

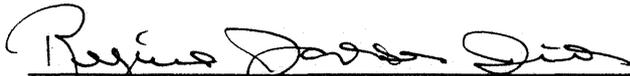
ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO
DE PERFIS ORIUNDOS DE ROCHAS SEDIMENTARES
DA FORMAÇÃO ROSÁRIO DO SUL

RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO

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 a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre
Agosto de 1991

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do 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. Jarbas Milititsky

Ph.D. pela University of Surrey/UK

Prof. Adriano V. D. Bica

Ph.D. pela University of Surrey/UK

Prof. Carlos Leite Maciel Filho

D.Sc. pela USP

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às seguintes pessoas

à professora Regina Davison Dias pelo apoio, dedicação e orientação

aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

aos auxiliares de pesquisa, e em especial

Claúdia Karim Castellano Pereira

Claúdio Falabretti

Elisabeth Yuki

José Antônio Rohlfes

aos funcionários do laboratório de Mecânica dos Solos Jair Floriano e João Diniz

ao geólogo Rodrigo Martins Saraiva pela ajuda nas descrições geológicas

aos colegas do curso de Pós-Graduação Cristina, Mauro, Marcelo, Glaci e Washington pelo convívio, apoio e amizade

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
II.1 Bacia do Paraná - generalidades	3
II.2 Estratigrafia	4
II.3 Rochas sedimentares	9
II.3.1 Classificação das rochas sedimentares	10
II.3.2 Intemperismo	13
II.3.2.1 Intemperismo físico	13
II.3.2.2 Intemperismo químico	13
II.3.3 Perfil de intemperização	16
II.3.4 Perfil de intemperização em rochas sedimentares	17
II.4 Pedologia	23
II.5 Ocorrência de solos sobre a Form. Rosário do Sul	25
II.6 Características físicas	27
II.6.1 Granulometria	27
II.6.2 Plasticidade	27
II.6.3 Compactação	28
II.7 Características mecânicas	28
II.7.1 Permeabilidade	28
II.7.2 Compressibilidade	30
II.7.3 Ensaios para determinação das carac- terísticas expansivas	33
II.7.3.1 Métodos diretos	34
II.7.3.1.1 Análise mineralógica da	

Escuro substrato arenito	66
V.2.1 Descrição morfológica	66
V.2.2 Descrição geológica	67
V.3 Perfil 3 - Canoas PEag(fr) - Podzólico Vermelho	
Escuro substrato argilito	67
V.3.1 Descrição morfológica	67
V.3.2 Descrição geológica	68
V.4 Perfil 4 - Canoas Ra,s(fr) - Litólico de arenito e silito	68
V.4.1 Descrição morfológica	70
V.4.2 Descrição geológica	70
VI. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
VI.1 Ensaios de caracterização	74
VI.1.1 Granulometria	76
VI.1.2 Limites de Atterberg, índices físicos e atividade coloidal	78
VI.1.3 Classificação unificada e triangular	85
VI.1.4 Compactação	87
VI.2 Análise mineralógica	87
VI.3 Permeabilidade	91
VI.4 Expansão	93
VI.5 Compressibilidade	94
VI.6 Colapsividade	101
VI.7 Resistência	102
VI.7.1 Ensaios de cisalhamento direto	102
VI.7.2 Ensaios de compressão triaxial	110
VI.7.3 Ensaios de compressão simples	117
VI.8 Sondagens de simples reconhecimento	117
VII. ANÁLISE GERAL	121
VII.1 Horizonte B	121
VII.2 Horizonte C	123
VII.2.1 Argilosos	123
VII.2.2 Siltosos	124
VII.2.3 Arenosos	124
VII.3 Horizonte R	127

VII.3.1	Siltito	127
VII.3.2	Arenito	128
VII.4	Condicionantes geotécnicos	129
VII.4.1	Drenagem	130
VII.4.2	Água subterrânea	130
VII.4.3	Estabilidade de cortes	130
VII.4.4	Características de compactação	131
VIII.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	132
	BIBLIOGRAFIA	135
	ANEXO I	145
	ANEXO II	147

LISTA DE FIGURAS

FIGURA II.2.1 - Coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul (RADAMBRASIL, 1986)	6
FIGURA II.3.1.1 - Classificação proposta por DOBEREINER e FREITAS (1986) para rochas brandas	12
FIGURA II.3.2.2.1 - Esquema simplificado do manto de intemperização em função da precipitação, temperatura e da região da crosta terrestre (TOWNSEND, 1984)	15
FIGURA II.3.2.2.2 - Sequência de intemperização dos minerais (BLIGHT, 1988)	16
FIGURA II.3.2.2.3 - Sequência de intemperização e formação de argilo-minerais (VAN DER MERWE, apud BLIGHT-1988)	16
FIGURA II.3.3.1 - Sequência de intemperização em rochas metamórficas e ígneas (DEERE e PATTON, 1971)	18
FIGURA II.3.3.2 - Sequência de intemperização em perfis típicos da região Centro-Sul do Brasil (VARGAS, 1985)	18
FIGURA II.3.4.1 - Perfil de intemperização em rochas sedimentares (DEERE e PATTON, 1971)	19
FIGURA II.3.4.2 - Perfis de solos sobre formações sedimentares do Sul e Sudeste do Brasil (VARGAS, 1985)	22
FIGURA II.3.4.1.3 - Perfis típicos de alteração em rochas argilosas das formações sedimentares do Amazonas e Paraná (DOBEREINER et al., 1990)	22
FIGURA II.4.1 - Relação entre a unidade pedo-estratigráfica e as abordagens pedológica e faciológica (ROCHA, 1984)	24
FIGURA II.6.2.1 - Resultados de ensaios de plasticidade em formações sedimentares do Brasil	29
FIGURA II.6.3.1 - comportamento diferenciado entre solos compactados de arenito e basalto (CRUZ e CELERI, 1970).....	29
FIGURA II.7.1.1 - Influência da tensão de confinamento na permeabilidade (MEDINA e LIU, 1982)	31

FIGURA II.7.1.2 - Correlação obtida por DOBEREINER e FREITAS (1986) entre permeabilidade e a fração fina (silte + argila) em rochas sedimentares brandas	32
FIGURA II.7.3.1.2.1 - Resultado típico obtido em ensaios de expansão na célula de adensamento (PORTER e NELSON, 1980)	37
FIGURA II.7.3.2.2.1 - Combinação da plasticidade de Casa Grande com a atividade coloidal de Skempton para determinar as características expansivas em solos residuais de formações sedimentares (VARGAS,1985)	41
FIGURA II.7.4.2.1 - Curvas tensão-deformação e variação de pressão neutra em arenitos Waterstones saturados (DOBEREINER e FREITAS, 1986)	44
FIGURA II.7.4.2.2 - Envoltória de resistência em arenitos Waterstones (a.) e Kidderminster (b.) - (DOBEREINER e FREITAS, 1986)	44
FIGURA II.7.4.2.3 - Resultados de ensaios triaxiais (CU) em amostras siltosas (WESLEY, 1990)	45
a. curvas tensão desvio por deformação	
b. curvas poro-pressão por deformação	
c. curvas p _{xq} (pico e ruptura)	
FIGURA IV.1 - Localização e distribuição dos sedimentitos da formação Rosário do Sul (baseado em PINTO et al.,1966 in KOPPE, 1982)	55
FIGURA V.1.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - Perfil 1 - Montenegro PVa(frs)	65
FIGURA V.3.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - Perfil 3 - Canoas PEag(frs)	69
FIGURA V.4.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - Perfil 4 - Canoas Ra,s(frs)	71
FIGURA VI.1.1.1 - Curvas granulométricas - perfil 1 - Montenegro PVa(frs)	79
FIGURA VI.1.1.2 - Curvas granulométricas - perfil 2 - Gravataí PEa(frs)	79
FIGURA VI.1.1.3 - Curvas granulométricas - perfil 3 - Canoas PEag(frs)	80

FIGURA VI.1.1.4 - Curvas granulométricas - perfil 4 - Canoas Ra,s(frs)	80
FIGURA VI.1.2.1 - Apresentação dos resultados de plasticidade no gráfico de Casagrande associado com o de atividade coloidal de Skempton	83
FIGURA VI.1.2.1 - Apresentação de algumas relações entre :	83
a. peso específico natural e índice de vazios	
b. limite de liquidez e fração argila	
c. limite de liquidez e o teor de umidade natural	
FIGURA VI.1.2.3 - Variação dos índices de consistência (limite de liquidez (WL), limites de plasticidade (WP) e índice de plasticidade (IP)), teor de umidade (W) e grau de saturação (S) com a profundidade	84
a. perfil 1 - Montenegro PVa(frs)	
b. perfil 2 - Gravataí PEa(frs)	
c. perfil 3 - Canoas PEag(frs)	
d. perfil 4 - Canoas Ra,s(frs)	
FIGURA VI.1.4.1 - Curvas de compactação (Proctor Normal) para os solos dos horizontes B	88
FIGURA VI.1.4.2 - Curvas de compactação (Proctor Normal) para os solos dos horizontes C	88
FIGURA VI.1.4.3 - Gráfico comparativo entre os resultados obtidos nos horizontes arenosos da formação Rosário do Sul e os apresentados por CRUZ e CELERI (1970) e PIMENTA et al. (1981)	89
FIGURA VI.3.1 - Resultado de coeficiente de permeabili- dade em função da tensão de confinamento nos ensaios triaxiais	92
FIGURA VI.4.1 - Resultados dos ensaios de expansão na célula de adensamento	93
a. amostras do perfil 3 - Canoas PVag(frs)	
b. amostras do perfil 4 - Canoas Ra,s(frs)	
FIGURA VI.5.1 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 1 - Montenegro PVa(frs)	96
a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical	
b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical	
FIGURA VI.5.2 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 2 - Gravataí PEa(frs)	97
a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical	
b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical	

FIGURA VI.5.3 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 3 - Canoas PEag(frs)	97
a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical	
b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical	
FIGURA VI.5.4 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 4 - Canoas Ra,s(frs)	98
a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical	
b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical	
FIGURA VI.5.5 - Relação entre o índice de compressibilidade (Cc) e o índice de vazios (e)	98
FIGURA VI.7.1.1 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte B	103
FIGURA VI.7.1.2 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte C de arenito (perfil 1 - PVa(frs))	104
FIGURA VI.7.1.3 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte R de siltito (perfil 4 - Ra,s(frs))	104
FIGURA VI.7.1.4 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte C de arenito (perfil 4 - Ra,s(frs))	105
FIGURA VI.7.1.5 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para os horizontes B dos perfis 1 e 3 (PVa(frs) - PEag(frs))	108
FIGURA VI.7.1.6 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para o nível de tensões mais baixo e plástico para o nível mais alto. Horizonte B do perfil 2 (Gravataí - PEa(frs))	109
FIGURA VI.7.1.7 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para todos os níveis de tensões e para todos os horizontes C arenosos	109
FIGURA VI.7.2.1 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 1 - Montenegro 8m - PVa(frs)	112
a. curvas tensão desvio versus deformação vertical	

- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. curvas relações de tensões totais e efetivas
- d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
- e. trajetória de tensões totais e efetiva - diagrama $p-p' \times q$

FIGURA VI.7.2.2 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - multi-estágio - perfil 1 - Montenegro 18m - $PVa(frs)$ 113

- a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb

FIGURA VI.7.2.3 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 1 - Montenegro 20m - $PVa(frs)$ 114

- a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. curvas relações de tensões totais e efetivas
- d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
- e. trajetória de tensões totais e efetiva - diagrama $p-p' \times q$

FIGURA VI.7.2.4 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 4 - Canoas 10m - $Ra,s(frs)$ 115

- a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. curvas relações de tensões totais e efetivas
- d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
- e. trajetória de tensões totais e efetiva - diagrama $p,p' \times q$

FIGURA VI.8.1 - Perfis típicos de arenitos róseos da formação Rosário do Sul 119

FIGURA VI.8.2 - Perfil caracterizado pela alternância entre horizontes argilosos, arenosos e siltosos 119

FIGURA VI.8.3 - Perfil típico onde o siltito delimita o final da sondagem 120

FIGURA VI.8.4 - Perfil típico em argilito, geralmente, recobertos por sedimentos 120

LISTA DE TABELAS

TABELA II.2.1 - Quadro comparativo das discordâncias existentes entre os pesquisadores (MACIEL FILHO, 1977)	7
TABELA II.2.2 - Classificação sugerida por ANDREIS et al. (1981)	8
TABELA II.3.1.1 - Classificação proposta para rochas sedimentares pelo Bulletin of the International Association of Engineering Geology (1979)	11
TABELA II.7.1.1 - Resultados obtidos de permeabilidade em ensaios convencionais em arenitos brandos (DOBEREINER e FREITAS, 1986)	31
TABELA II.7.1.2 - Valores de coeficiente de permeabilidade (m/s) em solos residuais de rochas metamórficas e ígneas (VAUGHAN, 1988)	32
TABELA II.7.3.2.1.1 - Correlação entre o potencial de expansão, índice de plasticidade e índice de contração (SOWERS, 1962)	39
TABELA II.7.3.2.1.2 - Correlação entre o potencial de expansão e o índice de plasticidade (CHEN, 1984)	39
TABELA II.7.3.2.1.3 - Correlação entre o potencial de expansão e os índices de plasticidade, contração e o limite de liquidez (BOWLES, 1977)	40
TABELA VI.1 - Identificação e classificação dos perfis típicos com sua localização, profundidades amostradas e com a definição dos horizontes diagnósticos	75
TABELA VI.1.1.1 - Apresentação dos resultados dos ensaios granulométricos com defloculante	77
TABELA VI.1.2.1 - Resumo dos valores obtidos nos ensaios de consistência e determinação dos índices físicos para solos e rochas brandas da Formação Rosário do Sul	82
TABELA VI.1.3.1 - Classificação dos solos e rochas pela sistema unificado (SUCS-AASHO/HRB) e pelo sistema triangular (textural)	86
TABELA VI.1.4.1 - Resultados obtidos no ensaio de compactação (Proctor Normal) nas amostras da Formação Rosário do Sul	89
TABELA VI.2.1 - resultados dos ensaios de difração de raios-x na fração fina (diâmetro inferior a 2μ)	90

TABELA VI.3.1 - valores obtidos de coeficiente de permeabilidade (cm/s) em função da tensão de confinamento	92
TABELA VI.5.1 - Apresentação dos parâmetros de compressibilidade em amostras no estado de umidade natural e inundada	95
TABELA VI.6.1 - Valores do coeficiente de colapso estrutural (i) em função da tensão vertical	102
TABELA VI.7.1.1 - Apresentação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direto para as condições de umidade natural e inundado. Estão representados os valores de ruptura e para 25% de deformação	108
TABELA VI.7.2.1 - Resumo dos resultados obtidos nos ensaios triaxiais	111
TABELA VI.7.2.2 - Valores do intercepto de coesão e ângulo de atrito interno em termos de parâmetros efetivos e totais	111
TABELA VI.7.3.1 - Resultados dos ensaios de compressão simples (kN/m^2) em função do grau de saturação amostras	117

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTO V.1.1.1 - perfil 1 - Montenegro PVa(frs), localizado nas proximidades do viaduto da Viação Férrea (BR-386)	65
FOTO V.3.1.1 - perfil 3 - Canoas PEag(frs), localizado a 4Km da ponte sob o rio dos Sinos (BR-386)	69
FOTO V.4.1.1 - perfil 4 - Canoas Ra,s(frs), localizado a 6km da ponte sob o rio dos Sinos (BR-386)	71
FOTO V.4.2.2 - padrão de fraturamento com processos de intemperização ao longo das fraturas no arenito (perfil 4)	72
FOTO V.4.2.3 - camada de siltito situada na parte basal do perfil, submetido aos processos de intemperismo	72

LISTA DE SÍMBOLOS

γ	- peso específico natural
γ_s	- peso específico real dos grãos
γ_d	- peso específico aparente seco máximo
e	- índice de vazios
w	- teor de umidade
η	- porosidade
S	- grau de saturação
WL	- limite de liquidez
WP	- limite de plasticidade
IP	- índice de plasticidade
IC	- índice de contração
Ia	- atividade coloidal
i	- coeficiente de colapso estrutural
Pe	- pressão de expansão
K	- coeficiente de permeabilidade
Cr	- índice de recompressão
Cc	- índice de compressão
Cd	- índice de descompressão
τ	- tensão cisalhante
$\epsilon_H = E_H$	- deformação horizontal
$\epsilon_V = E_V$	- deformação vertical
Td	- tensão desvio
σ	- tensão normal
σ_1	- tensão principal maior
σ_3	- tensão de confinamento
σ'_1	- tensão principal maior efetiva
σ'_3	- tensão de confinamento efetiva
U	- pressão neutra
C'	- coesão efetiva
ϕ'	- ângulo de atrito efetivo
C	- coesão total
ϕ	- ângulo de atrito total
fr.	- franco
fr.arg.	- franco argiloso
fr.aren.	- franco arenoso
fr.sil.	- franco siltoso
fr.arg.aren.	- franco argilo-arenoso
arg.sil.	- argilo-siltoso
arg.	- argiloso
PV	- Podzólico Vermelho Amarelo
PE	- Podzólico Vermelho Escuro
R	- Litólico
a	- arenito
ag	- argilito
s	- siltito
frs	- Formação Rosário do Sul

MA - milhões de anos
DNPM - Depart. Nacional de Pesquisa Mineral
Mt - Montenegro
Gr - Gravataí
Ca - Canoas
C - caulinita
S/M - esmectita/montmorilonita
F - feldspato
H - hematita
G - gipsita
P - predominante
A - abundante
T - traços

RESUMO

O objetivo do trabalho é estudar o comportamento geomecânico dos perfis de solos oriundos de rochas sedimentares da Formação Rosário do Sul. Esta Formação é de caráter regional estendendo-se pela Depressão Periférica no estado do Rio Grande do Sul.

A litologia predominante é os arenitos finos a muito finos com estratificação plano paralela típica, condicionado pelo ambiente de formação fluvial; e arenitos, siltitos e argilitos de planície de inundação.

O estudo baseia-se na caracterização morfológica e geológica de perfis. Para tal, iniciou-se a pesquisa por um estudo de escritório, com uma posterior investigação de campo, retirada de amostras e a realização de ensaios de laboratório.

Foram realizados ensaios de caracterização (limites de consistência e granulometria), ensaios de compactação e difratogramétricos (raio-X). Os ensaios para determinação das propriedades geotécnicas foram os de permeabilidade, compressibilidade, colapsividade, expansão, e de resistência (cisalhamento direto, triaxial e compressão simples).

Os resultados são apresentados em função dos horizontes dos perfis. Estes horizontes são classificados em rochas brandas (horizonte R), solos saprolíticos (solo residual-horizonte C) que apresentam uma estrutura reliquiar herdada do material de origem e horizontes superficiais (horizontes B e A).

ABSTRACT

The aim of this work is the study of the geomechanical behavior of soil profiles originated from sedimentary rocks of the Rosário do Sul Formation; a regional formation spread on the Depressão Periférica in Rio Grande do Sul State.

Fine-grained sandstones are the predominant lithology. The stratification is typically plain parallel, due to the fluvial environment of formation. Siltstones, claystones and sandstones from flood plains, are also present.

This study is based on the morphological and geological characterization of soil profiles. At first, the research consisted on analyzing geological, pedological, geotechnical and topographic surveys. Next stages were field investigation with sampling of soil profiles and laboratory tests.

In order to study physical properties of the sampled soils, Atterberg limits were determined; grain size distribution, compaction curves were plotted and X-rays diffraction tests were performed. Geotechnical properties were defined by permeability, compressibility, collapsibility, expansibility and shear strength (simple, unconfined and triaxial compression) tests.

Tests results are related to the profiles main horizons, classified as weak rocks (R-horizon), saprolite soils (C-horizon-residual soil) showing a relict structure and surface horizons (B and A horizons).

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é caracterizar geotécnicamente os solos e rochas oriundos da Formação Rosário do Sul na Região Metropolitana de Porto Alegre, principalmente nos municípios de Canoas, Montenegro e Gravataí. Este trabalho é uma continuação do mapeamento e do estudo do comportamento geotécnico de solos e rochas da Região Metropolitana de Porto Alegre. Foram então estudados os solos oriundos de granitos, gnaisses e migmatitos de Porto Alegre e os de arenitos (Formação Botucatu) de Novo Hamburgo e Campo Bom, respectivamente por Bastos (1991) e Orlandini (1991).

Esta formação é caracterizada por sua origem fluvial, na área de estudo, constituída predominantemente por arenitos. Ocorrem também siltitos e ocasionalmente argilitos.

A finalidade principal é dar um enfoque no sentido de investigação de grandes áreas, contribuindo assim com dados analisados e interpretados para o conhecimento do meio físico para aplicações em engenharia. Os estudos são referentes a litologia e sua distribuição na área, ocorrência de solos residuais e transportados, drenagem e permeabilidade, água subterrânea, estabilidade de cortes, características para compactação, escavação e terraplenagem, condições de suporte, condições de fundação para obras civis.

Estas aplicações visam principalmente fornecer subsídios geotécnicos para alcançar um planejamento adequado das zonas urbanas e das zonas de possível expansão das cidades, em vista de seu constante crescimento.

Apesar desta formação ser de caráter regional, ela é de grande importância, pois existem formações similares em outros estados e com uma apreciável quantidade de dados (Formação Pirambóia, arenito Caiuá e o arenito Bauru).

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 - Bacia do Paraná - generalidades

A Bacia do Paraná é uma extensa depressão deposicional situada na parte centro-leste do continente sul-americano, cobrindo cerca de 1.600.000 km². Trata-se de uma bacia intracratônica simétrica preenchida com quase 5.000 m de sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e, localmente rochas cenozóicas (SCHNEIDER et al., 1974).

No Devoniano (395 a 345MA) teve início a deposição das rochas sedimentares da Bacia do Paraná, após um longo período erosivo. Esta deposição, no estado do Rio Grande do Sul, está representada pela Formação Rio do Sul (flúvio glacial e marinha), do Grupo Itararé, rochas da Formação Rio Bonito (flúvio deltaicas, com carvão), da Formação Palermo (marinha), do Grupo Guatá. O Grupo Passa Dois, Permiano, está representado por sedimentos da Formação Irati (marinho restrito, com folhelhos pirobotuminosos), do Subgrupo Estrada Nova (marinho transicional, com planície de marés) e da Formação Rio do Rastro, continental fluvial. No Mesozóico, já influenciados pelos eventos que antecedem a abertura do Atlântico Sul, depositaram-se os sedimentos Triássicos fluviais da Formação Rosário do Sul incluindo as Formações Santa Maria e Caturrita e arenitos eólicos, desérticos da Formação Botucatu (Jurássico-Cretáceo, em torno 136MA). A região torna-se, então, palco de um evento vulcânico fissural, continental relacionado à Formação Serra Geral, composto por basaltos com vulcânicas ácidas em seu topo. Por último evento ocorre a deposição da Formação Tupanciretã (continental).

