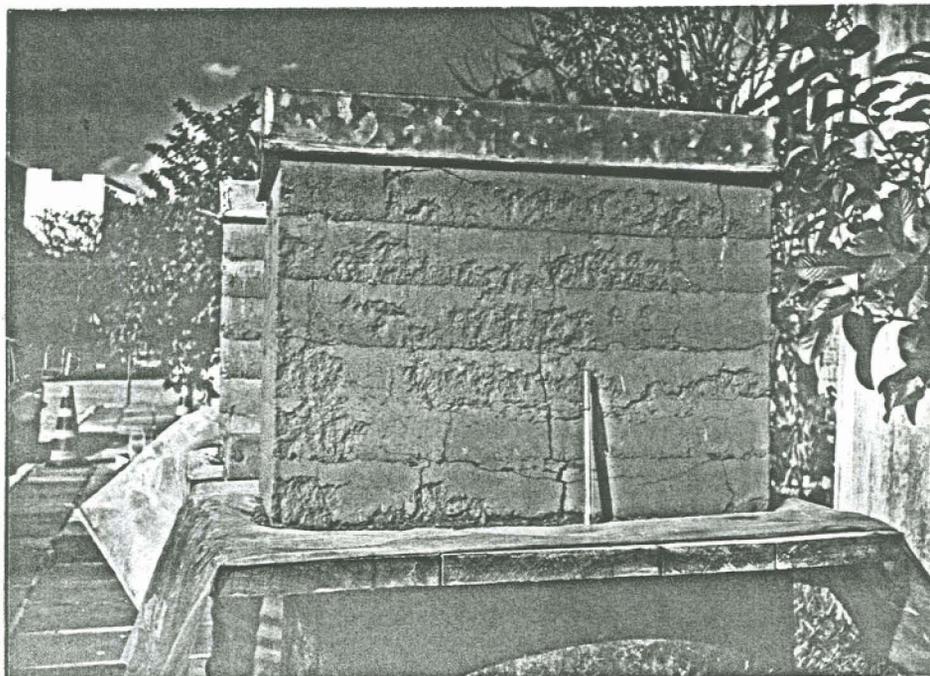


Foto VI.7 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVp-1)

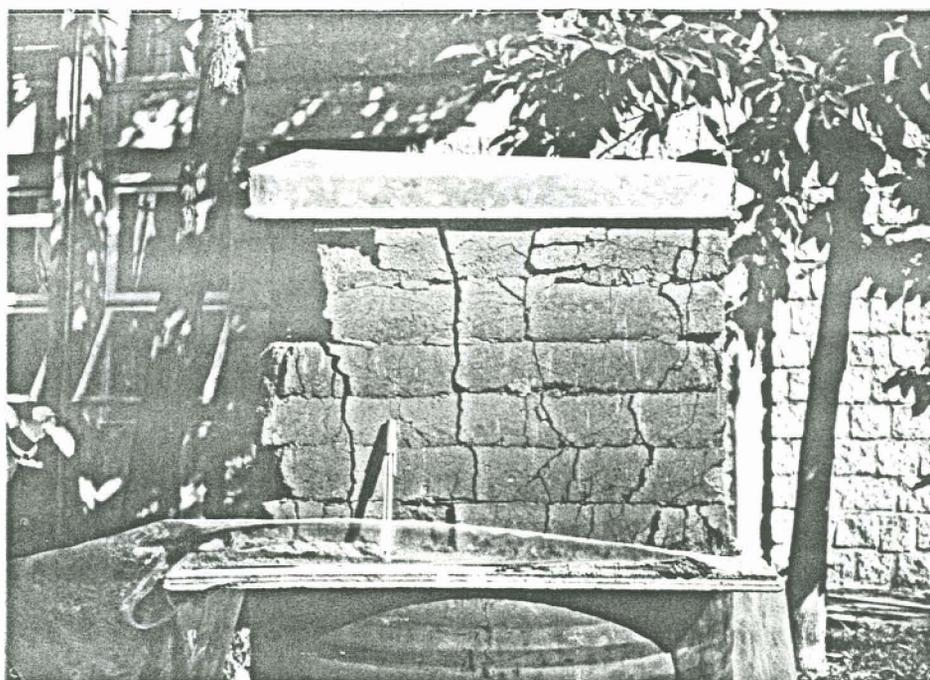


Foto VI.8 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVp-2)

#### VI.4 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Granito Santana (PVg)

##### VI.4.1 - Características físicas do solo

As tabelas VI.14, VI.15 e VI.16 apresentam respectivamente os resultados das análises granulométricas realizadas com e sem defloculante, limites de Atterberg, índices físicos, atividade coloidal de Skempton, variação volumétrica e resultados do ensaio de compactação.

As figuras VI.9 e VI.10 apresentam respectivamente as curvas granulométricas com e sem defloculante e as curvas do ensaio de compactação.

O solo pertencente a esta unidade, possui granulação grosseira, mas com significativo teor argiloso, e é classificado pelo sistema triangular trilinear como franco-argilo-arenoso. Juntamente com o solo da unidade PVg,gn1, foi o solo que melhor se adequou aos parâmetros recomendados por diversos autores, inclusive a faixa granulométrica e as zonas delimitadas no ábaco de classificação textural de HAMMOND (1972).

Pela análise de IP, observa-se ser este um solo fracamente plástico, segundo índices apontados por VARGAS (1977) e DOAT (1979). O coeficiente de atividade coloidal ( $I_a = IP/\%$  grãos menores que 2 microns) igual a 0,32 indica a presença de argila inativa. A figura VI.3 apresenta a relação entre LL e IP para cada solo. A figura VII.3 apresenta esta mesma relação, juntamente com o gráfico de atividade coloidal de Skempton para todos os solos.

Na avaliação do LC em relação ao tipo de argilo mineral presente, de acordo com POPESCU (1983), trataria-se possivelmente de um solo caolinítico. A análise mineralógica por meio de difratograma de raio-x confirmou a presença do argilomineral caolinita na fração fina. A fração grosseira é composta basicamente de grãos de quartzo e mesmo feldspato, aumentando o teor dos mesmos a medida que se aprofunda o perfil.

O potencial de expansão deste solo, pela análise de correlações com limites de Atterberg, citados anteriormente, é baixo. A atividade coloidal também é baixa, confirmada pela presença de caolinita. Os limites de consistência estão dentro dos intervalos considerados adequados por DIETZ (1979) e HAMMOND (1972). A variação volumétrica, verificada no ensaio de determinação do limite de contração, foi uma das mais baixas, quando comparada aos outros solos estudados, especialmente se considerarmos o teor argiloso de 22%. Alguns solos com o mesmo tipo de argilomineral e teor argiloso inferior, apresentaram variações mais significativas, como no caso do solo da unidade PVg,gn1.

O valor de  $\gamma_d$  obtido para este solo no ensaio de compactação foi o mais elevado de todos, com a menor umidade ótima. Os resultados obtidos por CRUZ (1988), no estudo de solos com substrato granitos no município de Porto Alegre, são semelhantes aos determinados para esta pesquisa. Dentro da avaliação deste parâmetro por DOAT (1979), este seria o único solo com valores satisfatórios de  $\gamma_d$  para o uso na construção. Porém, isto não significa que os outros valores, mais baixos, não possam ser utilizados, pois são diversos os fatores envolvidos nesta avaliação, servindo a mesma apenas como um subsídio à escolha, porém sujeita a sérias críticas.

#### VI.4.2 - Características mecânicas e de absorção

A tabela VI.17 apresenta os valores de resistência à compressão e absorção por capilaridade determinados para este solo. A curva de decréscimo de resistência com o aumento da umidade está representada na figura VI.4.

O único fator desfavorável à utilização deste solo na construção de habitações, foi a baixa resistência à compressão inicial (amostra seca) obtida para o mesmo. Entretanto, o decréscimo de resistência com o aumento da umidade de ruptura foi o menor de todos solos. Mas deve ser observado que a saturação máxima da amostra na ruptura era inferior aos outros

Unid. Geot.	Horiz	Prof m	Tipo de Ensaio	Pedreg %	Areia Gross %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %
PVg	B	2.0	com defloc	7	34	9	10	18	22
			sem defloc	5	19	13	17	46	0

Tabela VI.14 - Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante

Limites de Cons e Plasticidade (%)				P.Espec. Real Gr. (kN/m <sup>3</sup> )	Ativ. Coloid (Ia)	Var. Vol. (%)	Compactação $\gamma_d$ $\omega_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) (%)	
LL	LP	IP	LC					
37	30	7	24	26.5	0.32	22.5	18.12	12.1

Tabela VI.15 - Limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVg)

Unid. Geot.	Classificação do solo		
	SUCS	HRB/AASHO	TRIANG. TRILINEAR
PVg	SM/SC	A-4-(1)	Franco-Argilo-Arenoso

Tabela VI.16 - Classificação dos solos segundo sistemas tradicionais

UNID. GEOT.	RESIST.À COMPR.(kN/m <sup>2</sup> ) x UMIDADE DE RUPTURA(%)							ABSORÇÃO (%)
	RCS1 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r1}$ (%)	RCS2 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r2}$ (%)	RCS3 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r3}$ (%)	SAT3 (%)	
PVg	1152	0.50	1091	1.89	902	12.1	69.3	15.99

RCS1 - AMOSTRA SECA EM ESTUFA

RCS2 - AMOSTRA SECA AO AR LIVRE

RCS3 - AMOSTRA COM UMIDADE DE MOLDAGEM

Tabela VI.17- Resistência à compressão simples com diferentes teores de umidade e absorção por capilaridade

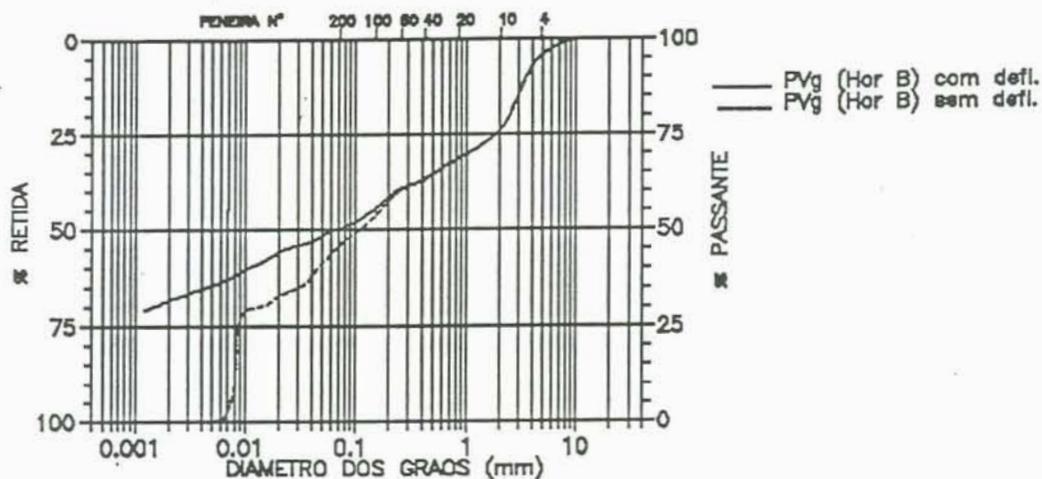


Figura VI.9 - Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVg)

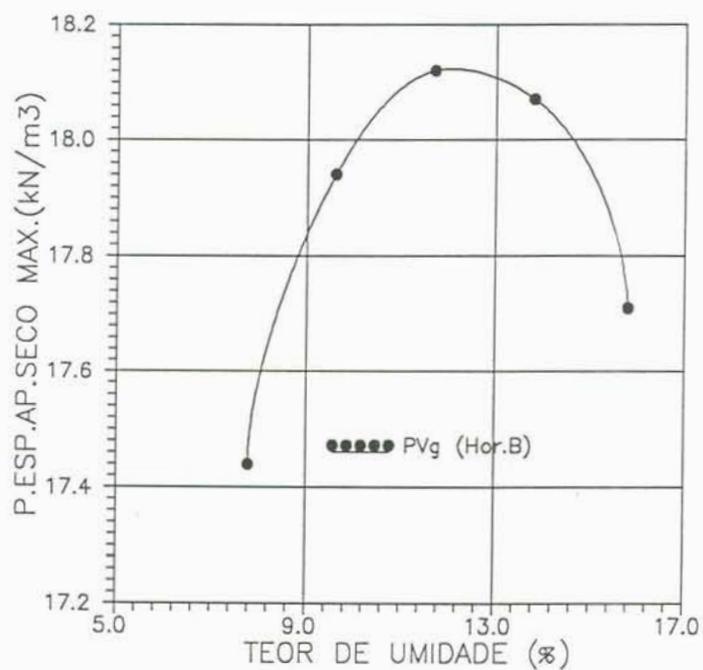


Figura VI.10 - Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVg)

solos. No ensaio de erosão, após os ciclos de molhagem e secagem, realizou-se a verificação do decréscimo da resistência à compressão. Neste caso, onde a saturação da amostra era maior, os valores de resistência tiveram uma queda bem mais acentuada, com taxas de decréscimo da mesma ordem que os outros solos.