Entre as várias formações desta Bacia, existe uma formação do mesmo período que a Rosário do Sul (Triássico, 230 MA) denominada de Pirambóia, com ocorrências em São Paulo, Goiás e Mato Grosso. Segundo SOARES (1975) as Formações Rosário do Sul e Pirambóia são semelhantes, constituindo ciclos geneticamente similares, relacionados a um mesmo episódio da evolução da Bacia do Paraná. Esta Formação é composta por arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, de granulometria média a muito fina, silto-argilosos, com grãos polidos sub-angulares e subarrendodados com intercalações de finas camadas de argilito e siltito. Possuem estratificação cruzada, planar e acanalada, e estratificação plano paralela nas porções siltico-argilosas. Estas são as estruturas sedimentares mais comuns. As características litológicas e sedimentares desta unidade indicam origem continental fluvial, com depósito de rios meandrantés e pequenos lagos associados.

Entre outras formações importantes destacam-se as Formações Caiuá e Bauru. A primeira compreende uma sequência suprabasáltica constituída de arenitos finos a médios, avermelhados, roséos e arroxeados, friáveis, com grãos arrendodados e com abundante estratificação cruzada tipo tangencial. Os arenitos desta formação são considerados como depositados em ambiente continental fluvial. A Formação Bauru também compreende uma sequência suprabasáltica constituída de conglomerados, arenitos, argilitos e calcáreos de cores avermelhados e roséos. As características litológicas e sedimentares, aliadas ao conteúdo fossilífero, indicam origem continental fluvial e lacustre para a formação.

II.2 - Estratigrafia

A Formação Rosário do Sul foi incluída na coluna estratigráfica de WHITE (1908) como pertencente ao Grupo São Bento, apresentando na base as "camadas vermelhas" do Rio do Rastro, sobre estas o Grés de São Bento, e, na parte superior,

as eruptivas da Serra Geral. A figura II.2.1 apresenta a coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul.

Desde o início dos estudos, houve discordância no reconhecimento das unidades litoestratigráficas da Série São Bento. O Levantamento de Recursos Naturais (RADAMBRASIL-1986) descreve as principais discordâncias como as propostas por Oliveira (1927). Este considerou a Série São Bento como sendo formado pelo Grupo Rio do Rastro, pelo arenito Botucatu e pelas eruptivas da Serra Geral, relacionando estas unidades ao Triássico. Washburne (1930) introduziu na Série São Bento o arenito Caiuá, o qual ocorre sob derrames basálticos no estado de São Paulo. Gordon Júnior (1947) propôs a introdução da Formação Santa Maria, mas restrita ao Rio Grande do Sul, a qual constituiria a base da Série São Bento. Já Maack (1947) considerou que a Série São Bento é constituída, da base para o topo, pelo Grupo Botucatu, abrangendo as fácies Pirambóia e o arenito Botucatu, as lavas da Serra Geral e o arenito Caiuá. Northfleet et al. (1969) incluíram no grupo São Bento a formação Santa Maria.

A denominação de Formação Rosário do Sul foi proposta formalmente por GAMERMANN (1970), na sua tese de mestrado, sendo formada por um pacote de rochas sedimentares que ocorrem entre as Formações Estrada Nova e Botucatu, no Rio Grande do Sul. Este pacote engloba aquelas rochas sedimentares denominadas de Rio do Rastro por WHITE (1908), Santa Maria por MORAES REGO (1930), Grupos Terezina e Rio do Rastro por CARVALHO (1932) e Santa Maria Superior, Santa Maria inferior e Rio Pardo por DELANEY e GONI (1963). Compreende ainda parte das rochas que foram incluídas nas Formações Estrada Nova e Botucatu por BEURLEN, SENA SOBRINHO e MARTINS (1955), bem como a parte superior do pacote denominado de Série Passa Dois por MORRIS (1963), e que BORTOLUZZI (1971) considerou como parte inferior do Botucatu.

A Formação Rosário do Sul é segundo GAMERMANN (1970) sub-dividida em duas fácies: a primeira, é a fácies fluvial e de

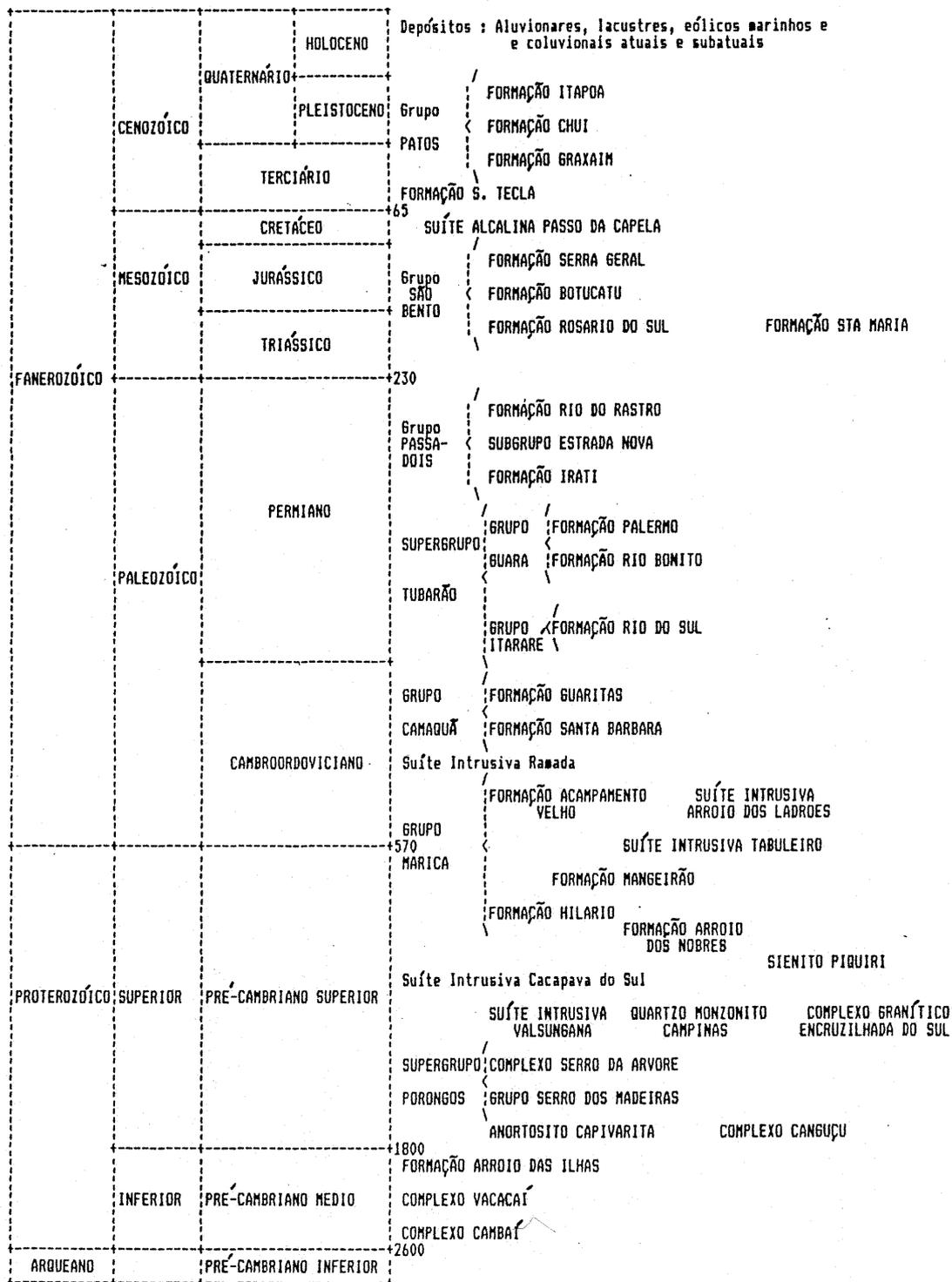


FIGURA II.2.1 - Coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul (RADAMBRASIL, 1986)

planície de inundação, com uma vasta ocorrência e com raros fósseis, e uma segunda fácies, denominada fácies lacustre, de ocorrência restrita e com muitos registros de fósseis. Esta última corresponde à chamada Formação Santa Maria. A fácies fluvial é composta por arenitos muito finos com estratificação cruzada do tipo planar e acanalada de origem fluvial, arenitos muito finos e siltitos de planície de inundação. A fácies lacustre é composta por folhelhos fossilíferos. Já BORTOLUZZI (1971) admitiu o nome Rosário do Sul apenas para os estratos inferiores, denominando a fácies lacustre de Santa Maria e a porção superior de Botucatu.

CARRARO et al. (1974) inclui, no Grupo São Bento, as Formações Serra Geral, Botucatu e Rosário do Sul na coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul.

MACIEL FILHO (1977) apresenta um quadro comparativo das principais discordâncias entre os autores (tabela II.2.1).

LITOLOGIA	GAMERMANN (1973)	BORTOLUZZI (1974)
ARENITOS DE ORIGEM EOLICA	FORMAÇÃO BOTUCATU	FORMAÇÃO BOTUCATU
ARENITOS, LUTITOS E RUDITOS DE ORIGEM FLUVIAL	FORMAÇÃO	FORMAÇÃO BOTUCATU MEMBRO CATURRITA
LUTITOS VEMELHOS FOLHELHOS, ARENITOS CONGLOMERADOS	ROSÁRIO	FORMAÇÃO SANTA MARIA
ARENITOS, SILTITOS C/ LUTITOS SUBORD.	DO SUL	FORMAÇÃO ROSÁRIO DO SUL

TABELA II.2.1 - Quadro comparativo das discordâncias existentes entre os pesquisadores (MACIEL FILHO, 1977)

Recentemente ANDREIS, BOSSI e MONTARDO (1980) sugeriram a necessidade de redefinir a Formação Rosário do Sul (GAMERMANN, 1970), elevando-a à categoria de grupo. Esta atitude permite eliminar uma série de controvérsias levantadas durante a última década, além de preservar para a estratigrafia um nome de uso já generalizado na literatura especializada. Assim o Grupo Rosário do Sul fica definido pelas formações apresentadas na tabela II.2.2 .

Esta mesma classificação foi depois adotada por LIMA, RICHTER e LAVINA (1984), por MONTARDO (1984) e LAVINA (1984).

GRUPO	FORMAÇÃO CATURRITA	
ROSÁRIO	FORMAÇÃO SANTA MARIA	MEMBRO ALEMOA
DO		MEMBRO PASSO DAS TROPAS
SUL	FORMAÇÃO SANGA DO CABRAL	

TABELA II.2.2 - Classificação sugerida por ANDREIS et al (1980)

A Formação Caturrita é formada por iguais proporções de arenitos e pelitos com tons castanho avermelhados. Os arenitos podem variar de muito grossos (conglomeráticos) até finos e exibem frequentemente estratificação cruzada acanalada ou planar, com laminação paralela. Estes arenitos são constituídos por quartzo e feldspato, sendo em geral sub-arcosianos.

A Formação Santa Maria é essencialmente pelítica com quantidades menores de arenitos. As cores desta litologia são vermelhas, castanho avermelhadas, cinza amareladas ou cinza esverdeadas com tons de laranja e lilás, a última sendo típica do membro Passo das Tropas e base do membro Alemoa.

A Formação Sanga do Cabral é constituída essencialmente

por arenitos (80%) com proporções subordinadas de pelitos (20%). A estratificação é bem desenvolvida, do tipo cruzada de porte médio, tangencial, planar ou acanalada.

O Grupo São Bento tem sido interpretado, no Rio Grande do Sul, de modo controvertido pelos vários pesquisadores. Para fins desta pesquisa, a área em estudo pertence à Formação Rosário do Sul (GAMERMANN, 1970). A mesma área pertence ao Grupo Rosário do Sul, Formação Sanga do Cabral, conforme sugerido por ANDREIS et al. (1980).

II.3 - Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são formadas na superfície da crosta terrestre. Estas rochas originam-se da erosão, do transporte, da deposição e da litificação (cimentação e compactação) das partículas provenientes da decomposição das rochas preexistentes; ou da precipitação química de substâncias dissolvidas em água; ou ainda do acúmulo de resto de organismos.

As principais rochas sedimentares são os argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados.

Os argilitos se originam da compactação de depósitos de argilas. Os minerais essenciais (minerais que definem a caracterização de uma rocha) são os argilo-minerais, com cores variadas e textura clástica de granulação argila (diâmetro menor que 2μ). A sua estrutura é basicamente estratificada em camadas e às vezes maciça.

Os siltitos possuem origem na compactação e cimentação de depósitos de siltes, com quartzo e feldspato como minerais essenciais e argilo-minerais como minerais acessórios (minerais que não influem na classificação da rocha, ocorrendo em porcentagens pouco significativas na sua composição

mineralógica). A cor é variada, com textura clástica de granulação silte, possuindo uma estrutura estratificada ou maciça.

Os arenitos se originam da cimentação de depósitos de areia fina (eólico-marinha) ou de areia fina, média e grossa de origem fluvial. Os minerais essenciais são o quartzo e feldspato, com predominância do primeiro. Os tons avermelhados, acinzentados, amarelados e roxos são os mais comuns. Possuem uma textura fina ou média-clástica de granulação areia, tendo uma estrutura estratificada ou maciça.

Os conglomerados se originam da cimentação de depósitos de seixo rolado. Os componentes essenciais são muito variados, dependendo da rocha que constitui os seixos. A cor é variada, com textura grossa a muito grossa clástica de granulação seixo (diâmetro superior a 2cm), possuindo uma estrutura maciça.

II.3.1 - Classificação das Rochas Sedimentares

Foi proposto pela INTERNACIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (1979) uma classificação geológica-geotécnica para solos e rochas. As rochas sedimentares foram classificadas em consolidadas, não consolidadas, clásticas, carbonáceas, químicas e orgânicas. Um importante critério para divisão é o tamanho do grão. A classificação também considera outros atributos como a estrutura ("fabric") da rocha e o mineral essencial na composição da mesma. Esta classificação está representado na tabela II.3.1.1.

Muitas vezes é difícil distinguir a rocha sedimentar do solo. Geralmente, aceita-se que o solo se desintegra com imersão em água e rocha não. Este conceito é útil, mas dificulta a definição, porque a desagregação e consolidação das rochas sedimentares depende do grau de saturação que resultar da imersão e do distúrbio que as amostras estão sujeitas.

Uma maneira de distinção é adotar-se o parâmetro de resistência à compressão uniaxial, recomendado pela GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON (1970) e pela INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS (1979). Ambas classificam os sedimentos, quanto à resistência, como extremamente brando (EB), muito brando (MUD), brando (B), moderadamente brando (MDB), moderadamente resistente (MDR), resistente (R) e muito resistente (MUR).

Resultados de muitos testes de laboratório realizados em amostras de sedimentos arenosos cimentados no Brasil, Portugal e Reino Unido, indicam claramente que estas amostras não se desintegram com a imersão completa e possuem uma resistência a compressão uniaxial da ordem de 500kN/m² (0.5MPa). Como estes valores são inferiores ao das rochas brandas definidas pelo Geological Society of London, e estão no limite das rochas muito brandas da International Society of Rock Mechanics, DOBEREINER e FREITAS (1986) propuseram uma nova classificação para rochas brandas, como está representado na figura II.3.1.1.

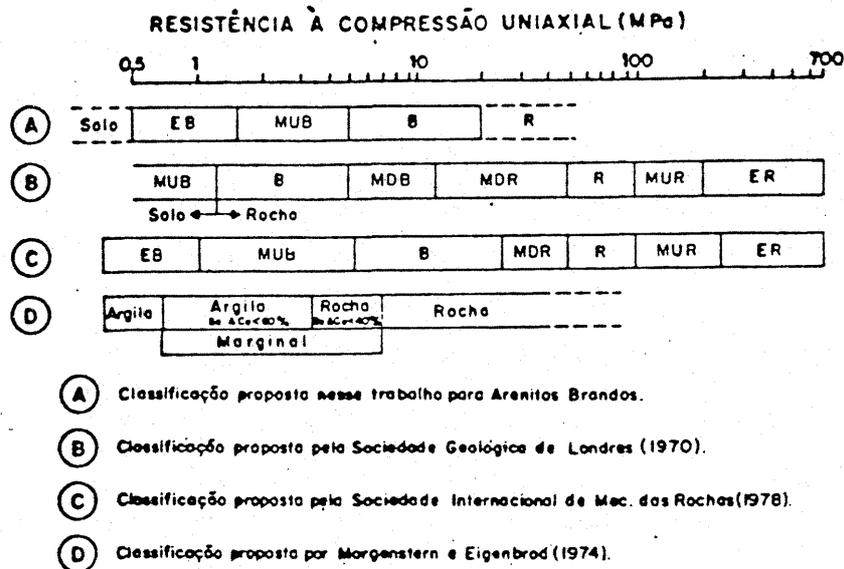


FIGURA II.3.1.1 - Classificação proposta por DOBEREINER e FREITAS (1986) para rochas brandas

II.3.2 - Intemperismo

É um conjunto de processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos, que produzem a destruição das rochas que constituem a crosta terrestre, quando estas entram em contato com a atmosfera ou ficam próximas desta situação, perdendo portanto a situação de equilíbrio em que estavam.

Devido ao intemperismo, as rochas na superfície da crosta estão, em geral, recobertas por uma camada ou manto de solo, de espessura variável. Estes solos, quando sobrejacentes às rochas que lhe deram origem, denominam-se solos residuais. Os depósitos constituídos de partículas que não estão sobre a rocha que lhe deu origem, devido ao agente geológico de erosão e transporte, denominam-se solos transportados.

O intemperismo divide-se basicamente em dois tipos, o físico e o químico.

II.3.2.1 - Intemperismo físico

São processos que ocasionam a fragmentação ou desagregação da rocha, sem alteração química dos minerais constituintes.

Os principais processos do intemperismo físico são o alívio de pressões, crescimento de cristais, hidratação dos minerais, variação da temperatura e processos físico-biológicos.

II.3.2.2 - Intemperismo químico

O principal veículo do intemperismo químico é a água de precipitação atmosférica, pois contém gases dissolvidos como oxigênio, gás carbônico e ácido nítrico.

Os principais processos que provocam o intemperismo são a hidrólise, que transforma feldspatos potássicos em argilo-minerais, a atividade de ácidos, a dissolução, principalmente em certas rochas cujo mineral essencial é a calcita, e processos químico-biológicos (raízes, microorganismos).

BLATT, MIDDLETON e MURRAY (1972), ao analisarem os novos minerais produzidos durante a intemperização, definiram que estes são primariamente resultantes das reações dos silicatos, sulfatos e óxidos com a água. Os produtos típicos são minerais hidratados, incluindo os argilo-minerais e os óxidos hidratados, como a limonita e a gipsita. A intemperização envolve a reação de dois outros materiais abundantes na hidrosfera e atmosfera: o oxigênio e dióxido de carbono. A hidrólise é geralmente acompanhada pela oxidação (principalmente do ferro e do íon ferroso) e carbonatos. Essas três reações se processam rápida e imediatamente acima da interface entre rocha e atmosfera, sendo intimamente relacionadas com raízes de plantas e microorganismos.

Segundo TOWNSEND (1984), o intemperismo químico é o principal formador de solos residuais e suas características são dependentes da rocha originária, do clima, da topografia, da drenagem e do tempo.

Deve-se salientar que o intemperismo químico é o mais importante. No entanto, o intemperismo físico favorece a infiltração de água pela fragmentação e desagregação da rocha portanto possibilitando a ação mais profunda do intemperismo químico.

A figura II.3.2.2.1 apresenta um esquema do manto de intemperização em função da precipitação, temperatura e da região da crosta. (TOWNSEND, 1984)

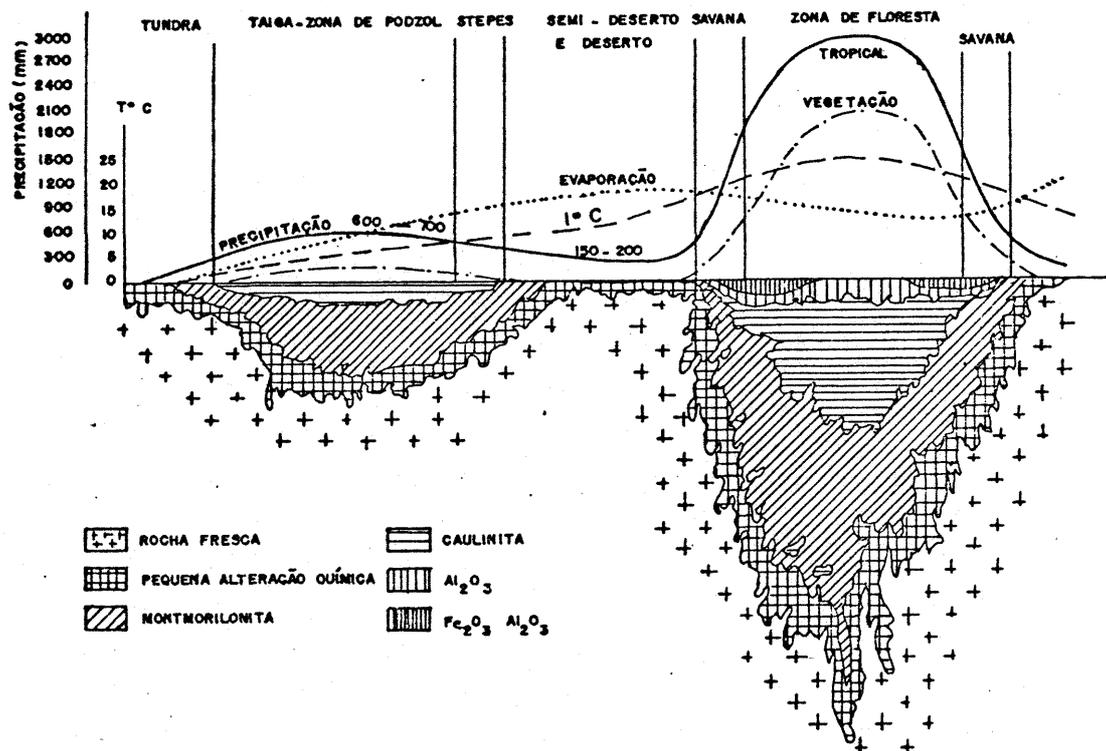


FIGURA II.3.2.2.1 - Esquema simplificado do manto de intemperização em função da precipitação, da temperatura e da região da crosta terrestre (TOWSEND, 1984)

O manto de intemperização está intimamente ligado com as propriedades de intemperização dos minerais. BLIGHT (1988) apresenta estas propriedades em forma de um quadro (ver figura II.3.2.2.2), onde o braço esquerdo é formado por minerais ferromagnesianos e o braço direito por feldspatos plagioclásios. A ordem dos minerais é idêntica à cristalização dos mesmos na câmara magmática. Os primeiros minerais que são formados (i.e. a altas temperaturas e pressões) são instáveis quando chegam às condições de equilíbrio e apresentam pronunciada intemperização. Os últimos minerais a cristalizarem (i.e. formados em condições que não diferem grandemente das condições de equilíbrio) são altamente estáveis e apresentam baixa taxa de intemperização.

As trocas químicas e a sequência de minerais formados durante a intemperização são extremamente complexos. A figura

II.3.2.2.3 apresenta uma seqüência de intemperização e formação de argilo-minerais sugerida por VAN DER MERWE (in BLIGHT, 1988).

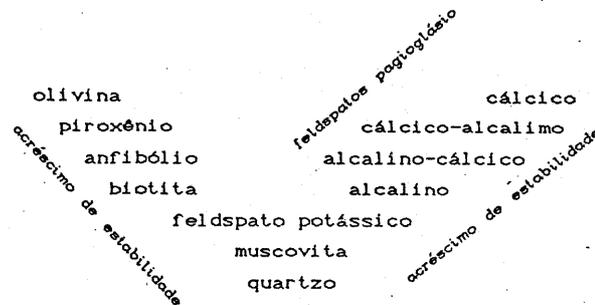


FIGURA II.3.2.2.2 - Sequência de intemperização dos minerais (BLIGHT, 1988)

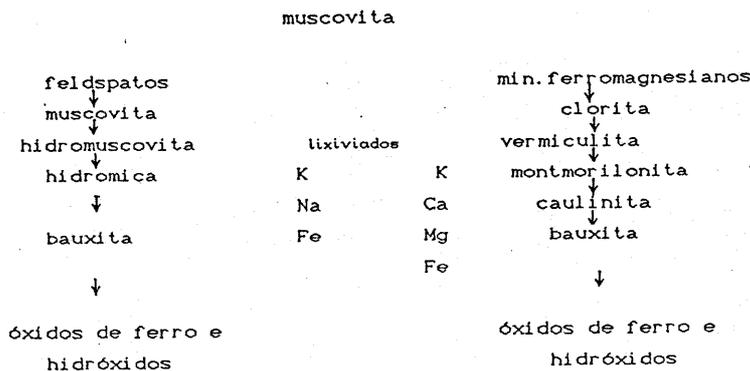


FIGURA II.3.2.2.3 - Sequência de intemperismo e formação de argilo-minerais (VAN der MERWE, in BLIGHT, 1988)

II.3.3 - Perfil de Intemperização

O perfil de intemperização é uma seqüência de camadas de materiais com propriedades físicas diferentes, originadas por processos físicos e químicos. Os perfis variam consideravelmente com o lugar, tipo de rocha, estrutura, topografia, erosão, drenagem, clima e chuva.

DEERE e PATTON (1971) descrevem um perfil de

intemperização típico em rochas metamórficas e rochas ígneas intrusivas. Basicamente o perfil dividia-se em (1) solo residual, (2) rocha intemperizada e (3) rocha fresca. Estas camadas do perfil são designadas por números romanos I, II, III. Esta seqüência é apresentada na figura II.3.3.1 . O solo residual é subdividido em três zonas, IA, IB, IC, as quais correspondem respectivamente aos horizontes A, B e C dos pedólogos. Os solos do horizonte C mantêm a estrutura do material de origem, sendo denominados de solo saprolítico.

VARGAS (1953, 1974, 1985) divide os solos residuais em 5 zonas (Zona I, II, III, IV e V). A figura II.3.3.2, apresenta os perfis de solos da região Centro-Sul do Brasil assentes sobre rochas graníticas ou metamórficas, rochas basálticas, rochas sedimentares e perfil de argilas terciárias e areias. As zonas I e II correspondem ao chamado solo residual maduro, e a zona III ao solo residual jovem.

II.3.4 - Perfil de intemperização em rochas sedimentares

Em solos sedimentares ocorrem diferentes situações de perfis de intemperização como mostra a figura II.3.4.1 (DEERE e PATTON, 1971). É muito freqüente solos de arenitos e folhelhos estarem recobertos por colúvios.

Para determinar o perfil de intemperização em rochas sedimentares, é feita uma analogia com os processos de meteorização das rochas duras, como granitos, gnaisses e basaltos descritos no item anterior. Nas rochas duras, o processo tem início com a fragmentação da rocha, denominada de fase detrítica. Seguindo esta, começa a fase de alteração dos minerais constituintes das rochas. Já nas rochas sedimentares verifica-se um aumento progressivo, de baixo para cima, do estado de fissuramento, chegando ao ponto de completa desintegração da rocha, devido ao inchamento e ressecamento.

a. ROCHAS METAMÓRFICAS b. ROCHAS ÍGNEAS INTRUSIVAS

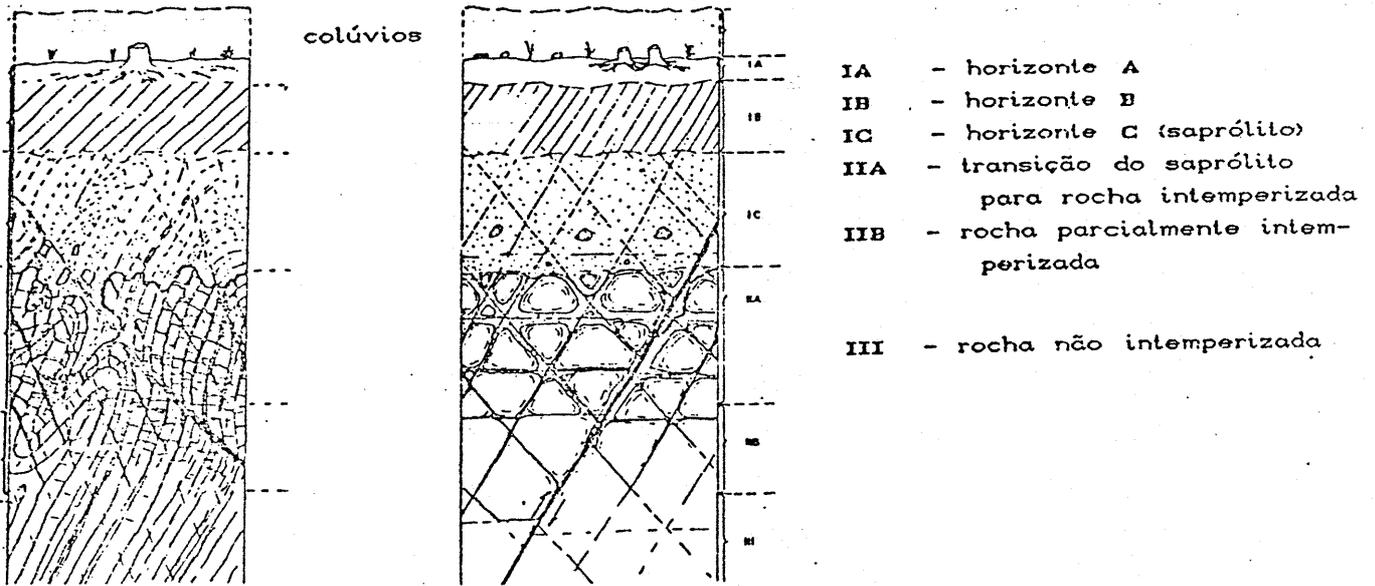


FIGURA II.3.3.1 - Sequência de intemperização em rochas metamórficas e ígneas (DEERE e PATTON, 1971)

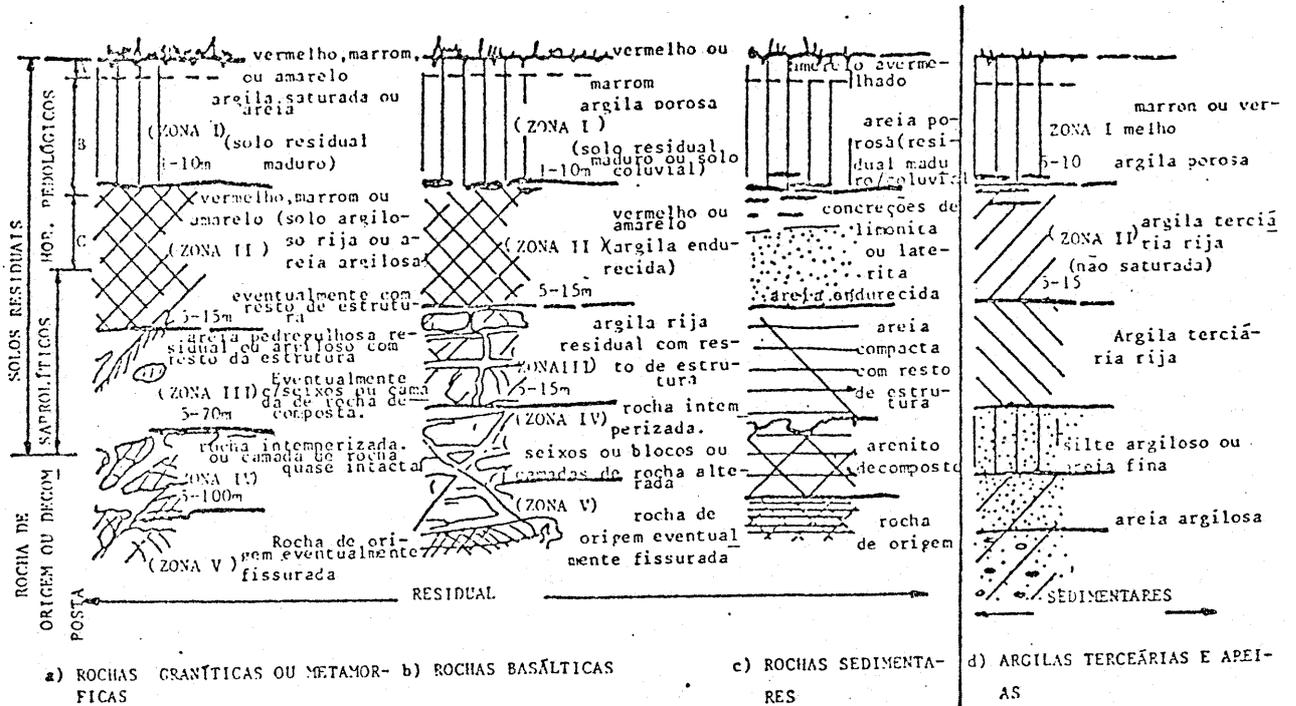


FIGURA II.3.3.2 - Sequência de intemperização em perfis típicos da região Centro-Sul do Brasil (VARGAS, 1985)

Poder-se-ia comparar esse estágio à fase detrítica nas rochas duras. Como a intemperização química nas rochas sedimentares não é tão atuante como nas outras, os processos de alteração dessas rochas são constatados por pequenas modificações, observando-se a partir de um certo nível para cima, uma descoloração do material devido a lixiviação do ferro e outras modificações químicas. Se considerarmos o nível de descoloração como o limite inferior de uma alteração química, pode-se admitir como sendo esta a separação entre o solo residual e a rocha sedimentar. Este processo foi observado por MACIEL FILHO (1977) nos siltitos argilosos da Formação Santa Maria, Rio Grande do Sul.

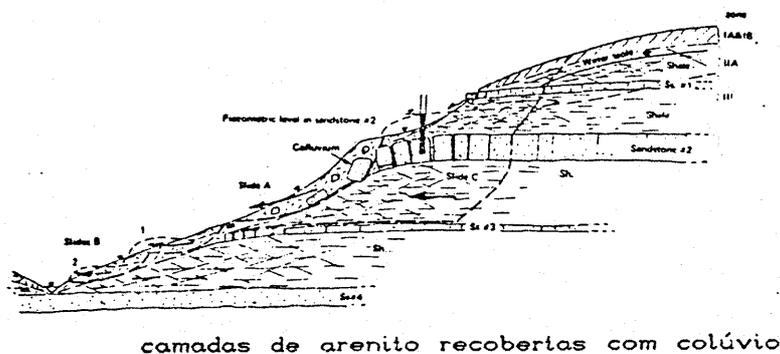
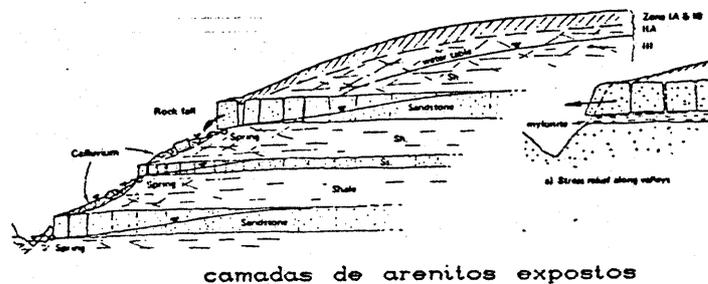


FIGURA II.3.4.1 - Perfil de intemperização em rochas sedimentares (DEERE e PATTON, 1971)

QUEIROZ NETO et al. (1973) através de pesquisas na região de Marília, estado de São Paulo estabeleceram uma cronologia da alteração dos perfis. A cronologia proposta está baseada no grau de alteração, espessura e diferenciação dos horizontes dos perfis de solos. É possível mostrar que as

alterações são estreitamente relacionados aos diversos elementos da paisagem regional. Os perfis que ocupam a posição "cimeira" regional são mais espessos, com horizontes menos distintos e mais alterados, apresentando caulinita bem cristalizada (solos podzolizados, às vezes com o horizonte B latossólico). Sobre as encostas e cimos de colinas mais baixas, o perfil é menos espesso e o horizonte B textural torna-se evidente, aparecendo maiores quantidades de ilita juntamente com caulinita. Nas escarpas, os solos são menos desenvolvidos, com a seguinte seqüência : Litossolos, solos Bruno e Brunizens. Os perfis de alteração na região de Marília são basicamente originados do arenito Bauru pertencentes às Formações Cretáceas da Bacia do Paraná. Para o conjunto dos perfis, os horizontes A correspondem na realidade a uma camada de colúvios recentes.

PENTEADO e RANZANI (1973), ao procederem o levantamento das formações superficiais na região de Marília, deparam-se com um sério problema. Este problema foi como distinguir as formações superficiais do substrato, devido às características mineralógicas, texturais e estruturais semelhantes entre ambos. O material detrítico móvel de cobertura do substrato (horizontes A e B) foi predominantemente remanejado de antigos mantos de alteração desenvolvidos nos sedimentos da Formação Bauru, cujas litofácies são de arenitos, conglomerados e siltitos. A área fonte dos depósitos superficiais situa-se muito próxima da zona de deposição e portanto o material foi pouco remanejado. Devido ao pouco transporte, estes materiais são considerados solos residuais (exclusivamente o horizonte B).

DAVISON DIAS e GEHLING (1983) propoem que se tratem estes solos como tropicais e não como residuais. Os solos sedimentares apresentam muitas vezes evoluções pedogenéticas que ao longo do tempo os tornam parecidos com as zonas I e II, descritas por Vargas. A zona III corresponde ao horizonte C, formado por solos saprolíticos. Esta é substituído por solos que guardam a estrutura oriunda do transporte, no caso de solos sedimentares.

VARGAS (1985) apresentou perfis de solos sobre formações sedimentares do Sul e Sudeste do Brasil, correlacionando os perfis com a região, a temperatura, umidade e a chuva. A figura II.3.4.2 representa os perfis acima mencionados. Percebe-se que os solos oriundos da formação Rosário do Sul estão localizados em zona temperada, com invernos úmidos e frios e verões quentes e úmidos. Isto não propicia a formação de camadas duras de lateritas e camadas espessas de solos "porosos".

DOBEREINER et al. (1990) apresentam perfis típicos de alteração em rochas argilosas de algumas formações brasileiras, como a Bacia Sedimentar do Amazonas e a Bacia do Paraná (Figura II.3.4.3). Esta figura mostra a evolução do processo de alteração tanto em um maciço rochoso homogêneo composto de siltito e/ou argilito e/ou folhelho, como em outro maciço onde ocorrem intercalações de arenito. A escala de ocorrência destes perfis de alteração é variável em função da litologia e das condições de umidade da rocha. Verifica-se que o limite de profundidade de alteração é geralmente delimitada pela posição do lençol freático. Observa-se rocha sã na zona abaixo do nível d'água, onde o material encontra-se permanentemente saturado. Os processos de alteração atuam de forma mais moderada na zona de capilaridade, ou mesmo na zona de oscilação do nível d'água, onde não há secagem completa do material. Na zona superior, acima desta zona de capilaridade, onde se observa flutuação significativa de umidade da rocha, verifica-se um fraturamento intenso do maciço com uma acentuada diminuição da resistência da matriz argilosa.

MACIEL FILHO (1990) descreve o processo de intemperização em rochas da Formação Rosário do Sul, caracterizado tanto por uma maior descolaração como por uma maior fragmentação próxima à superfície topográfica, segundo a estratificação e diaclasamento. Em um estágio mais avançado de intemperização, o aspecto é um amontoado de fragmentos angulosos e semi-angulosos de cores variadas.

SR-302
(Porto Primavera, S.P.)

S76/78
(CEMAP - Triunfo, R.S.)

S170/177/187
(Brasileiros - Sumaré, S.P.)

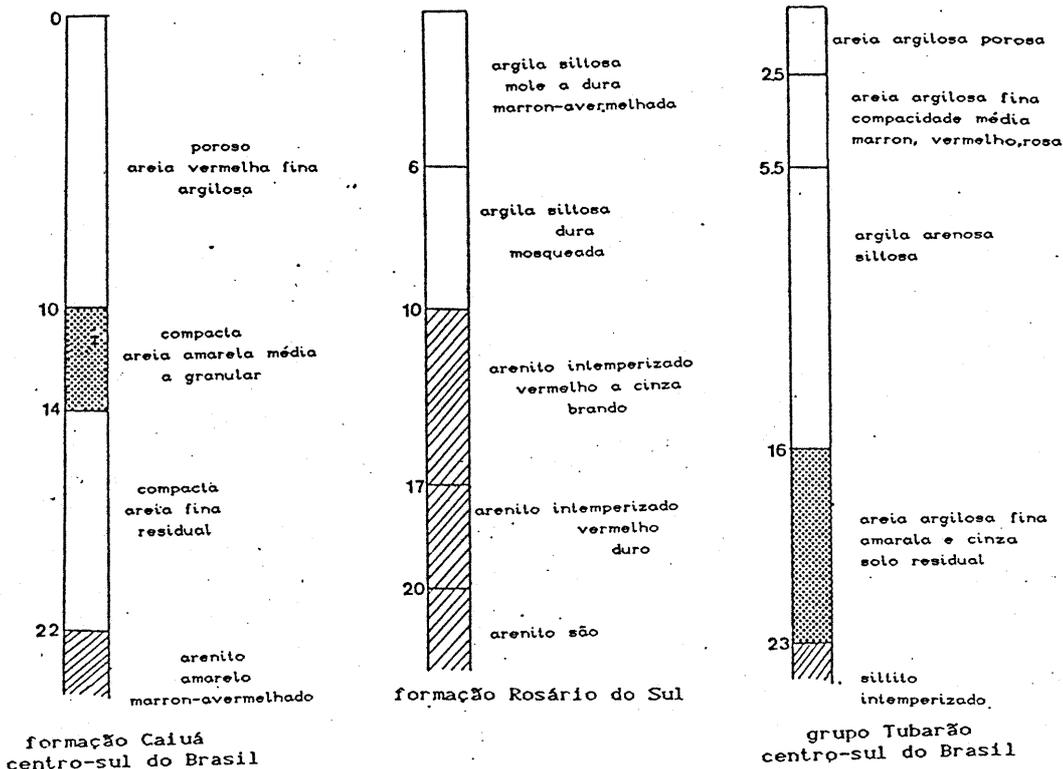


FIGURA II.3.4.2 - Perfis de solos sobre formações sedimentares do Sul e Sudeste do Brasil (VARGAS, 1985)

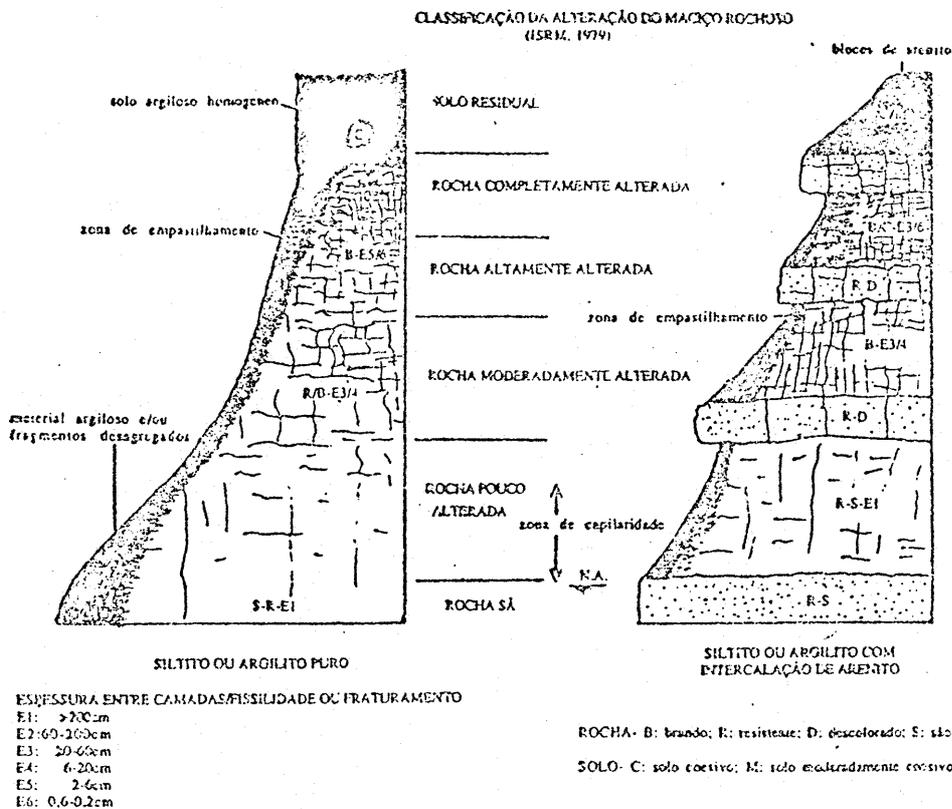


FIGURA II.3.4.3 - perfis típicos de alteração em rochas argilosas das formações sedimentares do Amazonas e Paraná (DOBEREINER e FREITAS, 1986)

II.4 - Pedologia

Define-se pedologia como a ciência que estuda a origem, morfologia, ocorrência, classificação e distribuição dos solos. (FONTES e FONTES, 1982).

Para a formação de solos atuam dois processos: os processos geológicos, os quais compreendem o intemperismo químico e físico, e os processos pedogenéticos. Segundo VIEIRA (1975) os processos pedogenéticos transformam a matéria prima resultante dos processos geológicos em solos e suas posteriores evoluções.

A pedologia como instrumento de estudo do meio físico, constitui conhecimento importante no nosso meio, pois influi nos processos pedogenéticos que se estendem por alguns metros em subsuperfície, não raramente chegando a dezenas de metros, com comportamento muito particular ligado a gênese.

Os mapas pedológicos, acompanhados dos respectivos textos explicativos, contêm um considerável acervo de dados analíticos e descrições morfológicas de perfis de solos, além de informações referentes à litologia, formação geológica, clima, relevo, uso do solo, etc.