Na comparação das resistências obtidas para este solo, com os valores exigidos pela DIN 18954 (1956), verifica-se estarem os mesmos bem abaixo do mínimo. Um fator positivo em relação às propriedades mecânicas foi a mais baixa absorção (<20%) em relação aos outros solos, com uma saturação superior a 90%.

O ensaio de erosão realizado para este solo, mostrou ser o mesmo mais erodível que o solo da unidade PVg,gn1, quando exposto sem proteção ao jato de água. Os resultados deste ensaio são apresentados na tabela VI.18. Como no caso do solo da unidade PVg,gn1, foram realizados dois ensaios completos com a amostra sem proteção, devido a problemas na base dos corpos-de-prova e no ajuste do aparelho. A taxa de decréscimo de resistência à compressão para as amostras protegidas com reboco foi maior do que naquelas sem nenhum tipo de proteção, devido também a maior saturação. Os motivos foram os mesmos descritos para o solo da unidade PVg,gn1, com a diferença que as taxas foram mais altas e os problemas mais graves.

As amostras pintadas com tinta à base de cimento, com exceção de uma amostra, nem ao menos chegaram até o final do terceiro ciclo. Houve a fissuração da tinta, devido aos ciclos de molhagem e secagem, e conseqüentemente uma maior penetração de água. As conseqüências destes problemas foram piores do que se não houvesse proteção, pois a aderência da tinta ao solo fez com que houvesse o desprendimento de placas de solo e tinta, conduzindo a destruição prematura dos corpos-de-prova.

As amostras com reboco não tiveram problemas com a erosão, mas os movimentos diferenciais de retração durante os ciclos de molhagem e secagem geraram trincas até mais acentuadas que no caso das amostras do solo PVg,gn1, com uma maior

saturação e decréscimo da resistência à compressão. Recomenda-se também neste caso, uma maior atenção com o processo executivo dos rebocos, de modo a evitar fissurações e problemas de falta de adesão. HAMMOND (1973) e CEPED (1984), citam uma série de procedimentos e materiais diferentes, de modo a fornecer uma maior proteção às paredes construídas com solo.

#### VI.4.3 - Avaliação qualitativa do bloco compactado

A foto VI.9 mostra a situação do bloco compactado com o solo da unidade PVg, ao final do período de análise. Não houve problemas durante a moldagem e retirada da forma. Ao longo de todo o período de análise não foram desenvolvidas fissuras, nem mesmo separação de camadas. A erosão superficial foi muito pouco acentuada, sendo um pouco mais notada na base, pelo rebatimento das gotas de chuva, porém, sem causar maiores problemas. O único problema mais sério em relação a durabilidade do bloco, foi a quebra de algumas partes das arestas do mesmo. Aliás, este é um dos problemas a ser resolvido no caso de construções de diversos tipos, e em especial neste caso. A estabilização pode minimizar um pouco este problema, mas nem sempre garante a sua solução.

As características físicas deste solo parecem estar bem adequadas, a julgar pelo bom desempenho frente a esta exposição ao tempo em situação desfavorável. Ou seja, sem revestimentos, cobertura inadequada, entre outros. A questão principal a ser solucionada é a elevação da resistência à compressão deste solo.

#### VI.5 - Podzólico Vermelho-Amarelo com Substrato Arenito (PVA)

##### VI.5.2 - Características físicas do solo

As tabelas VI.19, VI.20 e VI.21 apresentam respectivamente os resultados das análises granulométricas realizadas com e sem defloculante, limites de Atterberg, índices físicos, atividade coloidal de Skempton, variação volumétrica e resultados do ensaio de compactação.

As figuras VI.11 e VI.12 apresentam respectivamente as

UNID. GEOT.	TIPO DE AMOSTRA	TAXA DE EROSAO MEDIA (%)	RCS MEDIA (ANTES DO ENSAIO) (kN/m <sup>2</sup> )	RCS MEDIA (APOS O ENSAIO) (kN/m <sup>2</sup> )	TAXA DE DECRESCIMO DA RCS (%)	UMIDADE RUPTURA (%)	SATURACAO (%)
PVg	sem protecao		1004			seco em estufa	
	sem protecao ensaio 1	0.35		18	98.2	23.5	100
	sem protecao ensaio 2	0.27		274	72.7	14	80.3
	com pintura	OS CORPOS DE PROVA NAO RESISTIRAM AOS TRES CICLOS DO ENSAIO					
	com reboco	NULA		88	91.2	18.2	100

Tabela VI.18 - Resultados do ensaio de resistência à erosão e decréscimo de resistência à compressão simples (unidade PVg)

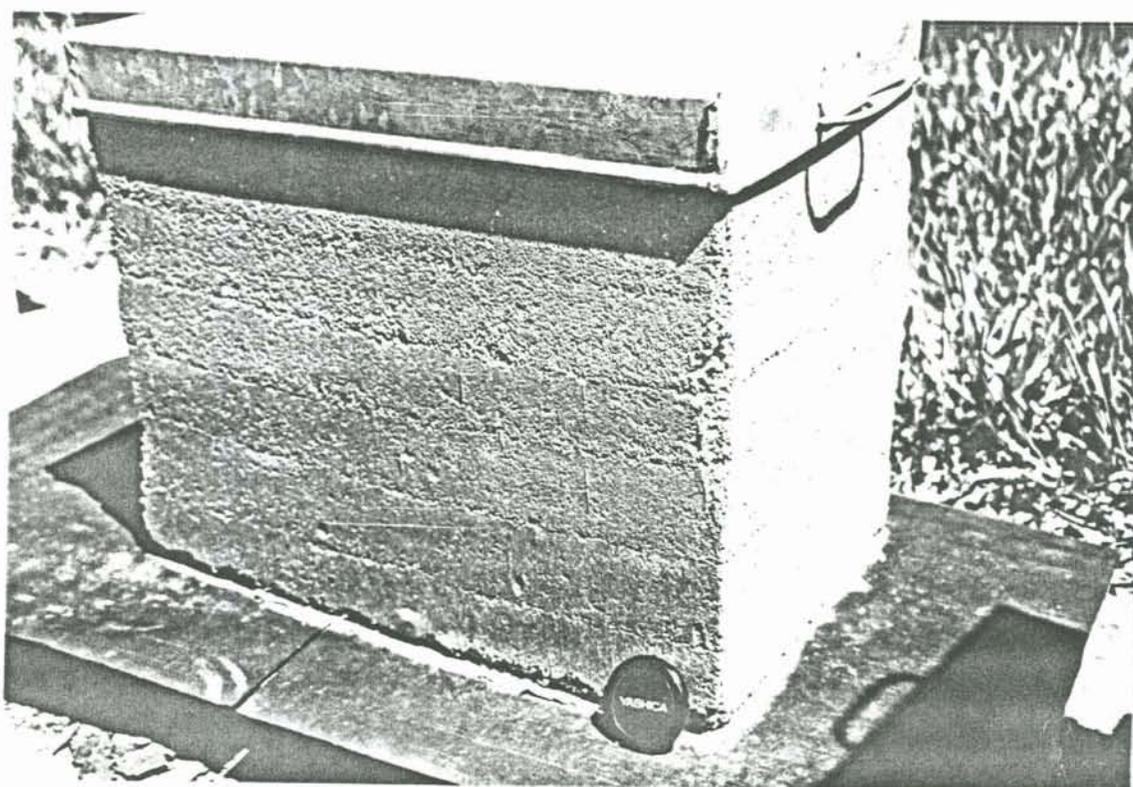


Foto VI.9 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVg)

curvas granulométricas com e sem defloculante e as curvas do ensaio de compactação.

Este solo é classificado pelo sistema triangular trilinear como franco-arenoso. Apesar de se tratar de um solo saprolítico de arenito da Formação Botucatu, foi comparado com as faixas granulométricas e o ábaco de classificação textural proposta por HAMMOND (1972) desenvolvida para solos lateríticos, no primeiro caso. Tanto no caso da faixa granulométrica como no caso do ábaco, que tem um caráter de classificação mais genérico, este solo situou-se fora das zonas consideradas adequadas, de acordo com a figura VII.1 e VII.2.

Pela análise de IP, segundo VARGAS (1977) e DOAT (1979), este solo é caracterizado como fracamente plástico. O coeficiente de atividade ( $I_a = IP/\%$  grãos menores que 2 microns) igual a 0,40 demonstra ser inativo o argilomineral predominante no solo. A figura VI.3 apresenta a relação entre LL e IP para cada solo. A figura VII.3 apresenta esta mesma relação, juntamente com o gráfico de atividade coloidal de Skempton para todos os solos.

Na comparação entre LC e LP, verifica-se ser o primeiro maior que o segundo, compatível com solos arenosos. O valor de LC indicaria ainda, segundo POPESCU (1983), a possível presença de caolinita e ilita, o que foi comprovado, segundo NUNEZ (1991), na análise difratométrica deste solo. Esta análise indicou a predominância de caolinita, com expressiva presença de ilita e mica em alteração.

Segundo NUNEZ (1991), a expansão máxima deste solo, acompanhada durante o ensaio de determinação do Índice Suporte Califórnia (ISC), foi de 1,60% em corpos-de-prova moldados na energia do Proctor Normal. A presença de ilita e mica parcialmente intemperizada poderiam ser, de acordo com o autor, responsáveis por esta expansão, que só não é maior pela presença de caolinita. Segundo correlações de SOWERS (1962), CHEN (1974) e BOWLES (1977), citados anteriormente, o potencial de expansão seria baixo.

Pela avaliação de DIETZ (1979) de intervalos mais adequados de limites de consistência, este solo estaria bem enquadrado em relação a este parâmetro, o que parece ser incorreto. De acordo com estudo de VAIDYANATHAN & RAMASWAMY (1978), o IP não deve ser inferior a 4% para aplicação do solo na construção de moradias. Este solo possui plasticidade muito baixa e uma forte friabilidade pelo baixo teor argiloso do solo, tornando bastante inadequado o seu emprego sem adição de estabilizante.

Os valores de  $\gamma_d$  e  $\omega_{ot}$  encontradas através do ensaio de compactação estão bastante próximos aos que foram determinados para os outros solos. Dentro da classificação de DOAT (1979), este valor de  $\gamma_d$  seria também considerado ruim.

#### VI.5.2 - Características mecânicas e de absorção

A tabela VI.22 apresenta os resultados de resistência à compressão e absorção obtidas para este solo. Na figura VI.4 aparece o decréscimo da resistência com o aumento do teor de umidade do solo.

Este solo foi o que apresentou os mais baixos níveis resistência de todos aqueles que foram estudados. Em comparação com a resistência seca mínima exigida pela norma alemã DIN 18954 (1956), os valores estão bem abaixo. Da mesma forma, a absorção é bem elevada, superior a 20%. A saturação da amostra após o ensaio chegou a 100%.

Apenas para efeito de comparação, NUNEZ (1991) no estudo deste solo estabilizado com cimento conseguiu obter resistência à compressão máxima de até 3390kN/m<sup>2</sup> após 28 dias de cura e com teor de cimento igual a 11%, com corpos-de-prova compactados na energia do Proctor Normal. Houve também uma melhoria geral das propriedades físicas, com diminuição da expansão e da absorção.

Para este solo não há dúvidas quanto a necessidade da adição de estabilizantes, ou no mínimo, da correção

Unid. Geot.	Horiz	Prof m	Tipo de Ensaio	Pedreg %	Areia Gross %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %
PVa	C	16.0	com defloc	0	0	5	52	33	10
			sem defloc	5	19	13	17	46	0

Tabela VI.19 - Resultado da análise granulométrica com e sem defloculante

Limites de Cons e Plasticidade (%)				P.Espec. Real Gr. (kN/m <sup>3</sup> )	Ativ. Coloid (Ia)	Var. Vol. (%)	Compactação $\gamma_d$ $\omega_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) (%)	
LL	LP	IP	LC					
21	17	4	20	26.9	0.40	9.9	17.40	16.0

Tabela VI.20 - Limites de Atterberg, índices físicos e características de compactação (unidade PVa)

Unid. Geot.	Classificação do solo		
	SUCS	HRB/AASHO	TRIANG. TRILINEAR
PVa	SM/SC	A-4-(1)	Franco-Arenoso

Tabela VI.21 - Classificação dos solos segundo sistemas tradicionais

UNID. GEOT.	RESIST.À COMPR.(kN/m <sup>2</sup> ) x UMIDADE DE RUPTURA(%)							ABSORÇÃO (%)
	RCS1 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r1}$ (%)	RCS2 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r2}$ (%)	RCS3 (kN/m <sup>2</sup> )	$\omega_{r3}$ (%)	SAT3 (%)	
PVa	724	0.11	344	0.25	121	16.0	78.8	23.84

RCS1 - AMOSTRA SECA EM ESTUFA

RCS2 - AMOSTRA SECA AO AR LIVRE

RCS3 - AMOSTRA COM UMIDADE DE MOLDAGEM

Tabela VI.22- Resistência à compressão simples com diferentes teores de umidade e absorção por capilaridade

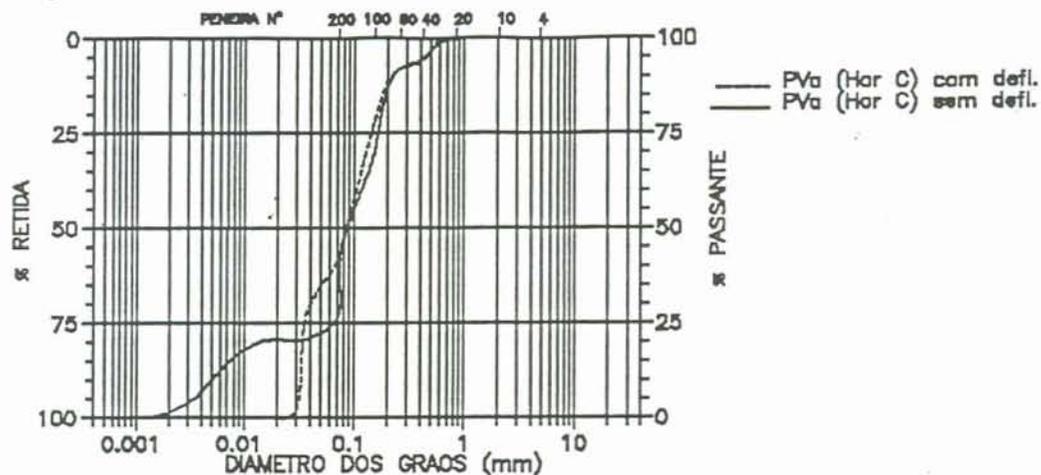


Figura VI.11 - Curvas granulométricas do ensaio realizado com e sem defloculante (unidade PVa)

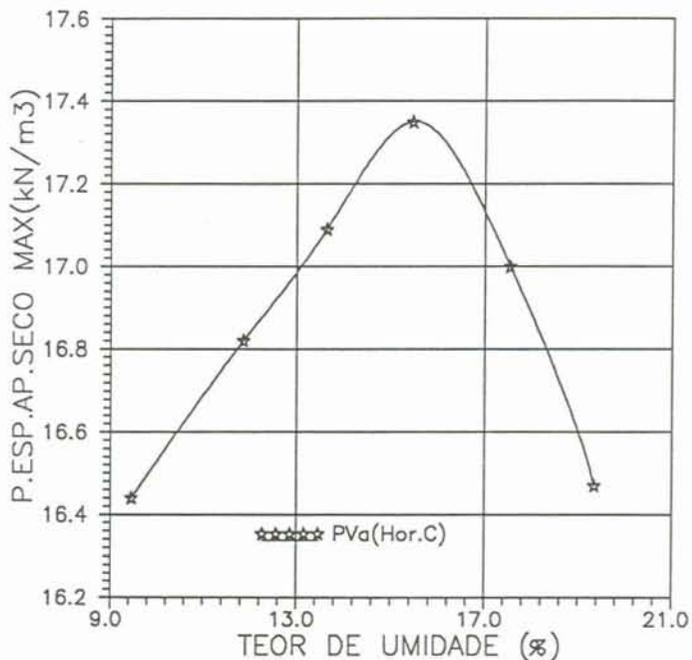


Figura VI.12 - Curva de compactação (Proctor Normal) (unidade PVa)

granulométrica, com adição de um solo com teor argiloso mais elevado.

#### VI.5.3 - Avaliação qualitativa do bloco compactado

A foto VI.10 apresenta a situação do bloco compactado ao final do período de análise, após um ano de exposição. Na retirada das formas do bloco após a compactação, houve a aderência de solo à parede, por ser este um solo bastante friável mesmo compactado, sendo facilmente esboroadado pela pressão dos dedos. O resultado desta aderência pode ser observada nas fotos deste bloco. Entretanto, o mesmo teve um comportamento de certa forma satisfatório no que diz respeito a resistência à erosão durante o período de análise. Onde houve o desprendimento de solo, a erosão não evoluiu praticamente nada, sendo as imperfeições superficiais referentes à moldagem.

Uma observação interessante deve-se fazer em relação ao soquete metálico quadrado, que ao final das moldagens tinha causado muitos danos às formas, ocasionando imperfeições nas laterais dos blocos.

Não surgiram trincas nem separação de camadas ao longo dos ciclos de molhagem e secagem, devido às características físicas deste solo. A erosão superficial foi mínima, com exceção da base, que como sempre é a parte mais prejudicada pelo rebatimento dos pingos de chuva. Porém, sua característica mais negativa em relação a durabilidade, apesar de não ter sofrido forte erosão, é a friabilidade. Esta característica proporciona baixas resistências aos choques mecânicos e conduz a queda de partes do elemento construído.

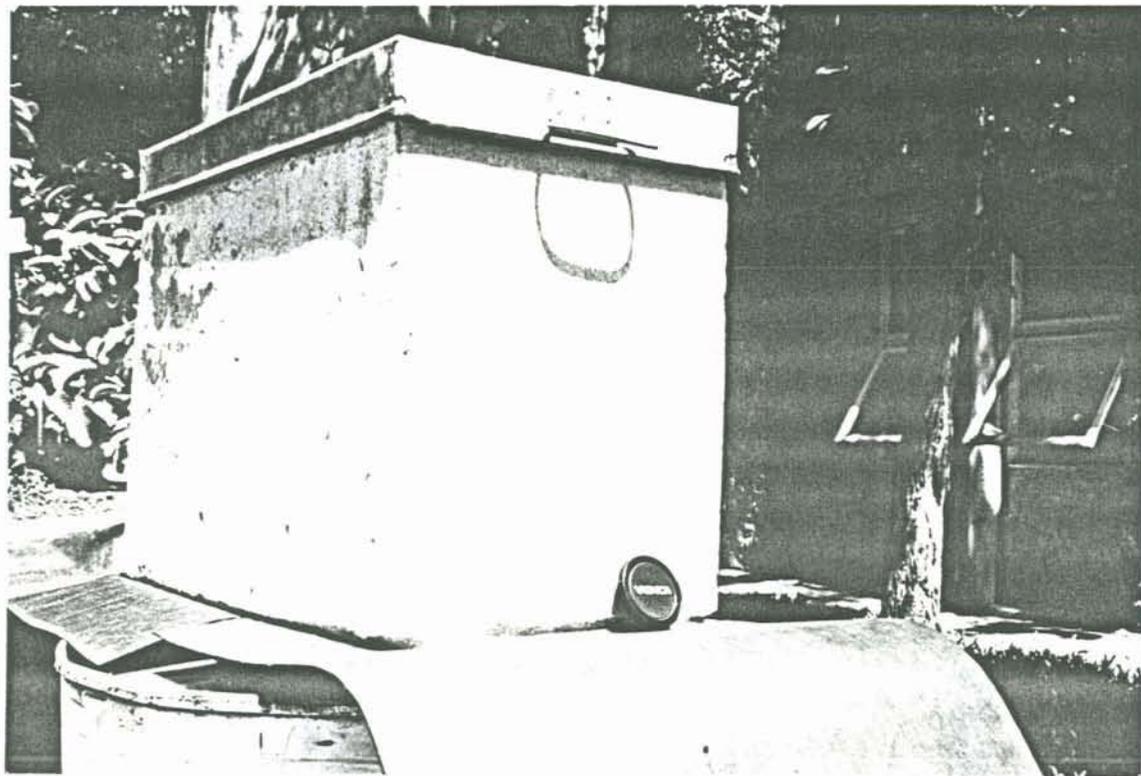


Foto VI.10 - Situação do bloco compactado após 12 meses de exposição ao tempo (unidade PVA)

## VII - ANÁLISE GERAL

O horizonte de estudo pesquisado pela sua significância, no caso 5 jazidas, é classificado pedologicamente como horizonte B textural ( $B_t$ ). Estes solos são classificados para fins de engenharia como solos lateríticos. Os solos das duas jazidas em que foram estudados o horizonte C, classificam-se para fins de engenharia como solo saprolítico de migmatito e solo saprolítico de arenito.

A seguir apresenta-se uma série de gráficos com uma análise conjunta de cada parâmetro determinado para caracterização física e mecânica dos solos pesquisados. Esta análise é realizada separadamente para os horizontes B e C, e apesar da maioria dos solos pertencerem a unidades geotécnicas diferentes, foi possível encontrar algumas correlações entre as características físicas e mecânicas dos mesmos, quando analisados conjuntamente. Inicialmente são apresentados os resultados das características físicas relacionados entre si, e posteriormente a relação encontrada entre estas e as propriedades mecânicas determinadas.