NOGAMI (1975) fez uma apreciação geral sobre a necessidade de integração entre geologia-pedologia-geotecnia. Sendo desejável em qualquer condição de subsolo, porém é mais necessária no caso de vastas regiões do país onde ocorrem, lado a lado (ou em mesma sequência vertical) espessas camadas de solos superficiais e espessas camadas de solos saprolíticos. Apesar da necessidade de se conhecer a estrutura dos solos superficiais através do conhecimento da pedologia, tem se preocupado em destacar sobretudo a importância da origem geológica dos solos.

ROCHA (1984) define o solo como sendo uma sucessão

vertical de horizontes ou estratos, os quais podem ser cartografados usando a metodologia empregada pela estratigrafia. Principalmente para estratos do quaternário, os solos são importantes na subdivisão dos depósitos sedimentares, fornecendo dados valiosos para a datação relativa de períodos de sedimentação e auxiliando nas correlações estratigráficas. Em geologia este campo de estudo é denominado Estratigrafia Pedológica. Na pedologia clássica os solos são cartografados fazendo-se uso das unidades de mapeamentos taxônicas, as quais representam tipos ou classes de solos com características morfológicas definidas e variações laterais delimitadas pela própria classificação do solo naquele local. Já na Estratigrafia Pedológica define-se a unidade Pedo-Estratigráfica a qual pode abranger várias unidades taxônicas dispostas em contato lateral, como mostra a figura II.4.1. É interessante destacar que essas variações laterais, pedologicamente diferenciadas como tipos distintos de solos, estratigraficamente nada mais são do que fácies geológicas, as quais podem ser identificadas e caracterizadas em qualquer nível hierárquico de taxonomia pedológica.

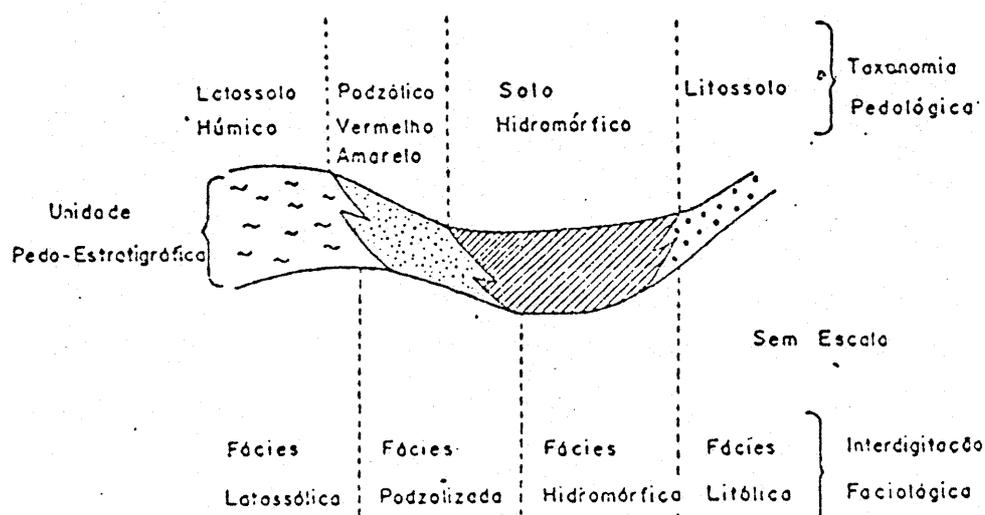


FIGURA II.4.1 - Relação entre a unidade pedo-estratigráfica e as abordagens pedológica e faciológica (ROCHA, 1984)

Segundo LARACH et al. (1981) os mapas pedológicos que recobrem o território nacional apresentam diversos níveis ou graus de abstração, correspondendo a levantamentos esquemáticos, exploratórios, de reconhecimento e detalhados.

As informações contidas nos relatórios de levantamentos de solos ou de estudos pedológicos usam uma linguagem muitas vezes inacessível ao usuário. O que suscita dúvidas quanto a utilidade dos mesmos (KLAMT, 1987).

SANTOS, FREITAS e SALOMÃO (1981) apresentaram um trabalho que procura contribuir para a discussão do uso da pedologia em geologia de engenharia, como um instrumento a mais para compreensão do meio físico. O trabalho enfoca o uso de dados pedológicos para auxiliar na caracterização geológica, geotécnica e prospecção junto a projetos agro-industriais.

KLAMT (1989) afirma que o estudo do solo sob o ponto de vista de sua formação, classificação e distribuição terá um valor limitado, se as informações que contem não forem interpretadas e suplementadas por estudos específicos, para avaliação das limitações e aptidão de uso, com vistas a recomendações de uso adequado para fins diversos, como a agricultura, obras de engenharia, mineração, etc.

II.5 - Ocorrência de solos sobre a Formação Rosário do Sul

Os solos classificados como Podzólicos são os de maior ocorrência sob a Formação Rosário do Sul. Nestes solos, devido aos processos pedológicos no horizonte A, ocorre um acúmulo de matéria orgânica e eluviação. Devido ao deslocamento de colóides, óxidos hidratados de ferro e alumínio, sais solúveis, argilas, o horizonte B, onde há iluviação deste material, é mais argiloso. Se a intensidade destes fenômenos de eluviação e de iluviação é de tal ordem que a relação de argila for de

1:1.5, podemos classificar este solo como Podzólico com horizonte B textural. Geralmente são solos mediamente profundos e profundos (raramente rasos). Na sua grande maioria são solos bem drenados e apresentam argila de atividade baixa.

Na Depressão Periférica, ao norte de Porto Alegre, ocorrem solos classificados como Podzólicos Vermelho Amarelo, derivados de arenitos da Formação Botucatu e Rosário do Sul. São solos profundos, as unidades de mapeamentos segundo RADAMBRASIL (1986) são PVa9, PVa10 e PVa11, onde se destacam os Podzólicos Vermelho Escuro a nível de subdominância nas cotas mais elevadas. Os Podzólicos Vermelho Escuro eram anteriormente classificados como Terra Rocha Estruturada e Podzólicos Vermelho Amarelo com coloração mais escura assentes sobre arenitos, siltitos e lamitos. São solos minerais, não hidromórficos, normalmente abruptos e suscetíveis à erosão. Na região em estudo junto às margens do Rio Jacuí, os perfis possuem menor diferenciação textural, ocupando áreas de relevo suave ondulado ou ondulado.

Há ocorrência de Podzólicos Bruno Acinzentado em uma porção considerável da Depressão Periférica ao longo das bacias do rio Ibicuí e Jacuí. Estes solos ocorrem em relevo suavemente ondulado e plano, numa posição intermediária entre os Planossolos e os Podzólicos Vermelho Escuro. São solos derivados de siltitos e arenitos com horizonte B textural, contendo argila de atividade alta com uma grande concentração de argila no horizonte subsuperficial. São solos rasos, aproximadamente 1m (RADAMBRASIL, 1986).

Podem ocorrer ainda sobre a Formação Rosário do Sul solos classificados com Brunizem, solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural ou não, se desenvolvendo a partir de folhelhos, argilitos e siltitos.

Na região de Santa Maria, sobre o substrato da Formação Rosário do Sul, os tipos de solos predominantes são os

Podzolicos Vermelho Amarelo (mais profundos) e os Podzólicos Bruno Acinzentado (mais rasos), segundo MACIEL FILHO (1990).

II.6 - Características físicas

II.6.1 - Granulometria

De um modo geral, as rochas sedimentares possuem uma granulação de média a fina exceto os conglomerados.

A granulometria é tradicionalmente reconhecida como característica fundamental na identificação e classificação dos solos. No entanto, vários autores tem destacado que o emprego da granulometria como previsão de propriedades dos solos não é válida em solos tropicais (MITCHELL e SITAR, 1982). Esta diferenciação entre os solos tradicionais e os tropicais está associado as técnicas de preparo da amostra e a presença de agentes cimentantes nos solos tropicais.

II.6.2 - Plasticidade

A figura II.6.2.1 apresenta os resultados dos ensaios de plasticidade obtidos por KOPPE (1982), na região do Pólo Petroquímico, a qual é característica dos solos da Formação Rosário do Sul, bem como os resultados da Formação Bauru obtidos por CRUZ e CELERI (1970) e PIMENTA et al. (1981).

Os solos residuais da Formação Rosário do Sul são basicamente areias siltosas e argilosas, argilas inorgânicas e siltes inorgânicos de média a alta plasticidade (KOPPE, 1982).

O principal problema de aplicação do sistema de classificação de Casagrande aos solos tropicais, está no fato de não se conseguir reproduzir os ensaios normalizados de solos

tradicionais, devido a problemas de preparação e execução (GIDIGASU, 1988).

II.6.3 - Ensaaios de compactação

São ensaios utilizados para determinar parâmetros de solo para uso em obras de terra, como densidade, resistência e estabilidade.

CRUZ e CELERI (1970) apresentaram resultados de solos residuais compactados de arenito, representados na figura II.6.3.1. Estes solos apresentam peso específico aparente seco mais elevado e teor de umidade ótima menor que os solos residuais de basalto.

VARGAS (1974) apresenta curvas de compactação de alguns solos brasileiros, obtendo as mesmas conclusões que CRUZ e CELERI (1970).

KOSHIMA, IMAIZUNI e PACHECO (1981) verificaram uma grande diferença entre solos residuais de argilito e solos residuais de arenito. Os solos de argilito possuem peso específico da ordem de 14kN/m^3 e teor de umidade em torno de 35%. Os solos de arenito possuem peso específico de 19kN/m^3 e teor de umidade em torno de 11%.

II.7. - Características mecânicas

II.7.1 - Ensaaios de permeabilidade

No caso de solos com permeabilidade alta, usa-se o ensaio de permeabilidade de carga constante. Para solos com permeabilidade baixa, indica-se o ensaio de carga variável. Materiais originários de formação fluvial, como arenitos, siltitos e argilitos geralmente possuem baixa permeabilidade.

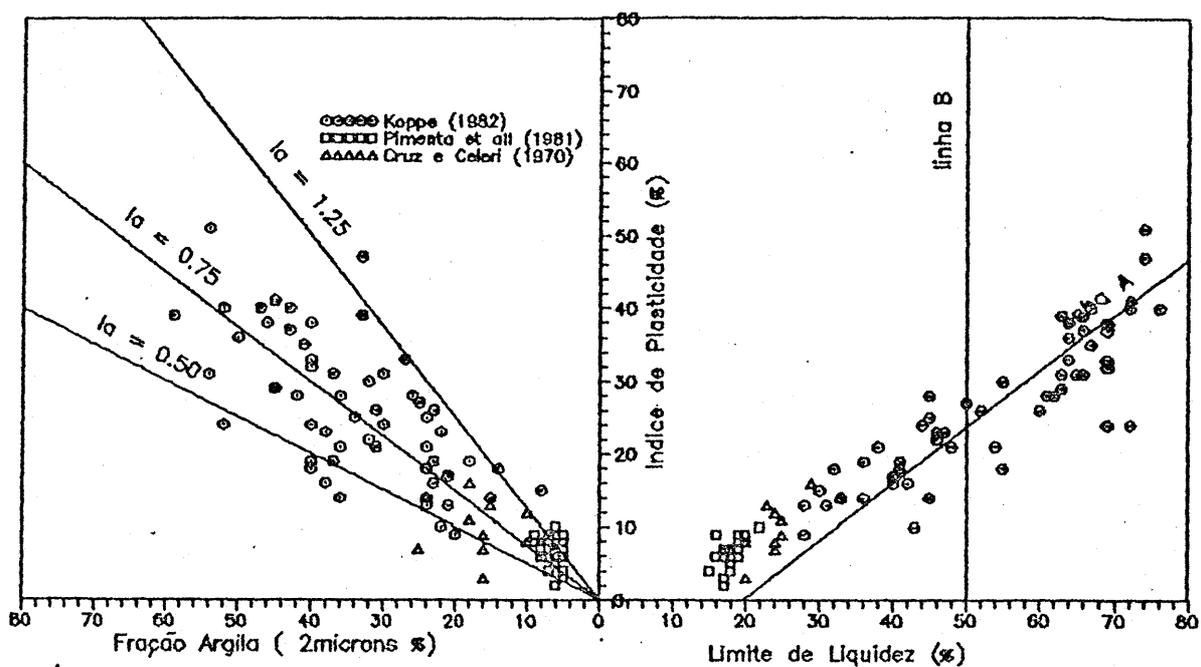


FIGURA II.6.2.1 - Resultados de ensaios de plasticidade em algumas formações sedimentares do Brasil (CRUZ e CELERI, 1970; PIMENTA et al., 1981 e KOPPE, 1982)

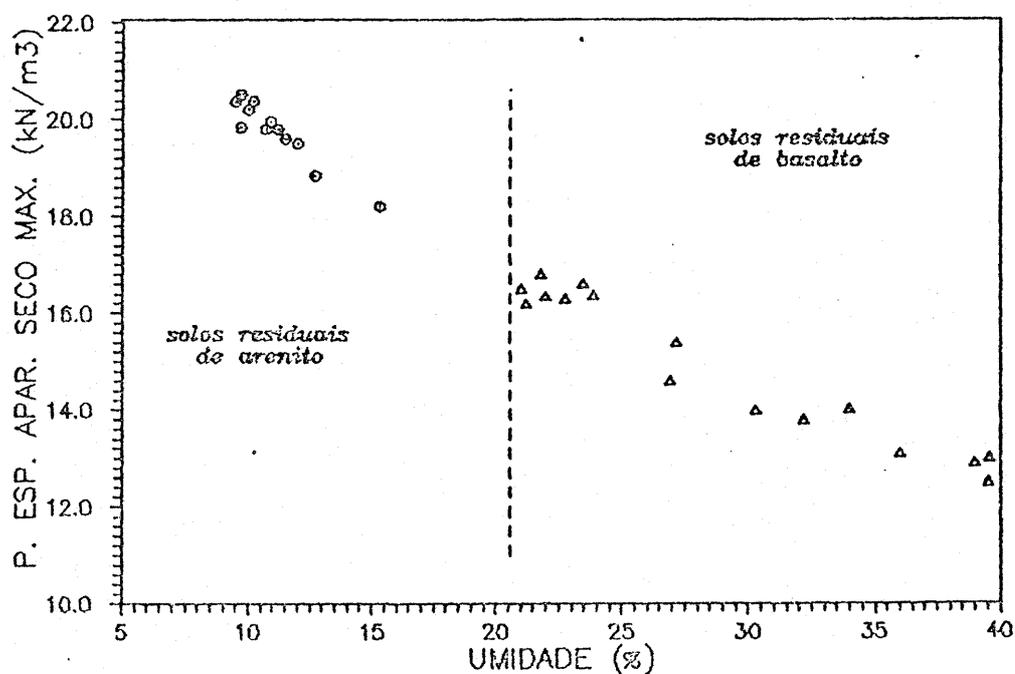


FIGURA II.6.3.1 - Comportamento diferenciado entre solos compactados de arenito e basalto (CRUZ e CELERI, 1970)

No arenito Caiuá, os valores de coeficiente de permeabilidade medidos em ensaios de laboratório de carga variável situaram-se para o material rochoso, entre um mínimo 1.74×10^{-8} cm/s e um máximo 3.44×10^{-6} cm/s (CAMPOS, 1981).

MEDINA e LIN (1982) estudaram o efeito do acréscimo de tensão nos valores de coeficiente de permeabilidade medidos em ensaios triaxiais. A figura II.7.1.1 apresenta o decréscimo do coeficiente de permeabilidade com o aumento da tensão confinante.

DOBEREINER e FREITAS (1986) apresentaram valores de coeficiente de permeabilidade obtidos em ensaios convencionais em arenitos brandos no Brasil, Portugal, Turquia e Reino Unido. Estes valores estão representados na tabela II.7.1.1. Foi proposta também uma correlação entre tamanho de partícula (argila + silte) e o coeficiente de permeabilidade, como sugere a figura II.7.1.2.

Ensaio de permeabilidade no campo, como o ensaio de bombeamento, o ensaio em cava e o ensaio de infiltração in situ, foram realizados no arenito Bauru e em solos residuais (FERREIRA et al., 1981b).

Os valores de coeficiente de permeabilidade até agora mencionados, referem-se a rochas sedimentares e solos residuais. VAUGHAN (1988) apresenta resultados em solos residuais que herdaram a anisotropia da rocha de origem. São solos oriundos de rochas metamórficas, com a presença de mica. Os valores de coeficiente de permeabilidade no horizonte C (saprólito) e no horizonte B (solo maduro) são comparados na tabela II.7.1.2.

II.7.2 - Compressibilidade

SILVEIRA e SILVEIRA (1957) estudaram a

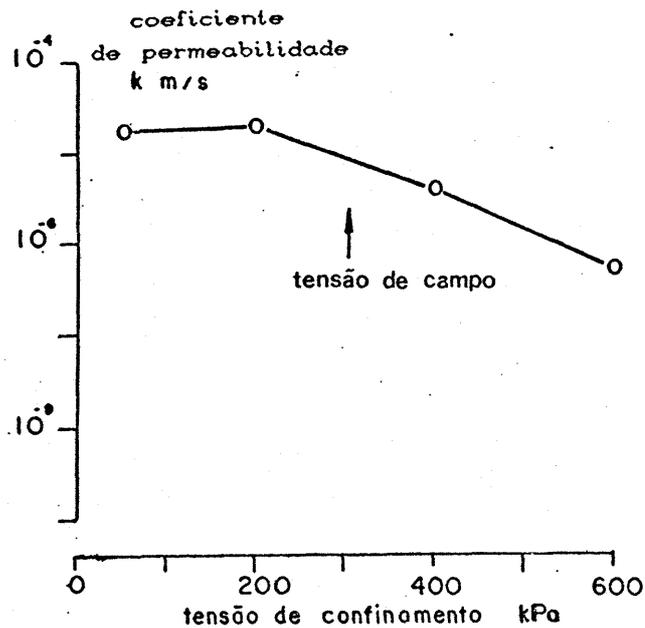


FIGURA II.7.1.1 - Influência da tensão de confinamento nos valores de permeabilidade em ensaios triaxiais (MEDINA e LIU, 1982)

DESIGNAÇÃO	POROSIDADE %	ARGILA %	SILTE %	AREIA			$k \cdot 10^{-4}$ cm/s	
				FINA %	MEDIA %	GROSSA %		
AREIA COINA (PORTUGAL)	P3	32	---	---	33	30	14	2.8
AREIA CASTANHEIRA (PORTUGAL)		35	10	20	11	16	43	0.13
AREIA FERREL (PORTUGAL)		33	5	30	22	30	13	0.18
ARENITO KIDDERHINSTER (REINO UNIDO)		31	3	4	9	83	1	2.2
ARENITO BAURU (BRASIL)	B1	35	10	15	55	20	---	1.3 # 0.9 †
	B2	30	5	10	60	25	---	2.6 # 2.7 †
	B3	27	5	15	65	15	---	8.8 #
ARENITO LAHTI (TURQUIA)		28	23	21	43	11	2	0.18
WATERSTONES (REINO UNIDO)		25	3	17	60	14		8.9 # 4.9 †

Medida paralela as camadas

† Medida perpendicular as camadas

TABELA II.7.1.1 - Resultados de permeabilidade obtidos em ensaios convencionais em arenitos brandos (DOBEREINER e FREITAS, 1986)

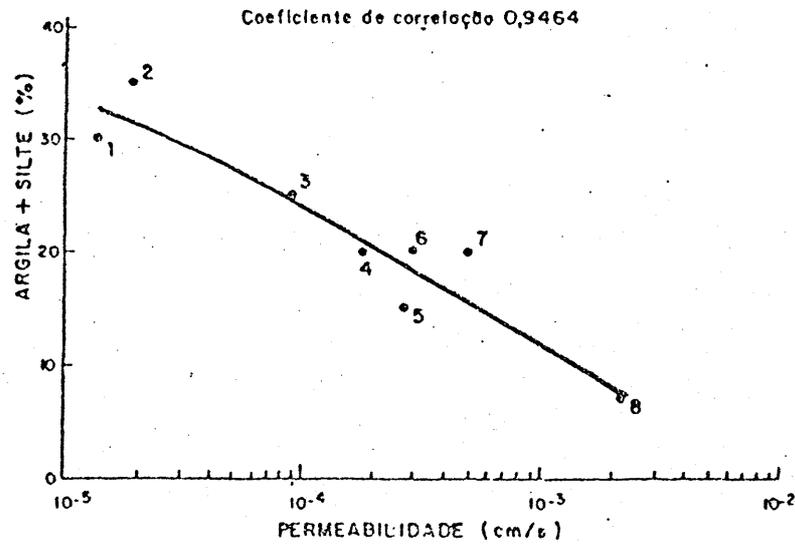


FIGURA II.7.1.2 - Correlação obtida por DOBEREINER e FREITAS (1986) entre permeabilidade e a fração fina (silte + argila) em rochas sedimentares brandas

tipo de solo	jovem(saprolítico)	maduro
granito	4×10^{-9} - 5×10^{-9}	4×10^{-6} - 5×10^{-9}
gnaisse	5×10^{-6} - 1×10^{-7}	5×10^{-5} - 1×10^{-6}
basalto	-	3×10^{-6} - 1×10^{-9}

TABELA II.7.1.2 - Valores de permeabilidade (m/s) em solos residuais de rochas metamórficas e ígneas (VAUGHAN, 1988)

compressibilidade dos solos de alteração de arenito na localidade de São Carlos (arenito Bauru). A pressão de pré-adensamento variou de 75kN/m^2 a 110kN/m^2 , o índice de vazios de 0.75 a 0.87 e o coeficiente de compressão (C_c) de 0.35 a 0.53. Na análise das curvas tempo-recalque verifica-se que 90% do adensamento ocorrem entre 1/2 a 2 minutos após a aplicação da carga, em cada estágio de carregamento.

KOSHIMA, IMAIZUNI e PACHECO (1981) estudaram o comportamento de um solo residual de arenito (arenito Bauru), quanto à deformabilidade, através de ensaios edométricos. Estes ensaios visavam principalmente investigar o comportamento dos solos quando submetidos a sobrecargas devido ao aterro lateral de bota-fora dos materiais escavados.

DAVISON DIAS, GEHLING e ROISEMBERG (1982) estudaram a compressibilidade dos solos porosos do Planalto do Rio Grande do Sul. Entre estes solos, estão os oriundos de uma sequência sedimentar, denominada de Formação Tupanciretã (arenitos). Obtiveram resultados que permitem verificar que o índice de vazios é muito variável nos solos oriundos de arenito, apresentando decréscimo considerável com a inundação.

Em amostras de solo residual da Formação Rosário do Sul, KOPPE (1982) obteve valores de pressão de pré-adensamento que variaram de 80kN/m^2 a 320kN/m^2 e um índice de vazios médio de 0.88. Estas amostras, na maioria das vezes, encontravam-se parcialmente saturadas.

II.7.3 - Ensaios para determinação das características expansivas

Devido a Formação Rosário do Sul localizar-se na Depressão Periférica, sendo composta basicamente por rochas sedimentares, é de grande importância a mineralogia das argilas, sob o aspecto de obras de engenharia.