### VII.1 - Características físicas

A figura VII.1 apresenta as curvas granulométricas dos diversos solos estudados, juntamente com a faixa granulométrica de solos lateríticos recomendados à construção por HAMMOND (1972). Verifica-se que aqueles solos que não possuem teores muito elevados de argila, com texturas variando de franco a franco-argilo-arenosa na classificação triangular trilinear, situam-se dentro dos limites desta faixa (unidades PVg e PVg,gn1). Os solos destas unidades classificam-se no sistemas SUCS como SM/SC e SM, e no sistema HRB/AASHO como A-4(1) e A-4(3) respectivamente. Esta faixa granulométrica foi

desenvolvida pelo autor para o caso de solos lateríticos. O solo saprolítico pertencente à unidade PVg,gn2 adequou-se bem à faixa, mas o comportamento mecânico do mesmo não foi muito satisfatório, como veremos a seguir. Este solo classifica-se como franco-arenoso pelo sistema triangular trilinear, SM pelo sistema SUCS e A-5(1) pela HRB/AASHO. Os solos lateríticos que se situaram fora ou parcialmente fora da faixa considerada adequada pelo autor (unidades PVst e PVp), são classificados no sistema triangular trilinear como franco-argiloso ou argiloso. Pelo sistema da SUCS são classificados como CL/CH ou CL, e por fim, pelo sistema HRB/AASHO como A-6, A-7 ou ainda A-7-5. O solo saprolítico da unidade PVa, parcialmente fora da faixa, classifica-se como franco-arenoso, SM/SC e A-4(1), segundo os mesmos sistemas. Na análise granulométrica realizada sem defloculante, todos os solos apresentaram teor de argila igual a zero. Ou seja, o grau de flocculação, obtido através da diferença entre o teor de argila total e o teor de argila natural, dividido pela teor de argila total, é igual a 100% para todos os solos pesquisados.

Na figura VII.2 estes mesmos solos são relacionados com o ábaco de classificação textural de HAMMOND (1973) onde são delimitadas zonas com solos adequados à construção. A classificação textural neste ábaco considera argila como fração inferior a 0.005mm, silte como a fração compreendida entre 0.05 e 0.005mm e areia de 2.0 a 0.05mm, diferentemente da norma da ABNT, utilizada para classificação dos solos nesta pesquisa. Levando-se em conta este fato, os solos pesquisados foram situados no ábaco, considerando como areia a fração superior a 0.05mm, respeitando os outros limites propostos pelo autor. Pode-se observar nesta relação dos solos pesquisados com o ábaco, uma concordância com a faixa granulométrica da figura VII.1, com a diferença que os dois solos saprolíticos estão localizados fora da zona considerada adequada, no caso do ábaco, o que parece ser correto, dado o comportamento insatisfatório de ambos os solos.

Na comparação dos resultados das análises granulométricas com as recomendações de diversos autores citados

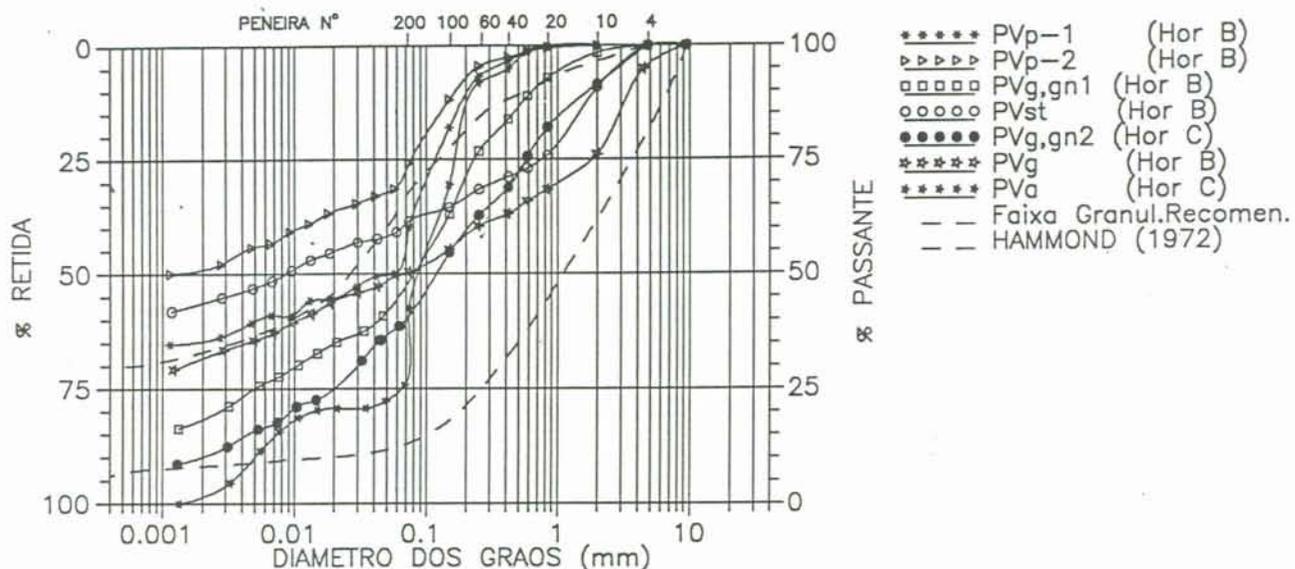


Figura VII.1 - Curvas granulométricas dos solos estudados e faixa granulométrica de solos lateríticos recomendados à construção (HAMMOND, 1972)

N <sup>o</sup>	Classe	Areia $\frac{\%}{\%}$	Silte $\frac{\%}{\%}$	Argila $\frac{\%}{\%}$
1	Areia	80-100	0-20	0-20
2	Franco-arenoso	50-80	0-50	0-20
3	Franco	30-50	30-50	0-20
4	Franco-siltoso	0-50	50-100	0-20
5	Franco-argilo-arenoso	50-80	0-30	20-30
6	Franco-argiloso	20-50	20-50	20-30
7	Franco-argilo-siltoso	0-30	50-80	20-30
8	Argila arenosa	50-70	0-20	30-50
9	Argila siltosa	0-20	50-70	30-50
10	Argila	0-50	0-50	30-100

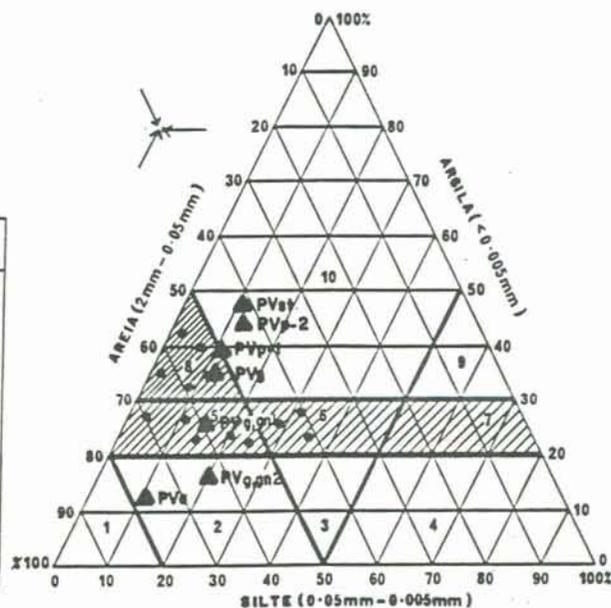


Figura VII.2 - Ábaco de classificação textural de solos (HAMMOND, 1973). Classificação dos solos estudados

no capítulo 2, percebe-se serem as recomendações de HAMMOND (1972, 1973) as mais adequadas, sendo as outras bastante genéricas, ou mesmo desenvolvidas para o caso de solos de regiões de clima temperado, variando bastante em relação aos solos tropicais e subtropicais.

A figura VII.3 apresenta os resultados dos índices de consistência no gráfico de Casagrande, juntamente com o gráfico de atividade coloidal de Skempton. Verifica-se que todos solos possuem baixa atividade coloidal, com exceção do horizonte C saprolítico da unidade PVg,gn2, que apresenta  $I_a=0.90$ , correspondendo a atividade moderada, provavelmente pela presença de illita e mica parcialmente alterada, conforme citação anterior. A figura VII.4 apresenta uma relação linear entre o teor de argila do solo e limite de liquidez, para o caso dos solos estudados em seu horizonte B. O aumento do teor de argila, provoca um aumento no índice de plasticidade dos solos, confirmando o esperado.

A maioria dos solos apresentaram-se, pela análise do índice de plasticidade, como fracamente a moderadamente plásticos. No caso dos solos lateríticos das unidades PVg e PVg,gn1, que se adequaram bem às faixas granulométricas e o ábaco de classificação textural de solos mais apropriados à construção, apresentaram fraca plasticidade. Na comparação com a correlação entre índice de plasticidade e potencial de expansão em condições úmidas, realizadas por SOWERS (1962) e CHEN (1974), todos os solos possuiriam baixo potencial de expansão. Porém, segundo a mesma correlação, juntamente com o limite de liquidez, realizado por BOWLES (1977), os mesmos solos poderiam ter um potencial de expansão baixo a médio, devido ao valor de LL, com exceção dos solos das unidades PVg,gn1 e PVa, que por esta relação tem potencial baixo. Segundo DIETZ (1979), de modo geral, solos tropicais e subtropicais vão ter um potencial mais baixo. Isto é comprovado em estudos realizados por GIDIGASU (1972), pois estes solos possuem um maior grau de evolução pedogenética, sendo normais os altos teores de ferro e alumínio. De acordo com a citação de POPESCU (1983), em solos com LC maior que 12%, IP menor que 18%, e argila coloidal inferior a 15%, o

potencial de expansão não seria crítico.

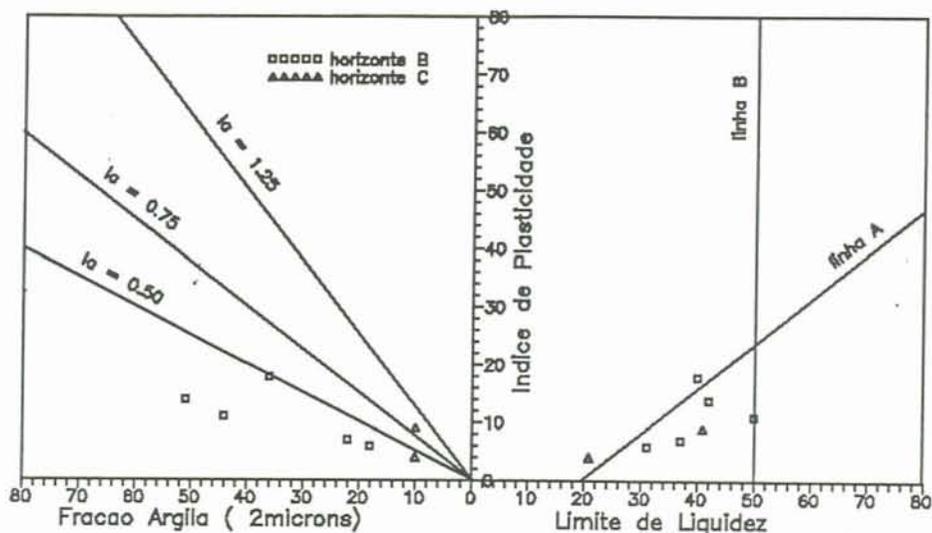


Figura VII.3 - Apresentação dos resultados de plasticidade no gráfico de Casagrande associado com o gráfico de atividade coloidal de Skempton

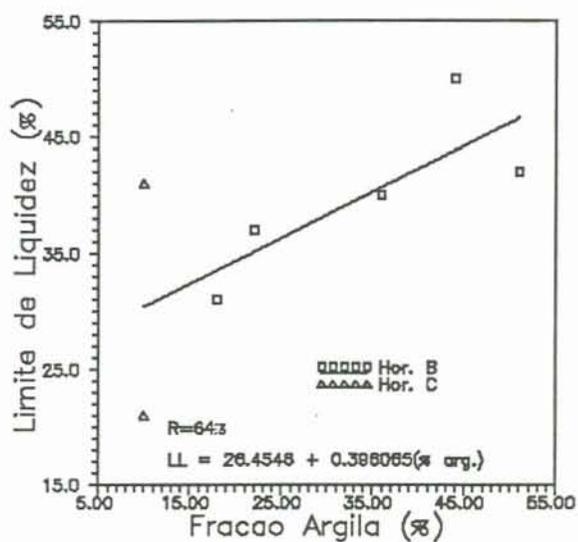


Figura VII.4 - Relação entre limite de liquidez e teor de argila dos solos estudados

A variação volumétrica obtida quando da realização do ensaio de determinação do limite de contração, foi maior para os solos mais argilosos, com exceção do solo da unidade PVg,gn2. Este solo, apesar do baixo teor de argila, apresentou a maior variação volumétrica de todos solos estudados. A explicação para este fato, provavelmente está relacionada com a mineralogia, pois este solo apresentou illita em menor quantidade, além da caolinita.