Para determinar as características expansivas usam-se os métodos direto e indireto. O primeiro consiste de ensaios difratogramétricos (Raio-X) e de ensaios de expansão na célula de adensamento. Já o método indireto consiste em obter indicadores do potencial de expansão através dos ensaios de limite de consistência, índice de contração e atividade coloidal.

II.7.3.1 - Métodos diretos

II.7.3.1.1 - Análise mineralógica da fração fina

Para análise da potencialidade de expansão dos solos são executados ensaios de raio-x na fração fina, visando identificar os argilo-minerais presentes.

SILVA FILHO (1976) estudou o comportamento de algumas formações sedimentares do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, obtendo resultados de ensaios de difração de raio-x em amostras das fundações das barragens de Dom Marco, Bom Retiro e Amarópolis. A primeira, Dom Marco, assente sobre a Formação Rosário do Sul e Estrada Nova, sendo esta basicamente formada por folhelhos, siltitos e arenitos intercalados. As outras duas barragens estão sobre a Formação Rosário do Sul, sendo que a barragem de Bom Retiro está assente sobre argilito e a de Amarópolis sobre arenito. Todas apresentaram um caráter expansivo com predominância do interestratificado illita-montmorilonita.

KOPPE (1982) apresentou resultados obtidos pela Tecnsolo S.A. da análise por raio-x das argilas presentes no solo residual da Formação Rosário do Sul, no município de Triunfo. Verificou-se que em amostras coletadas próximo à superfície o argilo-mineral predominante é a caulinita. Em amostras coletadas a profundidades maiores, o argilo-mineral dominante é a montmorilonita e, secundariamente, a caulinita.

Na posição intermediária, mas próximo à superfície, a caulinita é o argilo-mineral dominante, com traços de montmorilonita.

CARLSTRON FILHO e SALOMÃO (1981) realizaram estudos geológicos e geotécnicos de estabilidade de taludes no trecho ferroviário de Argimiro Dornelles-Pertile. Verificou-se que as argilas componentes dos arenitos e siltitos da Formação Rosário do Sul são predominantemente montmoriloníticas, no trecho em estudo.

MACIEL FILHO e OSÓRIO (1981), ao estudar o fraturamento de paredes em Santa Maria (RS), verificaram que estes fraturamentos são devido à presença de argilas expansivas, principalmente, na fácies Santa Maria. A formação Santa Maria, membro Alemoa, também estudada por MACIEL FILHO (1977), é composta basicamente por siltitos argilosos e secundariamente por arenitos. Foram encontrados também altos teores de minerais expansivos nos arenitos grosseiros e finos, interstratificados com folhelhos ou siltitos de origem fluvial, pertencentes à Formação Caturrita nesta região.

Em outras formações sedimentares também foram encontrados minerais expansivos. No arenito Bauru, no estado de São Paulo, constatou-se a presença de montmorilonita como um dos cimentos do arenito (KOSHIMA et al., 1981).

BARROSO et al. (1981) estudaram a estabilização de taludes na Serra de Esperança, estado do Paraná. Ao analisarem um solo residual de arenito Pirambóia, observaram que a fração menor que 2μ era composta por 50% haloisita e 20% de montmorilonita, portanto dando um caráter expansivo a este solo.

FERRAZ et al. (1981) procederam à caracterização geotécnica do arenito Caiuá ocorrente no Pontal do Parapanema. O material analisado era formado basicamente por montmorilonita e secundariamente por caulinita.

II.7.3.1.2 - Ensaios de expansibilidade usando a célula de adensamento

O aparelho mais usado para determinar a expansão dos solos é o edométrico. Os testes podem ser realizados com amostras indeformadas ou remoldadas.

PORTER e NELSON (1980) descrevem este ensaio. Os corpos de prova foram submetidos a tensões geralmente de 25kN/m^2 a 100kN/m^2 , dependendo das condições de campo. Depois de 24 horas, água destilada é adicionada ao corpo de prova. Após cessar o inchamento do corpo de prova, a tensão vertical é acrescida por incrementos até o corpo de prova atingir a altura original. A figura II.7.3.1.2.1 apresenta um resultado típico.

SIMÕES (1973), ao invés de usar células convencionais de adensamento, desenvolveu equipamentos para medir expansão livre, expansão com variação de sobrecargas e pressão de expansão. O estudo foi realizado nos massapês do Recôncavo Baiano.

Estudos realizados por EL-SOHBY, MAZEN e ABOU TAHA (1989), utilizando equipamentos edométricos e amostras de diversos diâmetros e alturas, chegaram à conclusão que, no ensaio convencional uni-dimensional, a medida do deslocamento axial é afetada pela deformabilidade do equipamento. Este efeito deve ser considerado para a determinação da pressão de expansão. Para diminuir o efeito da deformabilidade do equipamento, os autores sugerem a utilização do método de volume constante. Este consiste em aplicar sucessivamente pequenos incrementos de pressão a um corpo de prova embebido, tentando evitar seu soerguimento, até atingir-se a pressão a partir do qual o corpo de prova começa a comprimir. Posteriormente, as pressões são aplicadas como no ensaio convencional de adensamento.

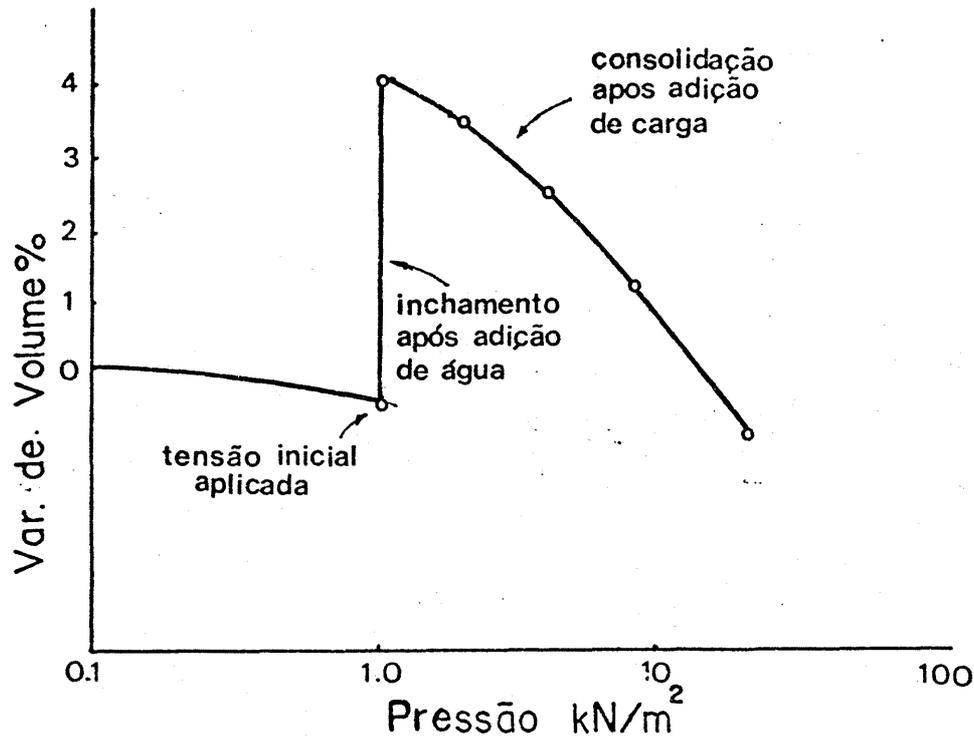


FIGURA II.7.3.1.2.1 - Resultado típico obtido em ensaios de expansão na célula de adensamento (PORTER e NELSON, 1980)

SILVA FILHO (1976) realizou ensaios de expansão em amostras pertencentes à Formação Rosário do Sul, usando células de adensamento. Amostras de solo da fundação da barragem de Dom Marco foram ensaiadas a partir de condições naturais de umidade. No entanto, para simular certas condições de campo, amostras de solos de Bom Retiro foram ensaiadas em três séries diferentes. Na primeira série, os corpos de prova foram moldados na célula de adensamento e deixados secar durante 5 dias; na segunda série, o tempo de secagem ao ar foi de 24 horas e na última série não se esperou pela secagem do material. Em todos os corpos de prova, aplicou-se inicialmente uma pressão "p" de 1kN/m^2 durante 24 horas. A seguir, procedeu-se o embebimento do material, medindo-se a variação de volume. Subsequentemente, calculou-se a porcentagem de expansão pela seguinte relação :

$$E = \frac{H_f - H_i}{H_i} \times 100$$

Onde :

H_i - altura inicial do corpo de prova antes do embebedimento

H_f - altura do corpo de prova após a realização das leituras

E - porcentagem de expansão do corpo de prova

Os valores obtidos de pressão de expansão nos folhelhos, siltitos e arenitos intercalados variaram entre 360kN/m^2 e 800kN/m^2 . Nos corpos de prova de argilito, com teor de umidade natural, as pressões de expansão foram de 140kN/m^2 a 360kN/m^2 . Ao simular-se uma secagem natural por 5 dias, os valores de expansão medidos foram de 600kN/m^2 a 1000kN/m^2 .

II.7.3.2 - Métodos indiretos

II.7.3.2.1 - Limites de Atterberg

Vários autores usam o índice de plasticidade e o índice de contração como indicadores do potencial de expansão. GROMKO (1974) afirma que a maioria dos solos expansivos ocorrem com teores de umidade natural entre estes índices.

SOWERS (1962) correlacionou o potencial de expansão com o índice de plasticidade e o índice de contração. As regiões de ocorrência dos solos expansivos foram divididas em áridas e úmidas, como está representado na tabela II.7.3.2.1.1.

As tabelas II.7.3.2.1.2 e II.7.3.2.1.3 apresentam uma estimativa do potencial de expansão em função dos limites de consistência e do índice de contração (CHEN, 1974 e BOWLES, 1977).

POTENCIAL DE VARIAÇÃO DE VOLUME C/ VARIAÇÃO DE ÁGUA	IND. DE PLASTICIDADE		INDICE DE CONTRAÇÃO
	ARIDAS	ÚMIDAS	
BÁIXO	0-15	0-30	> 12
BAIXO P/MODERADO	15-30	30-50	10-12
MODERADO P/ SEVERO	> 30	>50	< 10

TABELA II.7.3.2.1.1 - Correlação entre potencial de expansão, índice de plasticidade e índice de contração (SOWERS, 1962)

POTENCIAL DE EXPANSÃO	INDICE DE PLASTICIDADE
BAIXO	0-15
MEDIO	10-35
ALTO	20-55
MUITO ALTO	>35

TABELA II.7.3.2.1.2 - Correlação entre o potencial de expansão e o índice de plasticidade (CHEN, 1974)

POTENCIAL DE EXPANSÃO	IND. PLAST.	IND. CONTRAÇÃO	LIMITE LIQUIDEZ
BAIXO	< 18	> 15	20-35
MÉDIO	15-28	10-15	35-50
ALTO	25-41	7-12	50-70
MUITO ALTO	> 35	< 11	> 70

TABELA II.7.3.2.1.3 - Correlação entre o potencial de expansão e os índices de plasticidade, de contração e o limite de liquidez (BOWLES, 1977)

II.7.3.2.2 - Atividade coloidal

SKEMPTON (1953) ao estudar as propriedades das argilas, que são determinadas fundamentalmente por características físico-químicas dos vários constituintes minerais e a proporção relativa que estes materiais estão presentes, definiu um índice para determinar a atividade das argilas, que seria de procedimento normal dos laboratórios de Mecânica dos Solos.

$$\text{atividade} = \frac{\text{índice de plasticidade}}{\% \text{ fração argila} - < 2\mu}$$

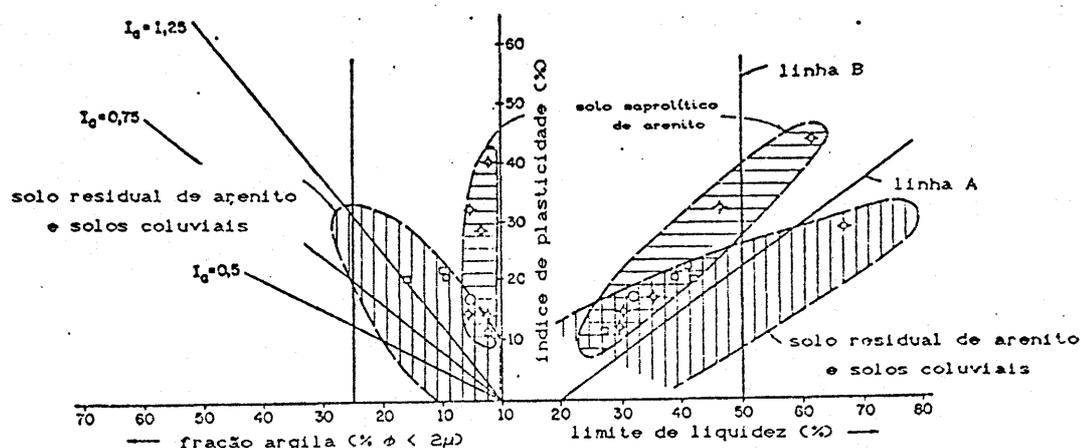
As argilas foram classificando em :

argilas inativas - atividade < 0.75

argilas normais - atividade < 0.75 a 1.25

argilas ativas - atividade > 1.25

VARGAS (1985) combinou a plasticidade de Casagrande e a atividade de Skempton para determinar as características expansivas de alguns solos brasileiros. Na figura II.7.3.2.2.1, estão representados os resultados encontrados para solos do Sul-Sudeste do Brasil, pertencentes a Formações Permiano-Devoniano (formações sedimentares). No caso de solos saprolíticos, devido a presença de montmorilonita na fração argila, os pontos estão acima da linha A, e também acima da linha de atividade (I_a), igual 1.25. No mesmo gráfico estão plotados os índices de solos residuais e coluviais de arenito.



- - solo coluvial de arenito (caulinita, gipsita, óxidos de Fe, quartzo)
- - solo residual de arenito (caulinita, óxidos de ferro, quartzo)
- ◆ - saprolítico de arenito (montmorilonita, feldspato, óx. de Fe, quartzo)

FIGURA II.7.3.2.2.1 - Combinação da plasticidade de Casagrande com a atividade coloidal de Skempton para determinar características expansivas em solos residuais de formações sedimentares (VARGAS, 1985)

II.7.4 - Ensaio de resistência

II.7.4.1 - Cisalhamento direto

FERRAZ et al. (1981) verificaram a influência da

umidade nos resultados de ensaios de cisalhamento direto em solos de formações sedimentares, da região do Pontal do Parapanema. As amostras ensaiadas foram arenitos pertencentes à Formação Caiuá. Os ensaios foram realizados com superfícies de cisalhamento paralelas e perpendiculares aos planos de deposição sedimentar. Como tratava-se da fundação de uma barragem, os ensaios foram realizados com níveis de tensão elevados, chegando a 1500KN/m^2 (15Kg/cm^2). Os valores obtidos para o ângulo de atrito interno na ruptura foram de 39° e 41° e os valores de coesão de 370kN/m^2 e 350kN/m^2 . Estes valores foram obtidos em superfícies de corte respectivamente paralela e perpendicular aos estratos.

COULON e GUSSO (1977) apresentaram resultados de ensaios de cisalhamento in situ levados a efeito na Barragem de Bom Retiro do Sul - RS - da Portobrás, em amostras moldadas em argilitos vermelhos da Formação Rosário do Sul. Estabeleceram uma equação de resistência $\tau = 1.869 + \sigma \text{ tg } 23^\circ$ (Kg/cm^2) para este material. Os corpos de prova ensaiados possuíam dimensão de aproximadamente $70 \times 70 \text{cm}$, com altura de 35cm . Os ensaios foram realizados dentro de poços com cerca de $2.0 \times 3.0 \text{m}$. As condições naturais foram mantidas, evitando-se o ressecamento e, conseqüentemente, mudança nas características geotécnicas dos corpos de prova.

KOSHIMA et al. (1981) descrevem também ensaios de cisalhamento in situ realizados no arenito Bauru, em poços de inspeção, com corpos de prova de $20 \times 20 \times 10 \text{cm}$. Devido à maior heterogeneidade no solo residual de argilito, foram ensaiados corpos de prova de maior dimensão ($30 \times 30 \times 30 \text{cm}$).

II.7.4.2 - Ensaio triaxiais

SILVEIRA e SILVEIRA (1957) realizaram ensaios de compressão triaxial em arenitos (São Carlos, arenito Bauru). Nos ensaios não drenados, os valores de intercepto de

coesão variaram de 4kN/m^2 a 11kN/m^2 , enquanto nos ensaios drenados foram obtidos valores de intercepto de coesão nula e ângulo de atrito interno de 27° .

DOBEREINER e FREITAS (1986) apresentaram resultados de ensaios de compressão triaxial em arenitos brandos com a direção da tensão principal maior vertical e paralela as camadas. A figura II.7.4.2.1 mostra as curvas tensão-deformação e a variação de pressão neutra em arenitos Waterstones saturados. Em seguida são mostradas as envoltórias de resistência ao cisalhamento em arenitos Waterstones e Kidderminster, obtidos de ensaios com a direção da tensão principal maior paralela e perpendicular às camadas (figuras II.7.4.2.2). Observa-se que as envoltórias são curvas (não lineares) para níveis de tensões mais baixos (0-1.5MPa).

KOPPE (1982) apresentou resultados de ensaios triaxiais do tipo consolidado drenado com medida de pressão neutra e saturação por contra-pressão. Estes ensaios referem-se a solos residuais da Formação Rosario do Sul. Verificou-se que o ângulo de atrito interno em termos de tensões totais variou entre um mínimo de 7° a um máximo de 43° , com média em torno de 21° . Já o ângulo de atrito interno efetivo variou entre 7° e 45° , com média de 25° . O intercepto de coesão total esteve limitado ao intervalo compreendido entre zero e 190kN/m^2 e o intercepto de coesão efetiva entre zero e 170kN/m^2 . Foram também realizados ensaios drenados não adensados (UU), onde os valores obtidos de intercepto coesão foram de 25kN/m^2 e 45kN/m^2 .

FERREIRA et al. (1981) apresentaram resultados de ensaios triaxiais rápidos não drenados (UU), com medida de pressão neutra, em condições de umidade natural, seco, seco e depois saturado. Percebe-se para o nível de tensões confinantes (200 a 1200kN/m^2), que a resistência ao cisalhamento do arenito Bauru se deve mais a processos de cimentação do que ao entrosamento dos grãos, notando-se claramente que a resistência

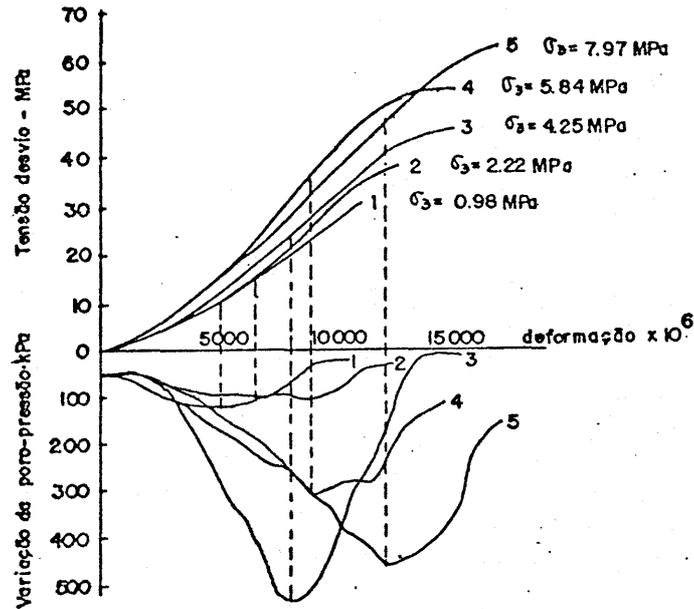


FIGURA II.7.4.2.1 - Curvas tensão-deformação e variação da pressão neutra em arenitos Waterstones saturados (DOBEREINER e FREITAS, 1986)

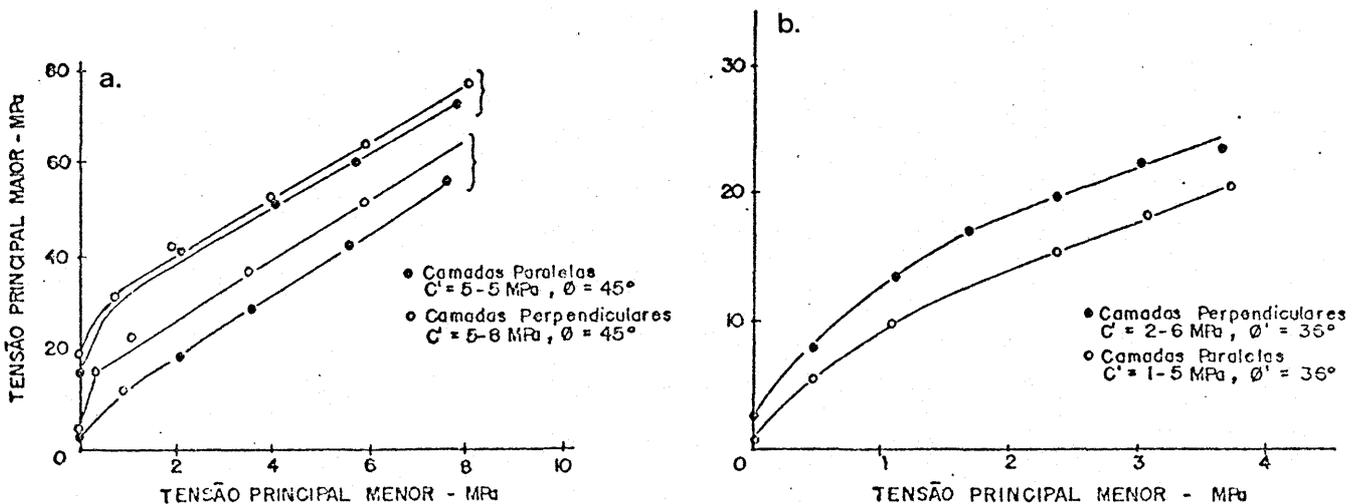


FIGURA II.7.4.2.2 - Envoltórias de resistência em arenitos Waterstones (a.) e Kidderminster (b.) - (DOBEREINER e FREITAS, 1986)

e muito sensível à alternância de umidade.

GAMA e FRAZÃO (1990) estudaram o comportamento geomecânico de um maciço de arenito Caiuá, na divisa dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. Obtiveram como equação de resistência $\tau = 2.2 + \sigma \operatorname{tg} 28.2^\circ$ (MPa).

WESLEY (1990) estudou o comportamento, em termos de resistência ao cisalhamento, de um material siltoso originado da intemperização de arenitos e siltitos de formações sedimentares da Nova Zelândia. A figura II.7.4.2.3 apresenta os resultados dos ensaios triaxiais (CU) obtidos neste material. Verificando a influência da estrutura no comportamento destes solos, principalmente para os níveis mais baixo de tensão.

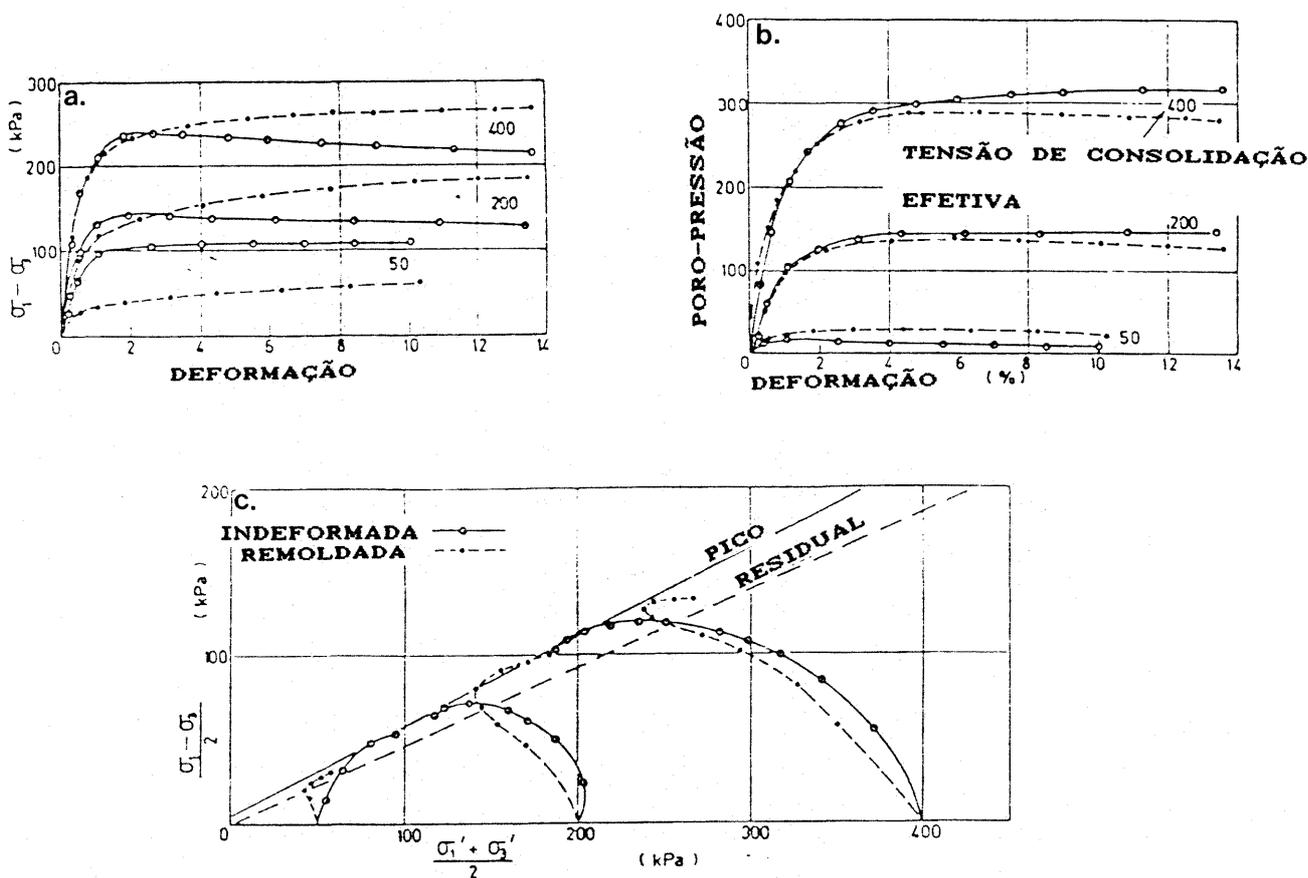


FIGURA II.7.4.2.3 - Resultados de ensaios triaxiais (CU) em amostras siltosas (WESLEY, 1990)
 a. curvas tensão desvio por deformação
 b. curvas poro-pressão por deformação
 c. curvas p_{xq} (pico e residual)

III. METODOLOGIA

O mapeamento geotécnico tem sido usado como uma ferramenta que ajuda a definir e a fiscalizar a ocupação territorial, definindo unidades geotécnicas e estudando o comportamento dos perfis de solos (ZUQUETTE e GANDOLFI, 1987; PONÇANO, KERTZMAN e SALOMÃO, 1987).

Este trabalho baseia-se principalmente na caracterização geotécnica de solos e rochas oriundos da Formação Rosário do Sul. Para tal, iniciou-se a pesquisa por um estudo de escritório, com posterior investigação de campo, retirada de amostras e realização de ensaios de laboratório.

III.1 - Estudo de escritório

O estudo preliminar de escritório baseia-se, principalmente, em mapas geológicos onde são indicados tipos de rocha que fazem parte do substrato, ou que podem ser encontradas na superfície através de afloramentos, ou ainda podem estar recobertas por espessas camadas de solos, sedimentos e outros materiais.

Como os mapas geológicos não fornecem dados referentes aos solos superficiais, buscou-se usar levantamentos pedológicos de solos e topográficos.

Os levantamentos pedológicos fornecem dados referentes a unidades de mapeamento. Estas unidades caracterizam solos com características morfológicas semelhantes. As unidades

pedológicas são descritas principalmente pelo grau de desenvolvimento do horizonte B. Entre as características morfológicas descritas nos levantamentos, as de maior importância para a geotecnia são a presença de horizontes hidromórficos, a existência de camadas endurecidas, a presença de minerais expansivos, bem como as características de drenagem, de plasticidade e de granulometria.

Os mapas topográficos podem ser usados para determinar zonas de possível variação pedológica, através da análise do relevo, das condições de drenagem da região, etc.

Com o estudo dos mapas geológicos, geotécnicos, topográficos e levantamentos de solos, procurou-se definir exatamente os locais de ocorrência da Formação Rosário do Sul. Procuram-se locais já referidos pela literatura especializada através de trabalhos publicados.

Os Mapas usados foram os seguintes :

- _ Mapa Geológico da Quadrícula de Gravataí - MORRIS (1962) escala 1:50.000
- _ Mapa Geológico da Folha de Morretes e Montenegro - GAMERMANN e COULON (1972) escala 1:50.000
- _ Mapa Geotécnico da Folha de Morretes e Montenegro - COULON (1972) escala 1:50.000
- _ Mapa Geológico do Rio Grande do Sul - CARRARO et al. (1974) escala 1:1.000.000
- _ Mapa Geológico da Região Metropolitana de Porto Alegre - METROPLAN - (1975) escala 1:100.000
- _ Mapa Geológico e Geotécnico da Região do III Pólo Petroquímico Triunfo - KOPPE (1982) escala 1:50.000
- _ Mapa Geológico da Folha de Gravataí e Sto Antônio da Patrulha CECD (1984) escala 1:50.000
- _ Mapa do Ministério do Exército - DEC - Folhas de Caxias e Gravataí - (1984) escala 1:250.000
- _ Mapa Geológico - PROJETO RADAMBRASIL - IBGE (1986) escala 1:1.000.000

_ Mapa Pedológico- PROJETO RADAMBRASIL - IBGE (1986) escala 1:1.000.000

_ Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul - DNPM (1989) escala 1:1.000.000

Através dos mapas e levantamentos de solos foi realizada uma estimativa dos locais de ocorrência da formação, com a localização de perfis típicos para serem estudados. Nesta fase do trabalho de escritório foram coletados resultados de sondagens de simples reconhecimento (SPT).

III.2 - Investigação de campo

A investigação inicial é definida através do reconhecimento no campo dos perfis típicos descritos na literatura. Para tal, realiza-se inicialmente uma sondagem a trado dos diversos perfis de solos, com o objetivo de caracterizar unidades e horizontes de solos, verificando se as características morfológicas são similares às descritas nos levantamentos pedológicos e geotécnicos.

Ao verificar-se a concordância das unidades de solos e rochas previstas nos estudos preliminares de escritório, com as encontradas na investigação de campo são escolhidos os perfis que melhor descrevem as características morfológicas da formação (de preferência de fácil acesso). O objetivo é delinear áreas que possuam homogeneidade, dentro de limites que satisfaçam as necessidades da pesquisa.

Para o enquadramento dos perfis em unidades geotécnicas, deve-se a princípio definir o grau de desenvolvimento do horizonte B. Este grau de desenvolvimento é verificado através da cor, presença de minerais primários intemperizáveis, textura e drenagem. Procura-se definir variações de espessura dos horizontes, usando os critérios

descritos no Manual de Trabalho de Campo, LEMOS e SANTOS (1984), bem como a ocorrência de camadas endurecidas no horizonte B, horizontes gleizados e zonas de transição entre horizontes. DAVISON DIAS (1989) sugere uma classificação simplificada das unidades geotécnicas dividindo-as em unidades formadas nas depressões - solos hidromórficos, e unidades situadas em relevo suave, ondulado e fortemente ondulado.

Quando não é verificada a presença do horizonte C, este é estimado através de mapas geológicos. Quando este horizonte existir, verifica-se a estrutura, pois esta é herdada do material de origem, analisando seu grau de desenvolvimento.

III.3 - Retirada de amostras

Basicamente os exames dos perfis de solos podem ser feitos em cortes de estradas, em trincheiras, em voçorocas causadas pela erosão e através do trado.

Os métodos de amostragem a serem empregados para os solos do horizonte B e para os solos do horizonte C dependem do ensaio a que se destinam as amostras.

Procurou-se inicialmente amostrar por horizontes, por estes serem mais homogêneos. No entanto, em solos e rochas sedimentares é difícil, muitas vezes, determinar a separação dos horizontes. Decidiu-se então, realizar uma amostragem mista, amostrando-se os horizontes pedológicos (hor. B) e as camadas nos horizontes C e R, definidas pela mudança nas características morfológicas (tal como cor, textura, consistência).

Após escolhidos os pontos de amostragem nos perfis, são retiradas amostras deformadas para caracterização e determinação de umidade de campo. Para retirada de amostras indeformadas dá-se preferência a cortes, taludes naturais e escavações em

obras, obtendo-se em geral amostras em maiores profundidades.

Recomenda-se, quando a amostragem é realizada em taludes naturais e cortes de estradas, uma limpeza cuidadosa dos perfis, mesmo em cortes recentes. Tais perfis estão sujeitos a consecutivos ciclos de umedecimento e secagem, ao acúmulo de material que escorre pela superfície, ocorrendo portanto um processo mais acelerado de intemperização. Para evitar esses problemas de amostragem, foram abertas trincheiras de dimensões adequadas para retirada de blocos indeformados de dimensões 30x30x30 cm. Este procedimento é descrito detalhadamente por DAVISON DIAS (1989). Na retirada de amostra em anéis metálicos e pequenos cilindros de dimensões 15x10cm, procurou-se remover o material mais superficial dos cortes, escavando até obter um material menos exposto ao intemperismo.

Para os ensaios de compressão confinada e cisalhamento direto, são retiradas amostras indeformadas nos próprios anéis metálicos que são utilizados nos ensaios. Esta técnica apresenta bons resultados, devido a facilidade e grande número de amostras que pode-se retirar. No entanto deve-se ter cuidado no que se refere à perturbação do solo (não amolgamento), à conservação das condições de umidade natural da amostra (com o parafinamento) e ao transporte do campo para o laboratório. Outro cuidado importante é o armazenamento das amostras em laboratório, o qual deve ser feito em câmara úmida.

As amostras retiradas em blocos e em pequenos cilindros são utilizados para ensaios de resistência ao cisalhamento no equipamento triaxial, de resistência à compressão simples e de permeabilidade. Nos perfis onde ocorrem afloramentos, procura-se coletar amostras para posteriores ensaios. Trata-se de rochas sedimentares, as quais na região de estudo se apresentam, geralmente alteradas e possuem pouca resistência (rochas brandas). São obtidos, então, amostras de rocha através dos mesmos procedimentos de amostragem de solos.

III.4 - Ensaaios de laboratório

Os seguintes ensaios de caracterização foram realizados, a partir de amostras deformadas: granulometria de sedimentação com utilização de defloculante (NBR-7181), limites de plasticidade (NBR-7180), limites de liquidez (NBR-6459), peso específico real dos grãos (NBR-6508).

Foram executados ensaios de compactação (ABNT-MB-33), do tipo Proctor Normal, nos solos dos horizontes B e C, para avaliação das características destes solos como possíveis jazidas para o uso em pavimentação.

Os ensaios de compressão confinada foram realizados em prensas edométricas (Wykeham Farrance e CPL), com corpos de prova de 5cm de diâmetro e 1.9cm de altura, nas condições natural e inundada. Tensões na faixa de 12.5 a 1600 KN/m² foram aplicadas e, com intervalos de carregamento de 4 a 24 horas. A metodologia adotada para este ensaio é semelhante à descrita por LAMBE (1951).

Devido a ocorrência em alguns locais de materiais com características expansivas, foram realizados ensaios de difração de raio-x para determinação dos argilo-minerais presentes na fração fina. Esta técnica de difração de raio-x, sua teoria, seu uso, preparação das amostras e interpretação dos resultados estão descritos em detalhe por TOVEY (1986).

Nos mesmos aparelhos edométricos foram realizados ensaios de expansão em amostras indeformadas e remoldadas. PORTER e NELSON (1980) descrevem o ensaio de expansão, onde após um período de 24 horas é adicionado água destilada, verificando-se o inchamento do corpo de prova. Após cessar o inchamento, a tensão vertical é incrementada até que o corpo de prova retorne a sua altura original.

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados em

equipamentos Wykeham Farrance com corpos de prova de 6cm de diâmetro e aprox. 2cm de altura. Os ensaios foram realizados nas condições de umidade natural e inundada, com um período de imersão de no mínimo 4 horas. Os corpos de prova foram cisalhados em condições drenadas, a velocidade constante de 0.024pol/min. Nos solos mais impermeáveis, a velocidade foi reduzida para 0.0048pol/min. As tensões normais empregadas variaram entre 16 e 400kN/m². Nestes ensaios também procurou-se observar a colapsividade, i.e. o acréscimo de deformação do solo com a inundação.

Os ensaios de resistência ao cisalhamento no Triaxial foram realizados no equipamento Geonor descritos em detalhe por ANDRESEN e SIMONS (1960). Os ensaios são do tipo CD (consolidado drenado) com tensões de confinamento de 100, 200 e 300kN/m². Inicialmente, foi realizado uma percolação de água pelo corpo de prova durante 24 horas. Após os corpos de prova são saturados por contra-pressão através de estágios crescentes de tensão de 50kN/m². Em seguida é aplicado a tensão desvio até a ruptura com a medida da pressão neutra desenvolvida durante o ensaio. A velocidade de aplicação da tensão desvio é de 5mm/hora, velocidade esta adotada, devido ao elevado valor do coeficiente de adensamento (Cv) para estes materiais.

O equipamento triaxial foi utilizado para a determinação da permeabilidade em corpos de prova cilíndricos e confinados em uma membrana de borracha, sujeitas a pressão hidrostática externa durante a execução do teste. Este ensaio no equipamento triaxial leva vantagem em relação aos ensaios convencionais, pois evita os vazamentos ao longo dos lados das amostras, simula as condições de tensões que ocorrem no campo e permite a saturação com maior facilidade. A permeabilidade é medida pela aplicação de um gradiente hidráulico pela amostra, o qual é feito em um equipamento especial medindo pressões e fluxos de água. O fluxo de água através do corpo de prova faz variar de posição a coluna de mercúrio em tubo de plástico. A taxa de movimento do nível de mercúrio é observado, e medidas de

permeabilidade nas amostras podem ser deduzidas diretamente. Este aparato e os procedimentos para determinação da permeabilidade são descritos por BJERRUM e HUDER (1957).

Para determinar a resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos foi utilizado o método descrito pela INTERNACIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS (1979).

Na moldagem dos corpos de prova para os ensaios triaxiais, compressão simples e permeabilidade foi adotado a metodologia descrita por LAMBE (1951) e ANDRESEN e SIMONS (1960). As amostras são indeformadas, devido a sua cimentação, são torneadas e cortadas por meio de um fio de aço até as dimensões desejadas. As dimensões adotadas para estes ensaios foi de 5cm de diâmetro e 10cm de altura.

IV. ÁREA DE ESTUDO

A formação Rosário do Sul é de caráter regional, cobrindo uma área do estado do Rio Grande do Sul que estende-se do município de Gravataí até o município de São Gabriel, ao longo da Depressão Periférica. A figura IV.1 apresenta a localização e distribuição dos sedimentos da Formação Rosário do Sul.

A área de estudo engloba vários municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre e arredores. No anexo I está representado o mapa geológico da região na escala 1:250.000, baseado nos mapas do DNPM (1989), COULON (1972) e RADAMBRASIL (1986).

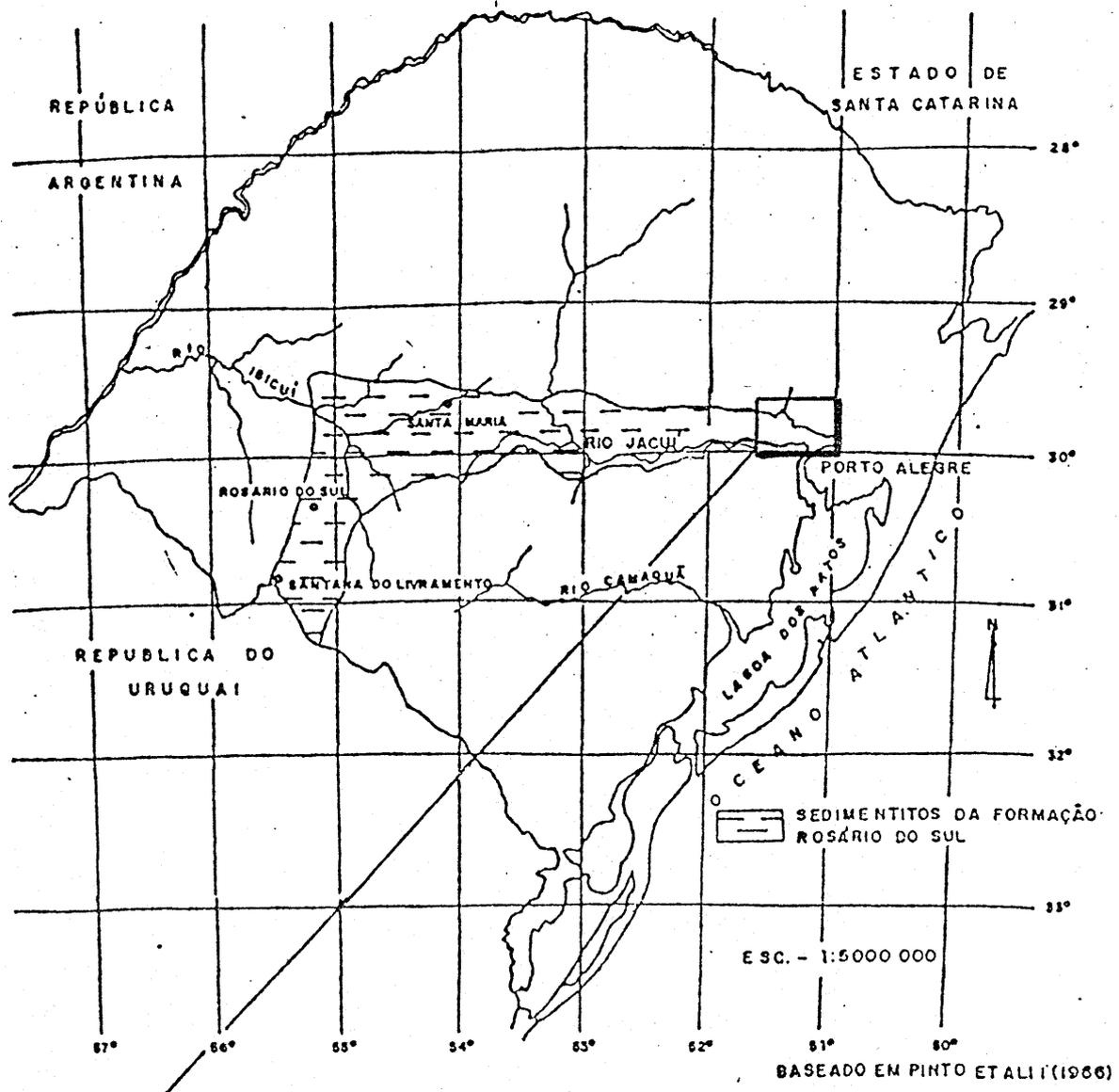
IV.1 Descrição das unidades estratigráficas com ocorrência na área de estudo

IV.1.1 - Formação Rosário do Sul

Na área em estudo, a Formação Rosário do Sul só se faz presente através da fácies fluvial, constituída por arenitos e siltitos, ocasionalmente argilitos.

A fácies fluvial é caracterizada por arenitos finos a muito finos com estratificação plano paralela típica, condicionada pelo ambiente de formação fluvial; e arenitos, siltitos e argilitos de planície de inundação. Os arenitos predominam sobre os siltitos e argilitos.

As rochas desta formação apresentam predominantemente



DETALHE
ANEXO I

FIGURA IV.1 - Localização e distribuição dos sedimentitos da Formação Rosário do Sul (baseado em PINTO et al., 1966; in KOPPE, 1982)

uma coloração avermelhada com tons rosa, amarelo, roxo e cinza.

Os arenitos geralmente apresentam-se quartzosos com proporções variadas de feldspatos, e minerais pesados em menor teor. Segundo GAMERMANN e REISCHL (1974) as proporções de minerais pesados são em média constituído, por 40.3% de turmalina, 29.5% de zircão, 12.9% de estaurolita, 11.4% de granada, 3.0% de augita, 1.5% de rutilo, 1.4% de epidoto e traços de hornblenda, vesuvianita, pleonastro e olivina. Os minerais micáceos podem estar ausentes ou ocorrer em grande quantidade. A percentagem de argila não ultrapassa os 5%.

Os siltitos, normalmente apresentam-se no estado maciço, podendo ocorrer estratificados ou laminados, intercalando-se com arenitos finos. Os siltitos são duros e geralmente mais arenosos que argilosos. É muito comum a presença de mica.

Adotando a classificação sugerida por ANDREIS et al. (1980) a Formação Rosário do Sul, conforme descrita por GAMERNANN (1973), na região em estudo, pertenceria à Formação Sanga do Cabral, Grupo Rosário do Sul, constituída essencialmente por arenitos (80%) e pelitos (20%). A estratificação é bem desenvolvida, do tipo plano paralela.

IV.1.2 - Formação Rio Bonito

É constituída por sedimentitos clásticos, representados por arenitos quartzosos, arenitos feldspáticos, diamictitos, folhelhos carbonosos e carvão.

IV.1.3 - Formação Estrada Nova

É constituída de folhelhos e siltitos, pouco arenosos, que se alternam nas cores vermelho, verde ou cinza azulado, em

faixas irregulares de espessuras variáveis. Em direção ao topo essas litologias começam a tornar-se mais arenosas.