A análise mineralógica realizada para os diversos solos evidenciou a existência de quartzo na fração grosseira de todos estes, e na fração fina o argilomineral predominante em todos os casos foi a caolinita. Entretanto, no caso dos solos das unidades PVg,gn2 e PVa, o argilomineral illita foi detectado, porém em menor proporção, bem como a existência de mica. Estas análises difratométricas, juntamente com os índices e limites de consistência, associados à análise da expansão no ensaio de determinação do I.S.C., comprovam a tendência dos solos estudados a um baixo potencial de expansão, podendo os solos saprolíticos pesquisados serem um pouco mais expansivos, porém não em níveis considerados críticos.

A figura VII.5 mostra as curvas de compactação na energia Proctor Normal de todos os solos pesquisados. Os valores obtidos para o peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_d$ ) e umidade ótima ( $\omega_{ot}$ ) de cada solo estão apresentadas em cada unidade geotécnica descrita no capítulo anterior e no quadro geral anexo.

Na análise conjunta das curvas de compactação observa-se que os dois solos estudados em seu horizonte C (PVa e PVg,gn2), denominados de solos saprolíticos, possuem um maior  $\gamma_d$  e menor  $\omega_{ot}$  que aqueles solos estudados em relação ao seu horizonte B, com exceção da unidade PVg, que é um horizonte B com substrato granito Santana, possuindo uma significativa fração grosseira. Pela análise do quadro geral anexo, verifica-se que os valores de  $\gamma_d$  superiores a 18,0kN/m<sup>3</sup> são também encontrados para o horizonte B dos Podzólicos Vermelho-Amarelo com substrato granito Ponta Grossa. Esta

tendência geral das curvas de compactação confirma o que foi citado por GIDIGASU (1972), de que existe a tendência ao decréscimo do peso específico seco máximo com o aumento do teor argiloso do solo. A figura VII.6 mostra esta tendência, inclusive com relação ao teor de finos do solo. O inverso ocorre com a umidade ótima de compactação, para os mesmos horizontes B estudados (figura VII.7). DAVISON DIAS (1991) encontrou esta mesma correlação para o caso de latossolos roxo, conforme citado anteriormente. Da mesma forma foi encontrado pelo autor a relação da porcentagem passante na peneira 200 com a umidade ótima, havendo aumento desta com o aumento de finos. O inverso ocorre para o caso do peso específico aparente seco máximo.

Na comparação dos valores de  $\gamma_d$  obtidos, com a interpretação realizada por DOAT (1979), referente a adequação de um solo na construção de acordo com o  $\gamma_d$ , todos os solos teriam valores considerados ruins, com exceção do solo da unidade PVg, que apresentou valor de  $\gamma_d$  considerado satisfatório pelo autor.

## VII.2 - Características mecânicas e de absorção

A avaliação da resistência à compressão simples dos solos compactados na umidade ótima se faz importante principalmente para aqueles casos em que os mesmos são usados para construção de paredes monolíticas sujeitas a cargas. E o problema da resistência torna-se mais importante ainda quando há a diminuição da mesma pelo aumento do teor de umidade do solo.

A figura VII.8 apresenta a relação entre o decréscimo da resistência à compressão com o aumento do teor de umidade do solo. Observa-se uma grande diminuição desta resistência quando a amostra é rompida logo após a moldagem, com taxas de decréscimo na ordem de 80 a 90%. A saturação das amostras, neste caso, também apresentava taxas desta ordem. Estes valores de resistência, bastante baixos, tendem a estabilizar-se quando da saturação do corpo-de-prova atinge estes patamares. Este fato foi observado na ruptura das amostras após o ensaio de absorção, em que as resistências eram mínimas. Apenas no caso do solo da

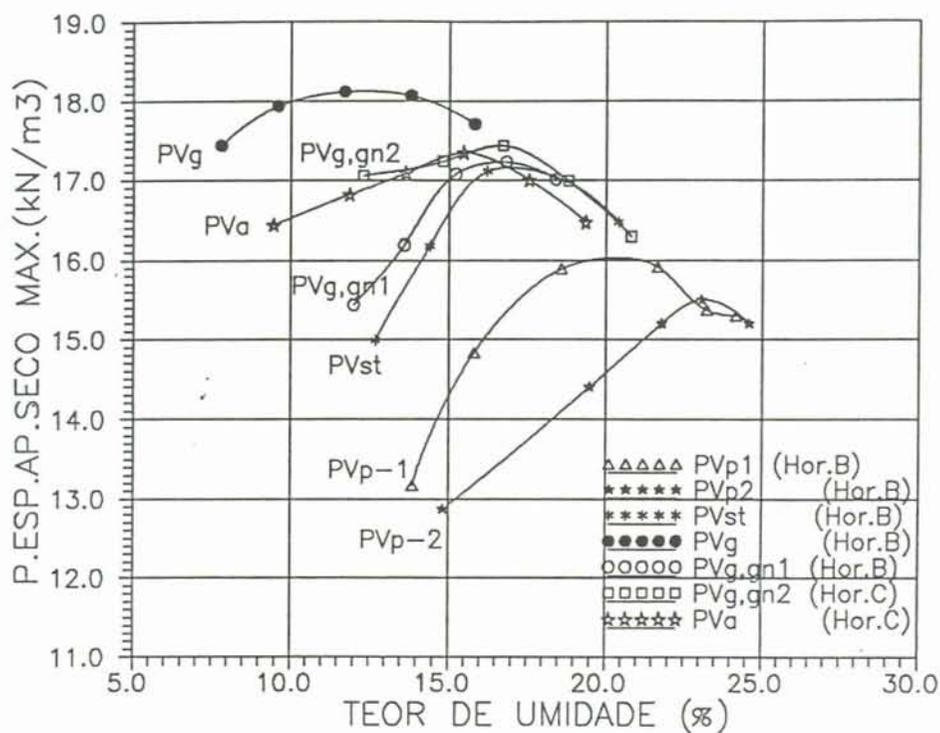


Figura VII.5 - Curvas de compactação (Proctor Normal) de todos solos estudados

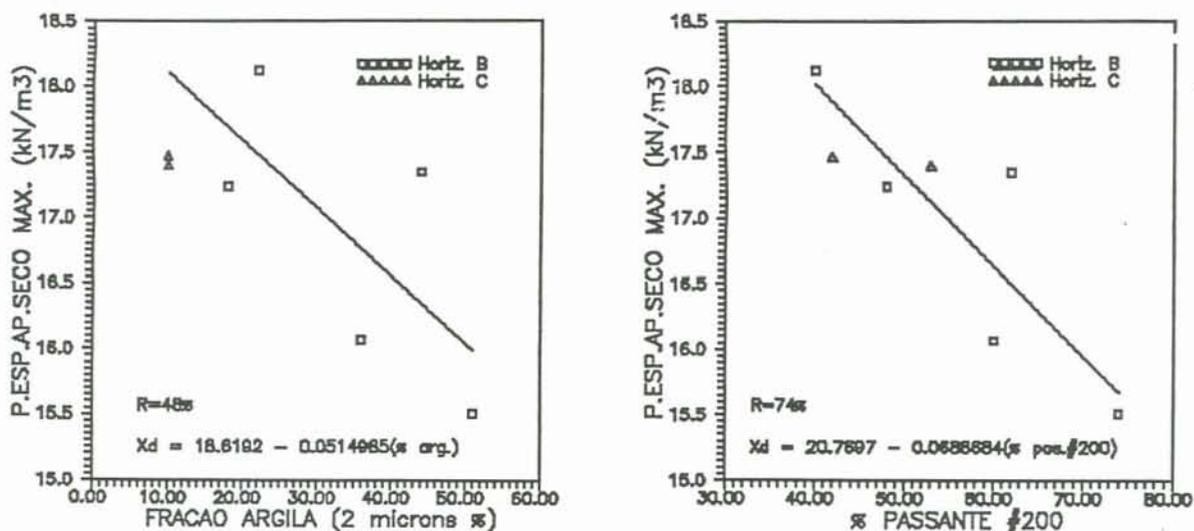


Figura VII.6 - Relação entre peso específico aparente seco máximo e características granulométricas do solo:  
 a. teor de argila do solo  
 b. porcentagem passante na peneira 200

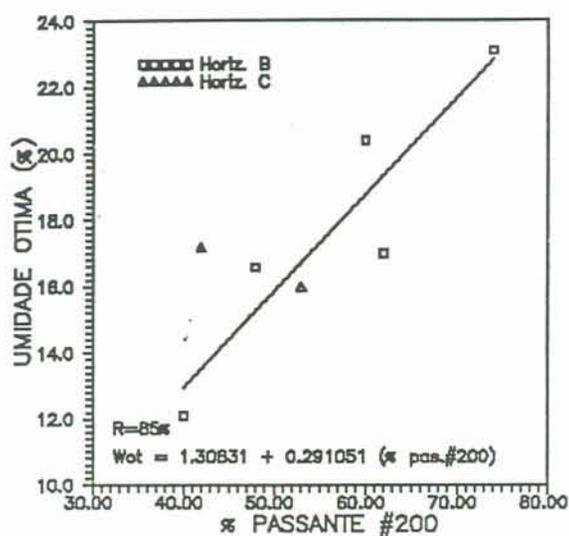


Figura VII.7 - Relação entre umidade ótima de compactação e percentagem passante na peneira 200

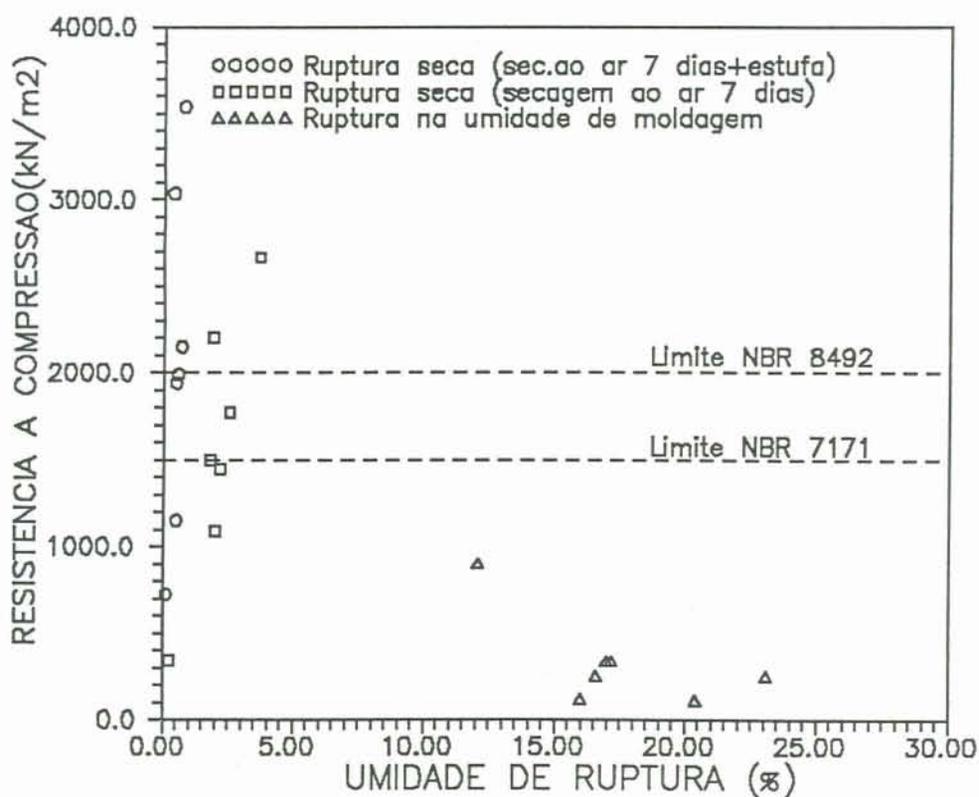


Figura VII.8 - Relação entre resistência à compressão simples e umidade de ruptura do solo

unidade PVg, a taxa de decréscimo da resistência à compressão foi menor, em função da sua menor saturação no momento do ensaio. Porém, neste solo, mesmo o valor da resistência seca ficou bem abaixo do desejado.