IV.1.4 - Formação Botucatu

Esta formação recebeu a designação de arenito Botucatu, dada por CAMPOS (1889) in CARRARO et al. (1974). É constituída essencialmente por grãos de quartzo, e localmente por feldspato, com grânulação fina a média, às vezes grosseira. Os grãos são sub-angulares e arredondados, com estratificação cruzada de grandes ângulos, denotando deposição eólica.

IV.1.5 - Formação Serra Geral

Compreende lavas básicas extrusivas de coloração escura, densa, muito compacta e muito diaclasada, bem como diques e sills de diabásio associados.

IV.1.6 - Depósitos Recentes

Apresentam-se predominantemente constituídos por argilas de origem fluvial e algumas areias inconsolidadas, associadas aos rios Caí e Jacuí. Os sedimentos associados ao rio Jacuí são espessos e formados por argila mole e escura. São denominados de leques aluviais, depósitos fluviais e turfeiras.

IV.2 - Geomorfologia

O estado do Rio Grande do Sul divide-se em quatro províncias geomorfológicas, de acordo com CARRARO et al. (1974). Estas províncias são:

a. Planalto

- b. Depressão Periférica
- c. Escudo Rio Grandense
- d. Planície Costeira

A área de estudo situa-se na província denominada Depressão Periférica, caracterizada litologicamente pela presença de rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná, sendo uma extensa depressão deposicional situada na parte centro-leste do continente sul-americano. É caracterizada por formas de relevo suave, ocasionalmente por formas abruptas. Sedimentos pertencentes ao quaternário e pequenas intrusões de rochas básicas também são encontradas.

KOPPE (1982) caracterizou esta região como sendo formada por relevos mamelonares ou arredondados, com vertentes suaves e convexas, coincidindo com as litologias pertencentes à Formação Rosário do Sul.

Na Região Metropolitana de Porto Alegre, as principais ocorrências mapeadas da Formação Rosário do Sul se localizam nos municípios de Canoas, Gravataí, Cachoeirinha, Sapucaia, São Leopoldo e Novo Hamburgo. Ao redor da Região Metropolitana, a Formação Rosário do Sul também ocorre nos municípios de Montenegro e Triunfo.

O município de Canoas tem como principais morfologias uma ampla e baixa planície de inundação com mais de 20Km de largura adjacente ao rio Jacuí, e outra menos desenvolvida, associada ao rio Caí, com cotas variando de 7 a 20m. Estas planícies são formadas por sedimentos quaternários. Uma segunda planície levemente ondulada com altitudes variando de 20 a 100m é composta por sedimentos continentais das Formações Estrada Nova e principalmente Rosário do Sul, ocupando uma faixa de 18Km de largura.

Já na região do município de Gravataí e arredores, as principais morfologias encontradas na Depressão Periférica, são

compostas por rochas sedimentares da Formação Rosário do Sul, da cuesta formada pelo arenito Botucatu e pela planície de inundação do rio Gravataí.

Segundo MORRIS (1963) a área situada ao norte de Gravataí é composta por morros e coxilhas baixas, drenadas por rios obseqüentes, que descem à frente da cuesta da Formação Botucatu e confluem com o rio Gravataí. A altitude média da Depressão Periférica é de 50m, tendo uma largura aproximada de 30Km. Morris classificou os sedimentos desta região como pertencentes à Série Passa Dois. GAMERMANN (1973) realizou novos estudos e verificou que estes sedimentos vermelhos são pertencentes à Formação Rosário do Sul.

Na região ao norte de Porto Alegre, os arenitos mais resistentes formam morros relativamente altos, mas as rochas da Formação Rosário do Sul são em geral facilmente erodíveis e, portanto, formam uma topografia com um relevo ondulado.

Segundo GAMERMANN (1973) os terrenos ocupados pela Formação Rosário do Sul formam colinas alongadas, geralmente com pequenas escarpas, sem grandes desníveis topográficos, dissecados por correntes secundárias que se encaixam às vezes profundamente. Estas formam pequenas planícies do tipo alveolar.

IV.3 - Clima

A área estudada está localizada na região climática denominada Depressão Central, com um clima do tipo subtropical ou virgiano, classificação baseada em Koeppen e adotada por MORENO (1961).

De acordo com os dados do Levantamento de Recursos Naturais (RADAMBRASIL-1986), a Depressão Central Gaúcha, posiciona-se em sua maior parte entre o Planalto Sul-Riograndense e Planalto das Araucárias. Esta depressão

apresenta-se balizada pelas isoterms de 13°C e 14°C (média anual). A temperatura média do mês mais frio (julho) fica entre 8°C e 9°C e a temperatura média no mês mais quente (janeiro) está compreendida entre 24°C e 25°C.

Os extremos térmicos anuais normais encontrados na área são de 31°C a 32°C, no mês mais quente, e 8°C a 9°C, no mês mais frio.

As precipitações pluviométricas atingem valores médios anuais entre 1400 e 1600mm.

IV.4 - Hidrografia

Parte da região situa-se na bacia hidrográfica do rio Jacuí, sendo este o maior curso d'água interno do Rio Grande do Sul, correndo de oeste para leste. O rio Caí corre do norte para o sul. Ambos tem baixo gradiente, com um curso em meandros e são marginados por amplas planícies de inundação.

O rio Gravataí corre do leste para oeste, entre as rochas cristalinas do maciço de Porto Alegre e os sedimentos gonduânicos. Forma ao leste uma grande planície de inundação, denominada de Banhado Grande.

Segundo KOPPE (1982) os recursos hídricos subterrâneos são bastante limitados, tendo em vista as características desfavoráveis dos sedimentos da Formação Rosário do Sul para fornecimento de água.

IV.5 - Cobertura vegetal

A vegetação da região é formada basicamente por campos, os quais apresentam cobertura em torno de 60% com composição

muito uniforme. São, portanto, formados essencialmente por pastagens.

Nas planícies de inundação dos rios Cai e Sinos, estas pastagens dão lugar à agricultura de culturas cíclicas. Em alguns locais dos municípios de Canoas e Cachoeirinha existem reflorestamentos de acácia e eucaliptos.

V. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E GEOLÓGICAS DOS PERFIS EM ESTUDO

São descritos, a seguir, os quatro perfis típicos estudados, com um levantamento das principais características morfológicas dos horizontes ou camadas que compõem o perfil.

As características mais importantes observadas foram a cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência, cimentação e concreções minerais. Estas características são descritas conforme LEMOS E SANTOS (1984) no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.

A identificação adotada para os perfis é a sugerida por DAVISON DIAS e MILITITSKY (1990), onde as letras iniciais maiúsculas correspondem a classificação pedológica, proseguindo com a identificação do substrato através de letras minúsculas (a-arenito, ag-argilito, s-siltito, etc..) e, entre parenteses, a identificação da formação geológica.

V.1 - Perfil 1 - Montenegro PVa(frs) - Podzólico Vermelho Amarelo substrato arenito

O perfil situa-se nas proximidades do Viaduto da Viação Férrea, no lado esquerdo da rodovia Tabai-Canoas, município de Montenegro. É um corte de aproximadamente 22m.

V.1.1 - Descrição morfológica

Verifica-se inicialmente um horizonte de 1m de espessura de material coluvial (horizonte A). Abaixo deste, com uma transição gradual (7.5 a 12.5cm), encontra-se o horizonte B. Este possui 2m de espessura, de cor vermelho amarelo, textura franco argilosa, estrutura em blocos subangulares e angulares de tamanho médio (2-5mm), grau de estrutura moderada e cerosidade abundante, consistência quando seca ligeiramente dura e quando úmida friável. A transição para um horizonte B gleizado (Bg) é gradual, possuindo este horizonte uma espessura de 3m, cor vermelho amarelo com manchas abundantes (>20%) de cor branca, tamanho pequeno a médio (<15mm) e contraste proeminente. Este horizonte possui uma estrutura em blocos subangulares e angulares de tamanho médio, grau de estrutura fraca a moderada, consistência quando seca ligeiramente dura e quando úmida muito friável. No campo ocorre no estado plástico e pegajoso.

A partir da profundidade de 6m, o perfil apresenta camadas estratificadas herdadas do material de origem. A primeira camada estende-se até os 9m, com textura franco, cor rosa, com manchas comuns (<20%), brancas, tamanho pequeno (<5mm) de contraste distinto. Esta camada apresenta uma estrutura maciça, moderada e de consistência quando seca dura e quando úmida friável.

A segunda camada estende-se de 9 a 11m, com textura franco arenosa, cor roxa com manchas comuns, de cor branca, pequenas e contraste distinto. Possui a mesma estrutura e consistência da camada sobrejacente.

A terceira camada estende-se de 11 a 14m, com textura franco arenosa, cor amarelo acinzentado com manchas comuns, de cor branca, pequenas e contraste de difuso a distinto. Possui a mesma estrutura das camadas sobrejacentes, mas possui consistência dura quando seca e friável quando úmido.

A quarta camada ocorre de 14 a 18m, tendo textura franco arenosa, cor vermelho acinzentado com poucas manchas

(<2%), de cor bruno acinzentado, pequenas e com contraste distinto. A estrutura e consistência são as mesmas da segunda camada.

De 18 a 19.5m, encontra-se a quinta camada de espessura de 1.5m, com uma textura franco siltosa, cor vermelho escuro acinzentado, manchas abundante, variegado, tamanho médio a grande e com contraste proeminente. Apresenta concreções de minerais dispersos na massa, com uma estrutura, aparentemente, maciça, mas muito porosa. Esta camada possui uma consistência dura quando seca e firme quando úmida. Observa-se a surgência de água.

Na profundidade de 19.5m encontra-se um material com características semelhantes a uma rocha sã, de textura franco arenosa, cor roxa, apresentando poucas manchas, brancas, pequenas e contraste difuso. Este material possui uma estrutura maciça, moderada com consistência dura quando seca e friável quando úmida.

Este perfil de solo foi classificado como Podzólico Vermelho Amarelo, com um horizonte B textural e gleizado. O substrato é constituído de arenito, como mostra a foto V.1.1.1.

V.1.2 - Descrição geológica

O perfil é formado basicamente por arenitos arcoseanos, tabulares, com estratificação plano paralela. Por vezes ocorrem camadas silticas. Um esquema simplificado deste perfil está representado na figura VI.1.2.1 .

A camada de base, a 20m de profundidade, é constituída por arenitos arcoseanos, de granulação média a fina, de cor roxa, apresentando grãos subangulares a subarredondados.

A camada sotaposta apresenta um enriquecimento em materiais de granulação fina, indicando uma possível mudança no



FOTO V.1.1.1 - Perfil 1 - Montenegro PVa(drs), localizado nas proximidades do viaduto da Viação Férrea (BR-386)

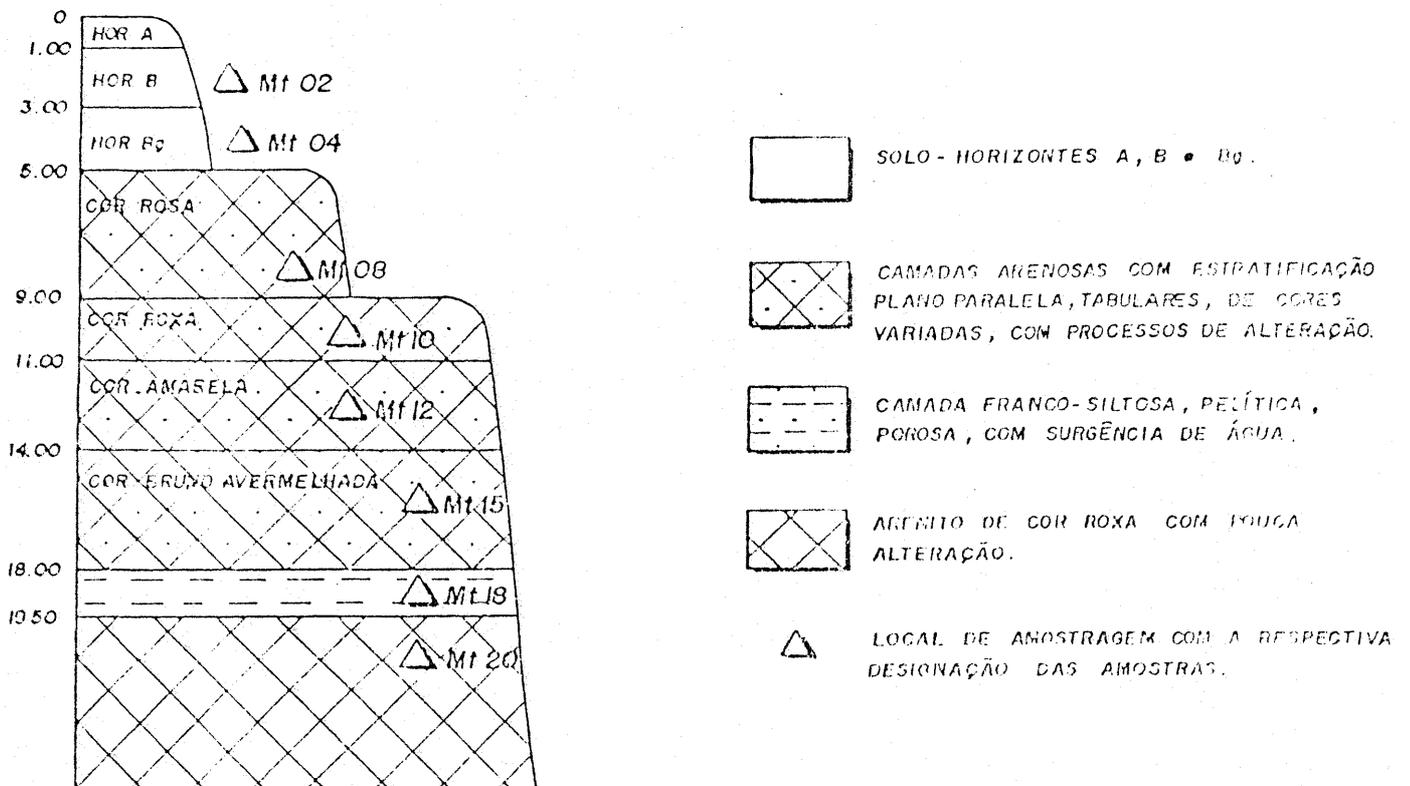


FIGURA V.1.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - perfil 1 - Montenegro PVa(drs)

processo de sedimentação. Ocorrem concreções de óxidos de ferro e manganês, tendo uma coloração que varia de rosa a vermelho.

As demais camadas em direção ao topo são formadas por arenitos arcoseanos de granulação média a fina com grãos subangulares a subarredondados. Estas camadas apresentam uma descoloração típica pela perda ou redução do óxido de ferro, preferencialmente ao longo das fraturas. A exceção é a camada amostrada a 12m de profundidade (Mt12), a qual apresenta em toda sua extensão uma coloração amarela pela provável redução do óxido de ferro.

No topo do perfil foi possível identificar fraturas onde predominam as seguintes atitudes : (065,84SE), (265,82NW) e (154,78SW). O primeiro valor, entre parentêses, representa a direção do fraturamento (em relação a um plano horizontal) e o segundo é o seu mergulho (perpendicular a este plano horizontal; orientação).

V.2 - Perfil 2 - Gravataí PEa(frs) - Podzólico Vermelho Escuro substrato arenito

O perfil situa-se em uma estrada secundária nos arredores do Distrito Costa do Ipiranga. Este distrito localiza-se no município de Gravataí, próximo da zona de transição entre as Formações Rosário do Sul e Botucatu.

V.2.1 - Descrição morfológica

É um perfil raso, constituído por um horizonte A de 50cm de espessura, textura franco arenosa, cor marrom avermelhado escuro, não plástico. Abaixo deste, com uma transição difusa, encontra-se um horizonte E de aproximadamente 20cm. Através de uma transição gradual, este horizonte passa para um horizonte B textural (Bt), de textura franco argilosa/argilo arenosa, cor bruno avermelhado, com muito

poucas concreções ferruginosas (<2%). O horizonte Bt possui uma estrutura subangular e angular, média, moderada e com cerosidade abundante.

Devido as características acima descritas, classifica-se este perfil como sendo um Podzólico Vermelho Escuro, com a sequência de horizontes A, E, Bt.

V.2.2 - Descrição geológica

Como neste perfil não se visualizou o substrato, este foi inferido através de mapas geológicos e topográficos. Foi considerado como sendo arenito pertencente à Formação Rosário do Sul.

V.3 - Perfil 3 - Canoas PEagfrs) - Podzólico Vermelho Escuro substrato argilito

O perfil dista a 4Km da ponte sobre o rio dos Sinos, no lado direito da Rodovia Tabai-Canoas, no município de Canoas.

V.3.1 - Descrição morfológica

Este perfil é constituído por um horizonte coluvionar de 50cm, cor marrom, textura franco arenosa, sendo classificado como horizonte A.

Abaixo deste com uma transição clara (2.5 a 7.5cm), encontra-se o horizonte B, de textura franco argilosa, cor vermelho escuro com concreções ferruginosas frequentes (15 a 40% do volume), de tamanho média (<1cm), duras, de cor marrom e com contraste difuso. Este horizonte possui uma estrutura em blocos subangulares e angulares, médio (2 a 5mm de diâmetro), moderada e, cerosidade abundante. Quando seco possui uma consistência muito firme e quando úmido firme.

A partir dos 4m verifica-se a presença das camadas estratificadas herdadas do material de origem. Na transição do horizonte B para C , há uma deposição de aproximadamente 20cm de camada pelítica argilo siltosa, cor roxa, com estrutura laminar. Esta camada tem uma consistência quando seca muito firme e quando úmida firme.

A partir desta camada pelítica encontra-se outra camada mais espessa, de textura franco argilosa, cor rosa, estrutura aparentemente laminar , muito fina, moderada e de consistência dura quando seca e friável quando úmida.

Este perfil foi classificado como Podzólico Vermelho Escuro. O horizonte B textural não é tão pronunciado como os anteriores, o substrato é argilito. A foto V.3.1.1 representa este perfil.

V.3.2 - Descrição geológica

Como o perfil está praticamente recoberto , não foi possível identificar um padrão de fraturamento. Entretanto, visualiza-se na sua parte basal um certo acamadamento. Devido à pouca extensão lateral e vertical do perfil, foi possível apenas a identificação de camadas silticas com estrutura laminar de coloração, por vezes, avermelhada. Devido a processos de descoloração, principalmente no topo das camadas, estas apresentam-se esbranquiçadas. Estas camadas foram classificadas segundo M.D. PICARD, em função da granulometria, como um argilito siltico. Neste perfil ocorre, predominantemente, camadas com uma síttil laminação plano paralela, de cor rosa, granulação bem fina e rico em material pelítico, classificadas como um argilito arenoso. Um esquema simplificado deste perfil pode ser visto na figura V.3.2.1 .

V.4 - Perfil 4 - Canoas Ra,s(frs) - Litóxico de arenito e siltito



FOTO V.3.1.1 - Perfil 3 - Canoas PEag(fre), localizado a 4Km da ponte sobre o rio dos Sinos (BR-386)

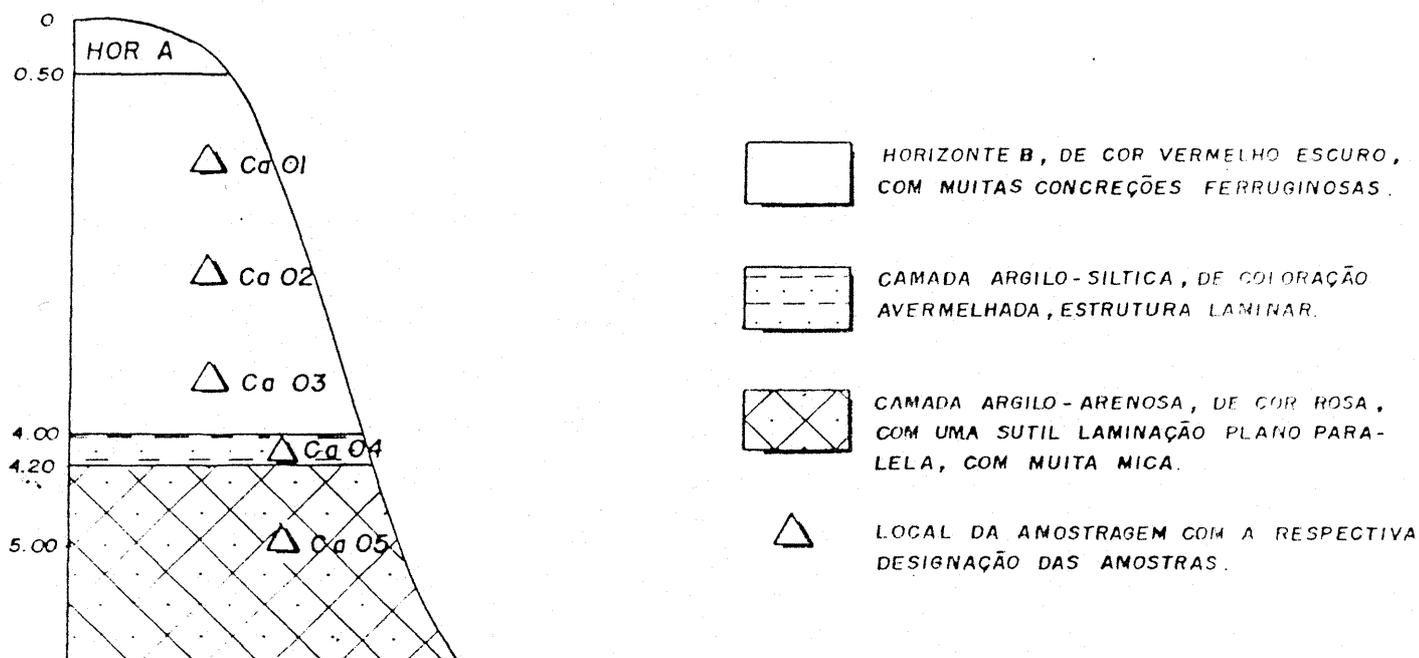


FIGURA V.3.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - perfil 3 - Canoas PEag(fre)

Este perfil dista 6Km da ponte sobre o rio dos Sinos, no lado esquerdo da rodovia Tabai-Canoas, no município de Canoas.

V.4.1 - Descrição morfológica

O perfil é constituído por um depósito de terraço de aproximadamente 5m, cor marron avermelhado, de textura franco arenosa. Nos últimos 3m deste terraço ocorre uma camada de seixos alterados de 2 a 30cm de diâmetro.

Através de uma transição gradual passa-se para uma camada de 2m de espessura, textura franco arenosa, cor bruno avermelhado, estrutura granular, muito pequena, fraca. Esta camada possui consistência quando seca friável e quando úmida muito friável.

Abaixo desta camada encontra-se uma camada que se estende dos 7 aos 15m, com textura franco arenosa, cor rosa, estrutura maciça, moderada, consistência quando seca firme e quando úmida friável. Apresenta-se bastante alterada, com muitas fraturas. Nas fraturas ocorrem materiais argilosos de alta plasticidade. No interior desta camada, na profundidade de 12m, ocorre uma camada de 50cm de espessura de um material de textura franco arenosa, extremamente fino, cor esbranquiçado.