Os valores de resistência obtidos, apesar de bastante baixos quando úmidos, são um pouco superiores aos apresentados por HAMMOND (1972), para o caso de argilas arenosas estudados em Gana, na África, conforme visto no capítulo 2. Na relação entre  $\gamma_d$  e resistência à compressão não foi possível encontrar uma boa correlação para os solos estudados em seu horizonte B, mas conforme a figura II.5, pode-se observar que os solos com maior  $\gamma_d$  tiveram maior resistência à compressão. Da mesma forma, a correlação entre  $\omega_{ot}$  e resistência à compressão para o horizonte B destes solos, não foi satisfatória, em função provavelmente do pequeno universo de pontos, mas a tendência é que haja a diminuição desta resistência com o aumento da umidade ótima. Não foi possível encontrar correlações entre a resistência à compressão e outras características físicas do solo, como teor de argila, limites de consistência, entre outros. A resistência à compressão com a amostra seca 7 dias ao ar livre e mais 24 horas na estufa, é bastante satisfatória para a maioria dos solos. No caso da secagem somente ao ar livre, mantida a temperatura constante, há uma ligeira diminuição de resistência.

As diversas normas e recomendações de vários autores, para o caso da resistência à compressão, referem-se a valores mais elevados, de 1400 a 3500kN/m<sup>2</sup>, conforme exposto no capítulo 2. Quando o solo possui muito baixos teores de umidade, esta resistência, em geral, pode ser facilmente alcançada, mesmo sem a adição de estabilizantes. O problema torna-se mais grave quando da absorção de água pelo solo. Os valores obtidos no ensaio de absorção por capilaridade foram expostos para cada unidade no capítulo anterior, estando também apresentado no quadro geral anexo.

A questão principal a ser analisada no caso de resistência à compressão, talvez seja as condições de utilização deste e outros materiais na habitação. O primeiro ponto é se o

material estará ou não sujeito a ação de cargas, ou ainda se é utilizado para paredes exteriores, expostas à interpérie, ou para paredes interiores. Outro fator importante são as medidas de proteção discutidas no capítulo 2, as quais podem conduzir a uma situação bem mais favorável. Por outro lado, ao se tentar simular em laboratório as condições de utilização a campo, deve-se estar a favor da segurança, testando a pior condição prática. A situação ideal de avaliação, segundo MORIARTY (1978), seria a avaliação conjunta de desempenho de protótipos com ensaios laboratoriais.

A figura VII.9 apresenta algumas correlações entre a absorção e a fração argila do solo, bem como com o teor de finos do solo (% passante na peneira 200), somente para solos estudados em seu horizonte B. Para estes solos, classificados para fins de engenharia como lateríticos, houve uma tendência ao acréscimo da absorção com o aumento no teor de finos do solo. Os dois solos saprolíticos, das unidades PVa e PVg,gn2, apresentaram os valores mais elevados de absorção. Segundo DIETZ (1979) uma das explicações para este fato, é que quanto mais arenosos os solos, maiores os índices de vazios e conseqüentemente a absorção será mais elevada. Por outro lado, o aumento do teor argiloso eleva a absorção capilar do solo.

Pode-se observar que a diminuição da resistência à compressão simples está intimamente ligada a absorção de umidade pelo solo. Conforme visto anteriormente, é aconselhável para todos os casos, o uso de medidas de proteção para evitar esta absorção. O primeiro fator natural a considerar neste caso, é a ação da chuva, que para o caso das paredes de 30 ou 40cm de espessura, por exemplo, dificilmente causará a sua total saturação. A ascensão capilar, no caso do lençol freático próximo a superfície, pode ser evitada se houver fundações adequadas, com uma certa elevação das paredes em relação ao nível do terreno, por exemplo. A localização topográfica de uma casa construída com solo sem estabilizante, também é de vital importância, pois a situação de imersão é totalmente desfavorável a integridade da parede. Conforme citado no capítulo 2, KHAN (1978), observou a destruição de habitações

deste tipo após fortes chuvas e inundações no Paquistão. Desta forma, as mesmas não devem ser construídas em zonas alagadiças e inundáveis. Conclui-se então, que se tomadas estas precauções iniciais, quanto a localização e medidas de proteção, os problemas com relação a resistência à compressão e mesmo durabilidade, são bastante minimizados.

O ensaio de erosão realizado para os solos das unidades PVg e PVg,gn1 permitiram uma avaliação mais qualitativa do que quantitativa, dada a uma certa imprecisão das medidas, devido a simplicidade do ensaio. Os ensaios de erosão, conforme citação de DOAT (1979) apresentam uma série limitações devido à precisão, sendo que seus resultados não devem ser utilizados para preterir o solo analisado. Pode-se obter com o ensaio de erosão realizado, uma análise comparativa entre os dois solos, e o comportamento dos mesmos frente a algumas medidas de proteção empregadas.

O solo da unidade PVg,gn1 mostrou-se menos erodível que o solo da unidade PVg, mantendo as diferenças de resistência à compressão observadas anteriormente, com menor taxa de decréscimo no primeiro solo. O fato do solo da unidade PVg,gn1 ser menos erodível que o solo da unidade PVg, comprova o que foi analisado na questão da durabilidade dos blocos compactados expostos à intempérie. O solo PVg,gn1, no caso dos blocos, mostrou-se menos erodível superficialmente, mas tinha o sério problema das trincas devidas à retração e expansão do solo. O contrário acontecia com o solo da unidade PVg, com maior erosão superficial, porém pouco significativa e sem trincamento aparente. No ensaio de erosão, como a secagem das amostras em 24 horas (período entre um ciclo e outro) não era total, os mesmos não apresentavam problemas de retração significativos. Assim, o único problema era realmente a erosão superficial das amostras, explicando assim, o comportamento mais satisfatório do solo da unidade PVg,gn1 em relação à erosão superficial.

Nos dois casos a erosão foi nula quando os corpos-de-prova estavam protegidos com reboco de cal, cimento e areia. Entretanto, isto não impedia a saturação dos mesmos e o

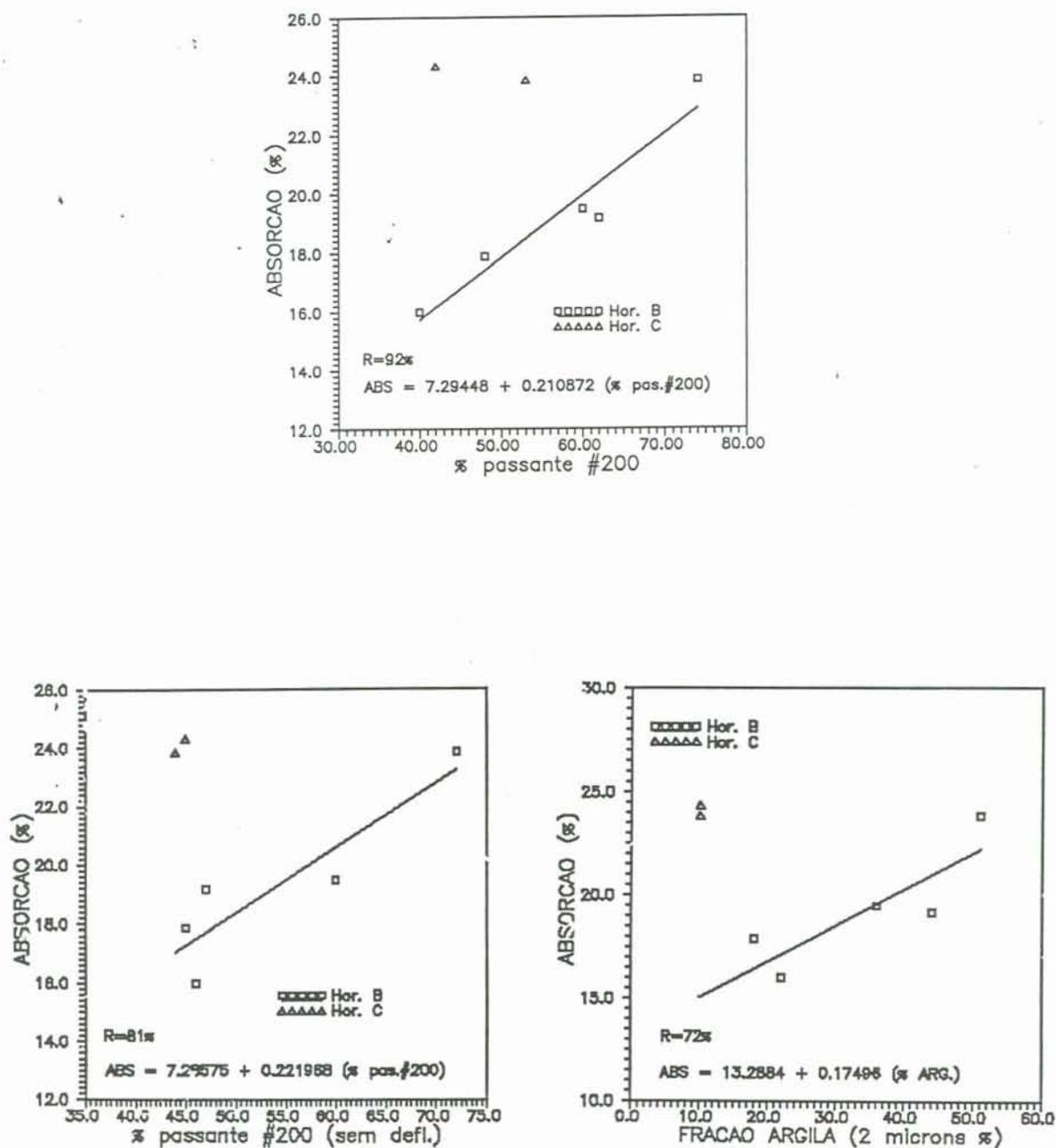


Figura VII.9 - Relações entre absorção e características granulométricas dos solos:

- porcentagem passante na peneira 200 (ensaio com defloculante)
- porcentagem passante na peneira 200 (ensaio sem defloculante)
- teor de argila dos solos

conseqüente decréscimo da resistência à compressão. O mesmo ocorreu com as amostras pintadas, que ao trincarem-se durante a secagem, expuseram totalmente a amostra à erosão, tornando-a mais grave e rápida.

### VII.3 - Durabilidade dos Blocos Compactados

Foi possível observar através da exposição dos blocos compactados à interpérie, diferentes comportamentos de acordo com o tipo de solo empregado. De modo geral, os blocos compactados com solos saprolíticos, mais arenosos, com baixo teores de argila, como no caso dos solos das unidades PVg,gn2 e PVa, apresentaram problemas semelhantes. Estes solos forneceram características de friabilidade aos blocos, tornando-os mais suscetíveis à impactos, quebra dos cantos e à água que escorresse sobre a superfície dos mesmos. O solo da unidade PVg,gn2, apesar do baixo teor argiloso, mostrou-se mais suscetível aos processos de expansão e contração, talvez pela presença de illita e mica, que é amenizada pela predominância de caolinita. Conforme visto anteriormente, o potencial de expansão é baixo, ou no máximo moderado neste caso. O solo da unidade PVa, nesta situação, mostrou-se estável quanto à erosão, sendo a mesma bastante superficial. O problema de separação de camadas ou trincas foi muito pequeno ou praticamente inexistente, dado as suas características físicas.

Os solos denominados lateríticos para fins de engenharia, que possuíam altos teores de argila, apresentaram também problemas semelhantes entre si, apenas variando a intensidade destes problemas de um solo para o outro. Os casos extremos foram os solos da unidade PVp(1 e 2), que apresentaram forte trincamento e separação de camadas ao longo dos ciclos de expansão e retração. Este fator conduziu a total destruição dos blocos, não recomendando o seu uso sem ao menos uma correção granulométrica, visto que os mesmos não apresentam minerais expansivos. A questão principal neste caso, é a diminuição do teor argiloso, que no caso do solo da unidade PVg proporcionou os melhores resultados frente a durabilidade da amostra. Os solos lateríticos apresentaram, de modo geral, baixa erosão

superficial no período de análise, com exceção do solo da unidade PVst. Este solo é mal graduado, possuindo uma significativa fração fina e uma boa parte mais grosseira, destacando-se da matriz argilosa.

O melhor resultado obtido quanto ao aspecto de durabilidade, de todos solos estudados, conforme dito anteriormente, foi o do solo da unidade PVg, que praticamente não apresentou fissuras e separação de camadas, mas somente uma certa erosão superficial, com alguma quebra de cantos do bloco compactado. O seu comportamento foi intermediário entre os solos saprolíticos, de textura franco-arenosa e os solos lateríticos mais argilosos. A situação deste bloco, após 24 meses aproximadamente, continuava praticamente estável em relação ao fim do período de análise, que foi de 12 meses.

Segundo HAMMOND (1972) a construção deve ser mantida seca durante e após a execução para evitar a erosão. E de preferência as casas com paredes monolíticas devem ser edificadas em regiões de fraca pluviosidade. Isto não inviabiliza a construção em locais úmidos, podendo-se afirmar isto baseado nas experiências de estados como São Paulo, onde existem construções com paredes monolíticas desde algumas décadas e com grande durabilidade.

## VIII - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### VIII.1 - Conclusões

Os solos estudados permitiram uma estimativa de características físicas mais adequadas para o uso do solo na construção de habitações. Verificou-se que as recomendações baseadas em estudos de solos tropicais são bem apropriadas para o caso dos solos da região pesquisada. Por outro lado, aquelas recomendações realizadas a partir do emprego de solos de países de clima temperado, não foram satisfatórias. Foi importante, desta forma, um estudo do material local, de modo a permitir sua utilização.

Na unidade PVst (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato depósitos de encosta), o solo estudado refere-se ao horizonte B do perfil. O seu uso para aplicação pretendida não é recomendável, segundo os critérios de escolha analisados. O principal problema, neste caso, é a plasticidade elevada, em função dos altos teores de argila, o que acarretou uma retração acentuada do solo, gerando trincamento em paredes compactadas. Uma correção granulométrica poderia fornecer melhores resultados.

O solo da unidade PVg,gn1 (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato complexo granítico-gnáissico) apresentou resultados satisfatórios, adequando-se ao uso pretendido. Trata-se de um horizonte B, com características granulométricas e de plasticidade dentro de limites considerados adequados. Os valores de resistência à compressão simples e absorção são aceitáveis. A durabilidade, nos ensaios realizados, também foi bastante satisfatória.

A unidade PVg,gn2 (Podzólico Vermelho-Amarelo com

substrato complexo granítico-gnáissico) foi estudada em seu horizonte C. Este solo, pelo conjunto de características físicas e comportamento mecânico apresentado, foi considerado inadequado para a aplicação pretendida. As características mineralógicas e texturais ocasionaram problemas de plasticidade, elevada atividade coloidal, favorecendo o trincamento de amostras ensaiadas. A friabilidade devido às características texturais também foi problemática.

Em função da presença do argilo mineral ilita e mica, uma correção granulométrica dificilmente conduziria a uma adequação deste solo para o emprego desejado.

Os solos da unidade PVp (1 e 2) (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato pelitos) corresponde ao horizonte B dos perfis estudados. Os solos das duas jazidas mostraram-se bastante inadequados para o emprego na construção de habitações. O principal problema foi o forte trincamento das amostras compactadas, devido ao alto teor argiloso, em especial no caso da jazida 2. A resistência seca, desta forma, foi bastante elevada. Porém, a absorção capilar também manteve-se bem acima do desejado. A plasticidade elevada conduz também a problemas de compactação, devido a aderência ao soquete e às formas.

No caso destes materiais, uma correção granulométrica com areia ou solos mais arenosos é indicada, visto que o argilo mineral existente nos mesmos é a caolinita.

A unidade PVg (Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granito) também foi estudada em seu horizonte B. Este solo foi considerado adequado para o uso pretendido. O mesmo possui características físicas adequadas, não apresentando praticamente nenhum problema de retração e fissuração. A resistência à compressão simples não foi muito elevada, o que poderia ser solucionado através da mistura com o solo não micáceo do horizonte C, ou mesmo com a estabilização com cimento. A absorção é baixa, e a erosão superficial foi insignificante na exposição dos blocos compactados à interpérie, recomendando também o seu emprego.

Na unidade PVa (Podzólico Vermelho-Amarelo com

substrato arenito) estudou-se o horizonte C. O uso deste solo é totalmente inadequado para o fim pretendido sem o emprego de estabilizantes. As características físicas e mecânicas foram totalmente desfavoráveis, fornecendo ao material uma baixa plasticidade e friabilidade elevada. Além disso, a resistência à compressão simples foi extremamente baixa, com uma alta absorção. Porém, segundo estudos realizados por NUÑEZ (1991), o emprego deste solo, estabilizado com cal ou cimento, é perfeitamente viável.

#### VIII.2 - Sugestões

1. Avaliação de solos de outras unidades geotécnicas, uma vez que já se dispõe de muitos dados a respeito das mesmas. A realização de ensaios complementares, relacionados ao desempenho mecânico dos solos, seria de grande validade para este estudo.

2. Realização de ensaios com misturas de solos, visando propriedades mais adequadas dos mesmos. O uso de horizonte C de solos com substrato granito, por exemplo, com granulação muito grosseira, misturado ao horizonte B, poderia ser testado, de modo a viabilizar a utilização de ambos materiais.

3. Avaliação da resistência à compressão simples em períodos de 0;7;14 e 21 dias por exemplo, mantendo as condições ambientais estáveis para secagem.

4. Estudo mais específico de solos julgados mais adequados, com ensaios em elementos maiores, como paredes por exemplo, e ainda a construção de protótipos.

5. Estudo de medidas de proteção mais adequadas, adaptadas às condições climáticas locais, de modo a evitar a degradação da habitação contruída com solo.

6. Avaliação de solos voltada para outros métodos de construção, como adobes, argila expandida, tijolos não cozidos, entre outros.

7. Ensaio de erosão para outras amostras, tentando-se ainda aperfeiçoar este ensaio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABIKO, A.K. Solo-cimento: tijolos, blocos, paredes monolíticas. Tecnologia das Edificações, São Paulo, IPT, p.61-64, ago.1984.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Prospecção de jazidas e coleta de amostras de solos para solo-cimento :mistura de dois solos. São Paulo, 1984. 25p.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão simples e da absorção d'água: NBR-8492. Rio de Janeiro,1984. 5p.
- 4 BASTOS, C.A.B. Mapeamento e caracterização geomecânica das unidades geotécnicas de solos oriundos de granitos, gnaisses e migmatitos de Porto Alegre. Porto Alegre: CPGEC, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, UFRGS.
- 5 BRAND, E.W., PHILLIPSON, H.B.. Rewiew of international practice for the sampling and testing of residual soils. In: \_\_\_\_\_.(Eds.). Sampling and testing of residual soils: a rewiew of international practice. Hong Kong: Scorpion Press, 1985. p.7-21.
- 6 BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul, Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico,30)
- 7 BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Mapa geológico da região metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre, 1987. Escala 1 : 100000
- 8 CAMPAGNOLO, J., GOBETTI, L., NANNI, L. Análise experimental sobre tijolos cerâmicos maciços e furados fabricados em olarias situadas na grande Porto Alegre. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO: "O USO DA ALVENARIA COMO ESTRUTURA", 6., 1987, São Paulo. Anais ... São Paulo: USP, 1987.
- 9 CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO, Camaçari. Manual de construção com solo-cimento. 3.ed. São Paulo: ABCP, 1984. 147p.

- 10 CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA. Atlas geológico da província costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS, 1984. Esc.1:100000
- 12 COMPANHIA DE PESQUISAS EM RECURSOS MINERAIS (CPRM). Mapa geológico da folha de Porto Alegre. 1993. Escala 1:250.000 (a ser publicado)
- 13 CRUZ, A.L.G. Solo-cimento para habitações populares: metodologia para mapeamento de jazidas de solo visando sua utilização em habitações populares. Porto Alegre: CPGEC, 1988. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia, UFRGS.
- 14 CRUZ, P.T. CELERI, R.O. Solos residuais compactados de granito, gnaisses, siltitos, filitos e argilitos. Publicação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, n.487, 22p., 1970
- 15 DAVISON DIAS, R. Ocorrência e características geotécnicas dos latossolos do Rio Grande do Sul visando pavimentação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25., 1991, São Paulo. Anais ... São Paulo: Associação Brasileira de Pavimentação, 1991. 690p. p.221-238
- 16 \_\_\_\_\_. Aplicação da pedologia e geotecnia no projeto de fundações de linhas de transmissão. Rio de Janeiro: COPPE, 1987. 349p. Tese (Doutorado em Engenharia) - UFRJ
- 17 \_\_\_\_\_. Geomecânica dos solos lateríticos do sul do Brasil. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL, 2., 1989, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989. 318p. p.96-120
- 18 DAVISON DIAS, R. et al. Proposição de um método de obtenção de características geotécnicas de solos superficiais utilizando levantamentos pedológicos, topográficos e geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., 1984, Belo Horizonte: ABGE, 1984. v.2, p.367-386.
- 19 DIETZ, A.G.H. Materials. In: GOODMAN, L.J. et al. (Eds.) Low cost housing technology: an east-west perspective. Oxford: Pergamon, 1979. p.201-209.
- 20 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Ausführung von Lehmbauten: DIN 18954. Berlin, 1956.
- 21 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Baulehm Lehmteile: DIN 18953. Berlin, 1956.
- 22 DOAT, P. Construire en terre. Paris: Alternative et Paraleles, 1979. 265p.
- 23 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Definição e

- notação de horizontes e camadas de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: SNLCS, 1988. (Boletim Técnico,3)
- 24 FRAENKEL, B.B. Engenharia rodoviária. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.
  - 25 GIDIGASU, M.D. Degree of weathering in identification of laterite materials for engineering purposes - a review. *Engineering Geology*, v.8, n.3, p.213-266, 1974.
  - 26 \_\_\_\_\_. Mode of formation and geotechnical characteristics of laterite materials of Ghana in relation to soil forming factors. *Engineering Geology*, v.6, p.79-150, 1972.
  - 27 HAMMOND, A.A. Foundations for earth buildings in the tropics. *Batiment International*, v.12, n.1, p.30-36, jan./feb. 1984
  - 28 \_\_\_\_\_. Prolongation de la durée de vie de constructions en terre sous les tropiques. *Batiment International*, n.3, p.167-179, mai/juin. 1973
  - 29 \_\_\_\_\_. Sols latéritiques pour la construction d'habitations rurales. *Batiment International*, n.3, p.175-180, mai/juin, 1972
  - 30 IRFAN, T.Y. Fabric variability and index testing of a granitic saprolite. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2., 1988, Singapore. *Proceedings ... Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.25-35*
  - 31 JOST, H., VILLWOCK, J.A. Contribuição à estratigrafia do pré-cambriano do Rio Grande do Sul. *Notas e Estudos da Escola de Geologia, Porto Alegre*, v.1, p.13-26, 1966.
  - 32 KHAN, A.M. Low cost construction using cement stabilized soil blocks in rural areas of Pakistan. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS OF CONSTRUCTION FOR DEVELOPING COUNTRIES, 1978, Bangkok. *Proceedings ... Bangkok: Asian Institute of Technology, 1978. v.2, p.857-865.*
  - 33 KLAMT, E. Relevância da pedologia na avaliação do comportamento dos solos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL, 2., Porto Alegre. *Anais... Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989. 318p. p.13-23.*
  - 34 LABORATORIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL et al. Estudos portugueses sobre as propriedades geotécnicas dos solos lateríticos. *Geotecnia*, n.6, p.29-42, 1973.
  - 35 LAMBE, T.W., WHITMAN, R.V. *Soil mechanics*. New York: John Wiley, 1979. 553p.

- 36 LEMOS, R.C., SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. 46p.
- 37 LOHNES, R.A., DEMIREL, T.. Strength and structure of laterites and lateritic soils. Engineering Geology, v.7, n.1, p.13-33, 1973.
- 38 MASSEY, J.B., IRFAN, T.Y., CIPULLO, A.. The characterization of granitic saprolitic soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 12., 1989, Rio de Janeiro. Proceedings... Rotterdam: A.A. Balkema, 1989. v.1, p.533-542.
- 39 FUNDAÇÃO DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO-METROPLAN. Estudo da destinação do uso do solo rural na região metropolitana de Porto Alegre-ano 1976. Porto Alegre, 1978.
- 40 MINKE, G. Bauen mit Lehm. Grebenstein: Oekobuch, 1984. v.1
- 41 MORI, R.T., ABREU, F.R., PAN, Y.F. Properties of some typical compacted saprolites. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6., 1979, Lima. v.2, p.583-590.
- 42 MORIARTY, P. Earth wall construction: a tanzanian case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS OF CONSTRUCTION FOR DEVELOPING COUNTRIES, 1978, Bangkok. Proceedings ... Bangkok: Asian Institute of Technology, 1978. v.2, p.873-882.
- 43 MORRIS, R.H.. Geologia geral das quadriculas de Gravataí, Taquara e Rolante (Rio Grande do Sul). Porto Alegre: Escola de Geologia, UFRGS, 1963. (Publicação Especial, 5).
- 44 NOVAIS-FERREIRA, H., VIANA DA FONSECA, A.. Engineering properties of a saprolitic soil from granite. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2., 1988, Singapore. Proceedings... Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.181-188.
- 45 NUNEZ, W.P. Estabilização físico-química de um solo residual de arenito, visando seu emprego na pavimentação. Porto Alegre: CPGEC, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, UFRGS
- 46 ORLANDINI, R. Estudo geomecânico de perfis típicos de solos com substrato arenito visando mapeamento geotécnico. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, UFRGS
- 47 PASSOS, M.C.F. Metodologia MCT aplicada a pavimentação de baixo custo com utilização de solos arenosos finos. Porto Alegre: CPGEC, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, UFRGS.

- 48 PINHEIRO, R.J.B. Estudo do comportamento geotécnico de solos e rochas brandas da Formação Rosário do Sul. Porto Alegre: CPGEC, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola de Engenharia, UFRGS.
- 49 POPESCU, M. Correlations between the index properties and swelling-shrinking. In: ASIAN REGIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 7, 1983, Haifa. Proceedings ... Israel: Taligraph, 1983. p.71-75.
- 50 PROJETO RADAMBRASIL. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796p. (Levantamento de Recursos Naturais)
- 51 RAO, S.M., SRIDHARAN, A., CHANDRAKARAN, S.. The role of iron oxide in tropical soil properties. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2., 1988, Singapore. Proceedings... Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.43-48.
- 52 SANDRONI, S.S.. Sampling and testing of residual soils in Brazil. In: BRAND, E.W., PHILLIPSON, H.B.. Sampling and testing of residual soils: a review of international practice. Hong Kong: Scorpion Press, 1985. p.31-50.
- 53 SCHNEIDER, A.W., LOSS, E.L., PINTO, J.F. Mapa geológico da folha de Porto Alegre - RS. Porto Alegre: Instituto de Geociências - UFRGS/CNPq, 1974. Escala 1 : 50000.
- 54 TOWNSEND, F.C.. Geotechnical characteristics of residual soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, v.111, n.1, p.77-94, 1985.
- 55 UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS (HABITAT). Earth construction technology: manual on basic principles of earth applications. Nairobi, 1986. 49p.
- 56 VAIDYANATHAN, R., RAMASWAMY, S.V. Strength and erosion resistance of rammed earth walls. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS OF CONSTRUCTION FOR DEVELOPING COUNTRIES, 1978, Bangkok. Proceedings ... Bangkok: Asian Institute of Technology, 1978. v.2, p..
- 57 VARGAS, M. Characterization, identification and classification of tropical soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2., 1988, Singapore. Proceedings ... Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.71-75.
- 58 \_\_\_\_\_. The concept of tropical soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITE AND SAPROLITIC SOILS, 1., 1985, Brasília. Proceedings ... São Paulo: ABMS, 1985. v.3, p.101-134.
- 59 \_\_\_\_\_. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo:

McGraw-Hill, 1977.

- 60 VIEIRA, L.S. Manual de ciência do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975. 464p.
- 61 WESLEY, L.D. Engineering classification of residual soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2., 1988, Singapore. Proceedings... Rotterdam: A.A. Balkema, 1988. v.1, p.77-84.

UNIDADE GEOTECNICA	HORIZONTE	PROF. (m)	COMPACTACAO		IND. SUP. CALIFORNIA		RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES (kN/m <sup>2</sup> ) x UNIDADE DE RUPTURA (%)						ABSORCAO POR CAPILARIDADE		DESCRICAO DA UNIDADE GEOTECNICA
			IP.ESP. SECO (kN/m <sup>3</sup> )	AP.OTIMA (%)	CBR (%)	EXPANSAO (%)	AMOSTRA SECA		AMOSTRA SECA		AMOSTRA		SATURACAO		
							UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	UNIDADE	
PVst	B	1.0	17.35	17.0	16.0	0.1	1989	0.56	1770	2.55	339	17.0	89.3	19.17	I-Podz.verm.-amarelo substrato dep.de encosta(Alt.Serra Tapes)
PVg,gn1	B	1.0	17.24	16.6	12.0	0.2	3035	0.38	2202	1.91	251	16.6	81.9	17.88	I-Podz.verm.-amarelo substrato granitos e gnaisses
PVg,gn2	C	4.0	17.47	17.2	10.0	0.9	2140	0.70	1497	1.83	339	17.2	90.9	24.33	I-Podz.verm.-amarelo substrato granitos e gnaisses
PVp-1	B	3.0	16.07	20.4	-	-	1941	0.49	1446	2.18	113	20.4	81.9	19.48	I-Podz.verm.-amarelo substrato pelitos (Formacao Estrada Nova)
PVp-2	B	2.0	15.51	23.1	-	-	3539	0.77	2666	3.69	251	23.1	84.2	23.84	I-Podz.verm.-amarelo substrato pelitos (Formacao Estrada Nova)
PVg	B	2.0	18.12	12.1	-	-	1152	0.50	1091	1.89	902	12.1	69.3	15.99	I-Podz.verm.-amarelo substrato granito (granito Santana)
PVa	C	16.0	17.40	16.0	7.9	1.6	724	0.11	344	0.25	121	16.0	78.8	23.84	I-Podz.verm.-amarelo substrato arenitos (Formacao Botucatu)
PVg-1	C	2.5	18.12	12.8	23.0	0.1									I-Podz.verm.-amarelo substrato granito (granito Ponta Grossa)
PVg-2	B	1.5	18.32	13.0	23.0	0.1									I-Podz.verm.-amarelo substrato granito (granito Ponta Grossa)
PVg-3	C	2.9	17.85	14.2	14.0	0.6									I-Podz.verm.-amarelo substrato granito (granito Ponta Grossa)
PVg-4	B	2.0	17.77	14.9	-	-									PVg (1 a 5)- Podzolico vermelho-amarelo com substrato granito Ponta Grossa
PVg,gn3	B	1.0	16.36	20.1	11.0	1.3									PVa3 - Podzolico vermelho-amarelo com substrato granitos e gnaisses
PVst-1	B	3.0	17.33	17.0	18.0	0.1									PVst1 - Podzolico vermelho- amarelo com substrato sedimentos quaternarios (Alterito Serra de Tapes)
PVg-5	C	2.2	18.29	13.7	-	-									I-Podz.verm.-amarelo substrato granito (granito Ponta Grossa)

OBSERVACAO: Sao apresentados nesta tabela os resultados dos ensaios de compactacao e de determinacao do I.S.C. para os solos nao incluidos nesta pesquisa. Sao estes:

PVg (1 a 5)- Podzolico vermelho-amarelo com substrato granito Ponta Grossa

PVa3 - Podzolico vermelho-amarelo com substrato granitos e gnaisses

PVst1 - Podzolico vermelho- amarelo com substrato sedimentos quaternarios (Alterito Serra de Tapes)

UNIDADE GEOTECNICA	HORIZONTE	PROF. (m)	GRANULOMETRIA COM DEFLOCULANTE/ GRANULOMETRIA SEM DEFLOCULANTE (%)					GRAU DE FLDULCACAO E PLASTICIDADE (%)					AVALIACAO DA PLASTI- CIDADE	INDICE DE ATIVIDADE COLOIDAL Ia (%)	VARIACAO VOLUMETRICA AO LL (%)	ANALISE MINERALOGICA	P. ESP. REAL DOS GRAOS (kN/m <sup>3</sup> )	CLASSIFICACAO DO SOLO			
			IPEDREG.	AR.GR.	AR.M.	AR.F.	SILTE ARGILA	(%)	LL	LP	IP	LC						SUCS	IHRB/AASHO	TRIANG.TRIANGULAR	
																					CL/CH
PVst	B	1.0	0/0	10/10	10/15	10/20	10/47	44/0	100	50	39	11	20	MODERADA	0.25	34.4	CAOLINITA	25.9	CL/CH	A-7-5(7)	ARGILOSO
PVg,gn1	B	1.0	0/0	2/2	12/11	38/39	30/45	10/0	100	31	25	6	21	FRACA	0.33	28.2	CAOLINITA	26.5	SM	A-4(3)	FRANCO A FRANCO ARENOSO
PVg,gn2	C	4.0	0/0	9/9	21/25	28/21	32/45	10/0	100	41	32	9	26	MODERADA	0.90	37.5	CAOL.+ ILITA	26.1	SM	A-5(1)	FRANCO-ARENOSO
PVp1	B	3.0	0/0	0/0	4/4	36/36	24/60	36/0	100	40	22	18	22	ALTA	0.50	30.1	CAOLINITA	26.8	CL	A-6(8)	FRANCO-ARGILOSO
PVp2	B	2.0	0/0	0/0	3/4	23/25	23/72	51/0	100	42	28	14	23	MODERADA	0.27	32.4	CAOLINITA	27.0	CL	A-7(9)	ARGILOSO
PVg	B	2.0	7/7	34/29	9/7	10/11	18/46	22/0	100	37	30	7	24	FRACA	0.32	22.5	CAOLINITA	26.5	SM/SC	A-4(1)	FRANCO-ARGILO-ARENOSO
PVa	C	16.0	0/0	0/0	5/4	52/52	33/44	10/0	100	21	17	4	20	FRACA	0.40	9.9	CAOL.+ ILITA	26.9	SM/SC	A-4(1)	FRANCO-ARENOSO