A partir dos 15m encontra-se um camada pelítica de textura franco siltosa, cor roxa, estrutura laminar, muito fina. Possui uma consistência quando seca extremamente firme e quando úmida muito firme. Observa-se, dispersas na massa do solo, pequenas partículas de muscovita.

Este perfil é caracterizado por solos rasos, pouco evoluídos. É caracterizado por uma sequência de horizontes A, C, R. Portanto, classificado como Litólico.(foto V.4.1.1)

V.4.2 - Descrição geológica



FOTO V.4.1.1 - Perfil 4 - Canoas Ra, s(dre), localizado a 6Km da ponte sobre o rio dos Sinos (BR-386)

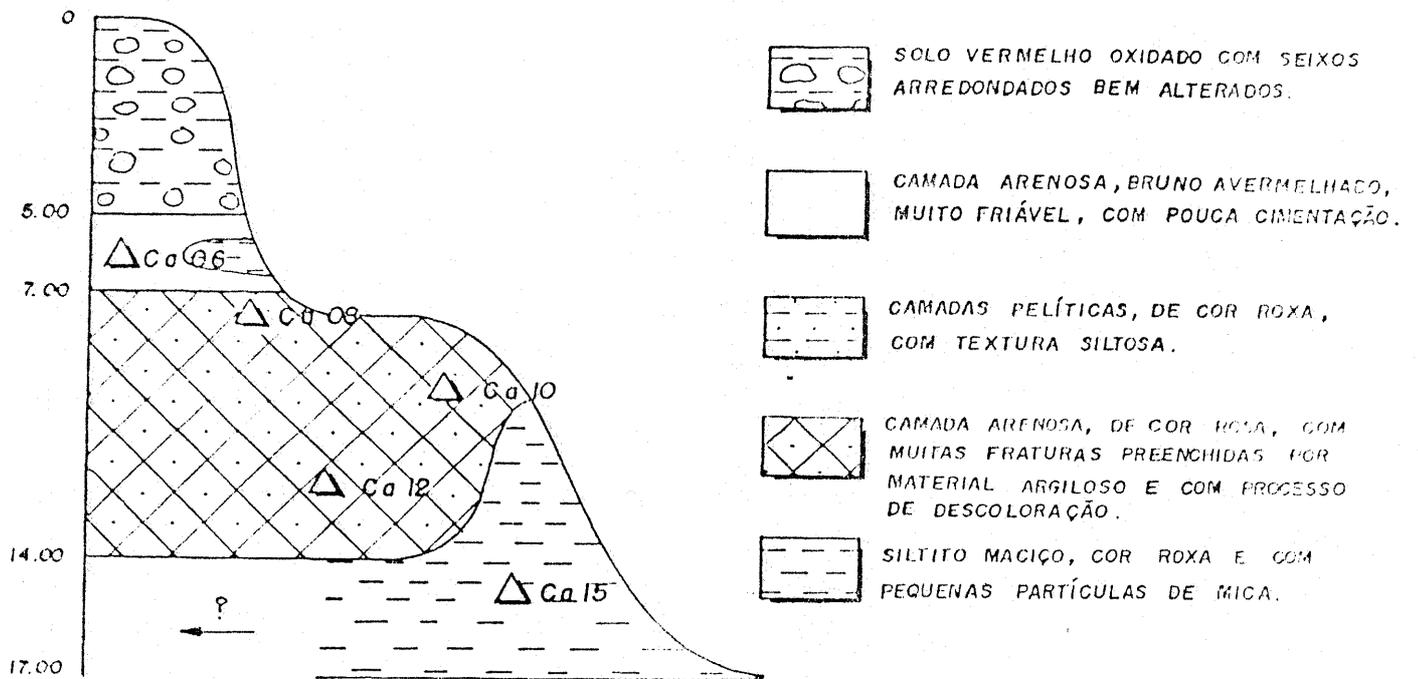


FIGURA V.4.2.1 - Esquema simplificado com a disposição das camadas e profundidades amostradas - perfil 4 - Canoas Ra, s(dre)



FOTO V.4.2.2 - Padrão de fraturamento com processos de intemperização ao longo das fraturas no arenito (perfil 4)



FOTO V.4.2.3 - Camada de siltito situado na parte basal do perfil, submetido aos processos de intemperismo

O perfil é formada por arenitos arcoseanos de coloração rosa, com estratificação plano paralela, e acamadamento de atitude (192,02NW). Os grãos são subangulares a subarredondados, de granulação média a fina. Ocorre um processo de descoloração, talvez uma caulínização do feldspato, ao longo do fraturamento. É comum a presença de mica, principalmente, muscovita. Um esquema simplificado do perfil está representado na figura V.4.2.1. A foto V.4.2.1 apresenta as camadas arenosas de cor rosa típicas da Formação Rosário do Sul.

O padrão de fraturamento pode ser visto na foto V.4.2.2, sendo as atitudes deste padrão (184,80NW), (231,84NW), (288,85NE) e (356,84NE).

Cunhas silticas de cor roxa são muito frequentes, mas possuem pequenas extensões laterais.

Na parte mais basal do perfil, identificou-se uma camada de siltito maciço, de cor roxa e com quantidades apreciáveis de muscovita. Este camada pode ser vista mais detalhadamente na foto V.4.2.3 .

No topo do perfil, observa-se a existência de um solo vermelho oxidado de 5m de espessura, com a presença de seixos arredondados e bem alterados, possivelmente oriundos de alteração dos basaltos.

VI. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A pesquisa baseou-se na análise de quatro perfis cuja descrição morfológica e geológica foi apresentada no capítulo anterior. Esta descrição foi feita através de métodos táteis e visuais. Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização e de comportamento geotécnico. Foram realizados os seguintes ensaios:

ENSAIOS	Nº. AMOSTRAS
granulometria	25
peso específico real dos grãos	21
limite de liquidez	21
limite de plasticidade	21
compactação	12
difratogramétricos	9
expansão na célula de adensamento	4
permeabilidade	6
compressão confinada - umidade natural e inundada	34
cisalhamento direto - umidade natural e inundada	132
triaxial	10
compressão simples	14

A tabela VI.1 apresenta a localização, classificação pedológica, classificação geotécnica, profundidade de amostragem e notação adotada para identificar as amostras dos quatro perfis típicos estudados.

VI.1 - Ensaio de caracterização

PERFIL	LOCALIDADE	PROF. m	DESIGN. AMOSTRAS	HORIZONTE	CLASSIFIC. PEDOLOGICA	CLASSIFIC. GEOTECNICA
1	MONTENEGRO	2	Mt02	B	PV	PVa(frs)
		4	Mt04	Bg		
		8	Mt08	C		
		10	Mt10	Cir		
		12	Mt12	Cir		
		15	Mt15	Cir		
		18	Mt18	C		
20	Mt20	R				
2	GRAVATAI	0.5	Gr00	A	PE	PEa(frs)
		1	Gr01	B		
		2	Gr02	B		
3	CANOAS	1	Ca01	B	PE	PEag(frs)
		2	Ca02	Bcn		
		3	Ca03	Bcn		
		4	Ca04	C		
		5	Ca05	C		
4	CANOAS	6	Ca06	C	R	Ra,s(frs)
		8	Ca08	C		
		10	Ca10	C		
		12	Ca12	C		
		15	Ca15	R		

A - horizonte em que ocorre acúmulo de matéria orgânica adjacente a superfície

B - horizonte caracterizado por apresentar concentrações iluviais de argila (B textural), sesquióxidos de Fe e Al

Bg - designação de horizonte que indicam intensa redução de ferro durante o desenvolvimento do solo

Bcn - designação que indica acumulação de concreções ou nódulos duros não concrecionados enriquecidos em sesquióxidos com ou sem fósforo

C - Horizonte constituído por material que possui alguma consolidação, com características do material de origem

R - representa a rocha inalterada

PV - Podzólico Vermelho Amarelo

PE - Podzólico Vermelho Escuro

a - substrato arenito

ag - substrato argilito

s - substrato siltito

TABELA VI.1 - Identificação e classificação dos perfis típicos com sua localização, profundidades amostradas e com a definição dos horizontes diagnósticos

Os ensaios de caracterização foram realizados em todos os perfis estudados ao longo da profundidade. Estes ensaios compreendem os de granulometria com defloculante, peso específico real dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade e compactação. Foram também coletadas amostras para determinação do teor de umidade no campo.

VI.1.1 - Granulometria

No ensaio granulométrico foi utilizado como defloculante, para evitar a floculação do material fino, o hexametáfosfato de sódio. As amostras foram preparadas por via seca.

Os resultados dos ensaios estão representados na tabela VI.1.1.1 . Ao analisar esta tabela, verifica-se que no perfil 1 (PVA(fr_s)) os horizontes C e R, de um modo geral, apresentam porcentagens da fração areia fina sempre superiores a 50% . Valores mais próximos deste são encontrados em direção à superfície e valores superiores a 60% são encontrados nas camadas mais profundas. Há uma tendência de decréscimo da fração argila com a profundidade nas camadas arenosas. É muito comum encontrar camadas pelíticas intercaladas às arenosas , como ocorre neste perfil à profundidade de 18m. Tendo esta sofrido um acréscimo da fração silte e argila, fato este que diferencia esta camada das demais.

Ainda neste perfil, nas camadas situadas respectivamente aos 12 e 15m, observou-se que devido ao processo de sedimentação a primeira camada apresenta-se com uma menor cimentação e a segunda encontra-se mais cimentada e com uma maior quantidade da fração argila.

O horizonte C do perfil 3 (PEag(fr_s)) apresenta valores de fração argila significativos (>35%), sendo formado

basicamente por camadas argilo-siltosas e argilo-arenosas com uma tendência de aumento da fração areia fina com a profundidade.

No perfil 4 (Ra,s(frs)), verifica-se uma tendência de redução da fração areia fina e em contrapartida um aumento da fração silte com a profundidade. Este perfil é caracterizado pela existência de horizontes arenosos subjacentes a um horizonte siltico. Os horizontes arenosos são mais argilosos do que os do perfil 1.

PERFIL CLASSIFIC. PED./GEOT.	DESIG. AMOST.	HORIZONTE	PEDREG. %	AREIA GROSSA %	AREIA MEDIA %	AREIA FINA %	SILTE %	ARGILA %
1 PV PVa(frs)	Mt02	B	0	0	1	40	27	32
	Mt04		0	0	2	40	28	30
	Mt08	C	0	0	0	50	39	11
	Mt10		0	0	1	54	35	10
	Mt12		0	0	0	58	33	9
	Mt15		0	0	1	63	22	14
	Mt18		0	0	1	23	52	21
Mt20	R	0	0	1	62	30	7	
2 PE PEa(frs)	Gr00	A	0	0	2	70	25	3
	Gr01	B	0	0	4	36	22	38
	Gr02		0	0	3	41	20	36
3 PE PEag(frs)	Ca01	B	0	0	1	34	34	31
	Ca02		0	0	1	39	21	39
	Ca03		0	0	2	30	31	37
	Ca04	C	0	0	0	7	45	48
	Ca05		0	0	0	36	25	39
4 R Ra,s(frs)	Ca06	C	0	0	4	72	11	13
	Ca08		0	0	1	60	27	12
	Ca10		0	0	0	56	29	15
	Ca12		0	0	0	52	28	20
	Ca15	R	0	0	1	23	58	18

TABELA VI.1.1.1 - Apresentação dos resultados dos ensaios granulométricos com defloculante

É característico dos horizontes superficiais (hor. B) possuírem uma fração argila superior a 30%. O perfil classificado como Podzólico Vermelho Amarelo (perfil 1) é o menos argiloso, enquanto os horizontes classificados como Podzólico Vermelho Escuro (perfis 2 e 3) são mais argilosos, com valores superiores a 36%.

Nas figuras VI.1.1.1 , VI.1.1.2 , VI.1.1.3 e VI.1.1.4, estão representadas as curvas granulométricas dos quatro perfis. Observa-se a diferenciação das curvas entre os horizontes B, os horizontes C e R de arenitos, as camadas pelíticas e os siltitos.

VI.1.2 - Limites de Atterberg, índices físicos e atividade coloidal

A tabela VI.1.2.1 apresenta os valores dos limites de liquidez, plasticidade, índice de plasticidade, atividade coloidal, peso específico real dos grãos, peso específico natural e aparente seco, índice de vazios, porosidade, teor de umidade natural e grau de saturação.

Nos horizontes C de arenito, os valores obtidos de limite de liquidez variam de 34% a 47%, e o índice de plasticidade de 5% a 12% . Os valores mais elevados destes índices foram encontrados no perfil mais argiloso (perfil 4). Os valores discordantes dos acima mencionados foram encontrados, no perfil 1, aos 18m de profundidade. Esta camada é porosa, siltíca, com limite de plasticidade de 79% e índice de plasticidade de 23% . A outra camada discordante encontra-se a 6m de profundidade no perfil 4. Esta camada é muito friável e com pouca cimentação. Os valores de limite de liquidez são inferiores aos das outras camadas.

As amostras do horizonte C (perfil 3), que são argilo-siltosas e argilo-arenosas, apresentaram valores de

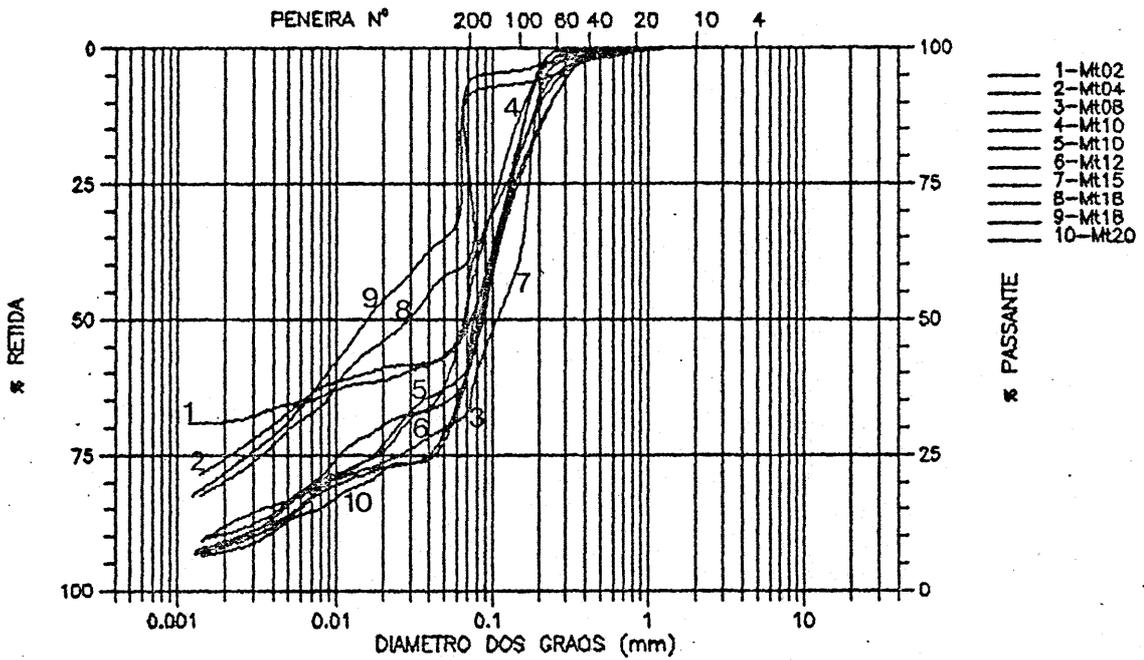


FIGURA VI.1.1.1 - Curvas granulométricas - perfil 1 - Montenegro PVA(frs)

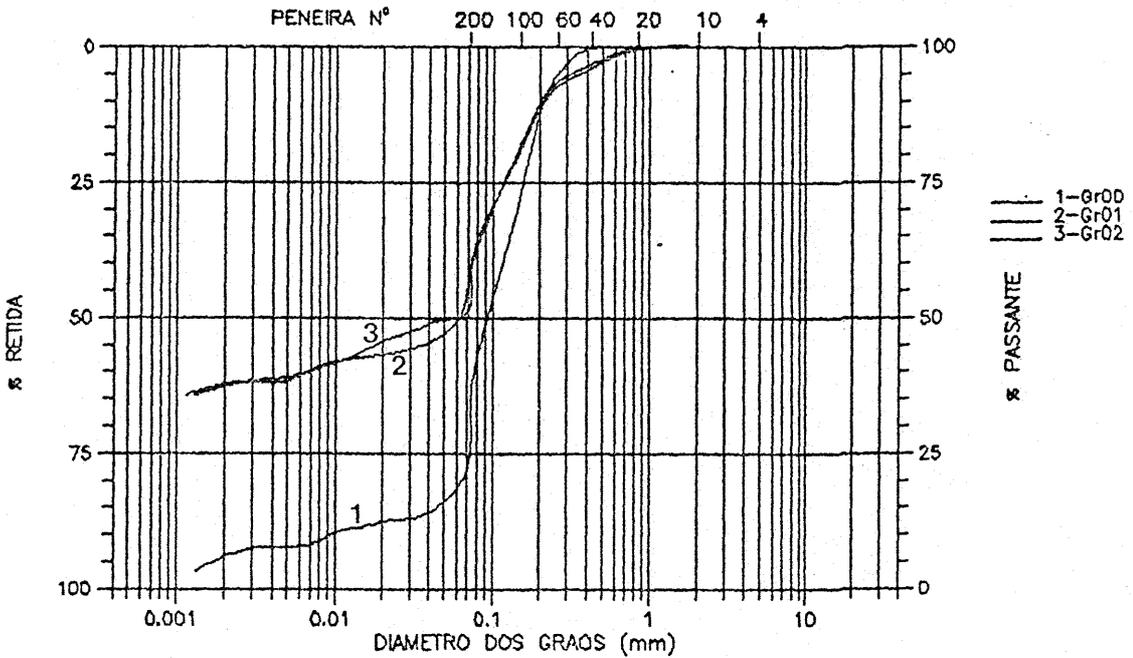


FIGURA VI.1.1.2 - Curvas granulométricas - perfil 2 - Gravataí PEa(frs)

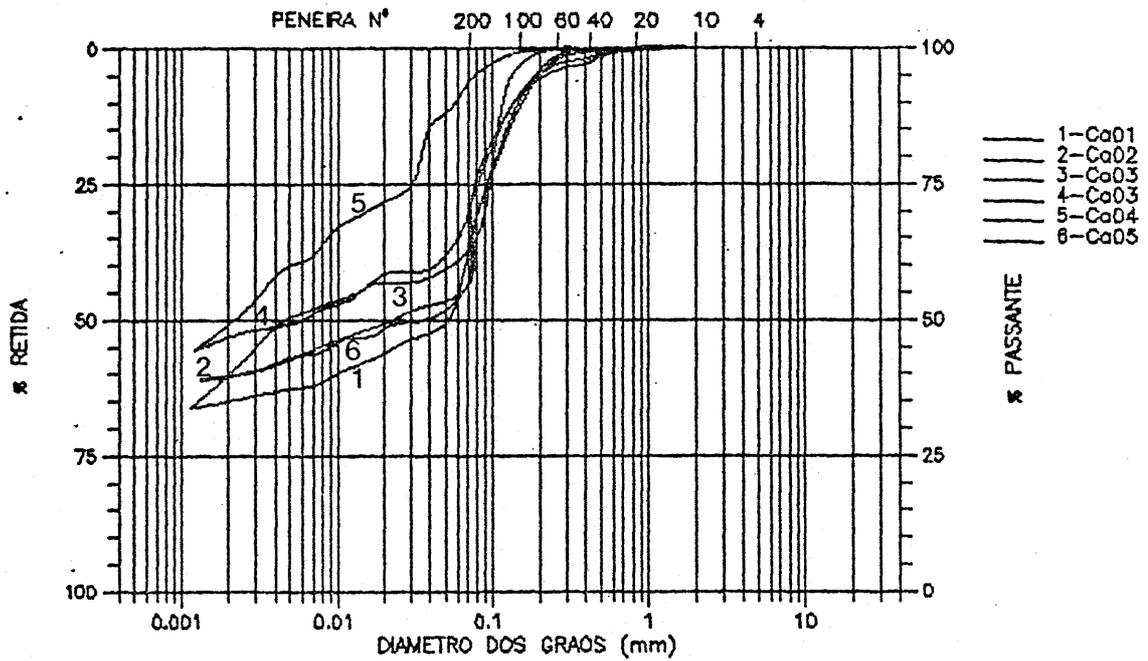


FIGURA VI.1.1.3 - Curvas granulométricas - perfil 3 - Canoas PEa(fre)

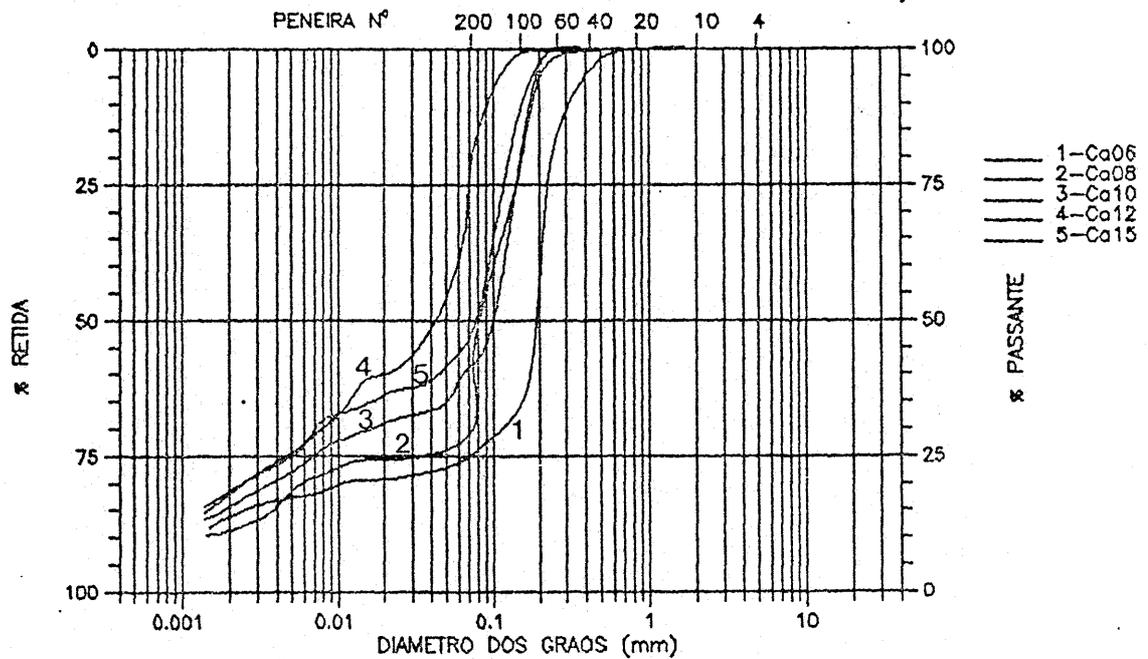


FIGURA VI.1.1.4 - Curvas granulométricas - perfil 4 - Canoas Ra, S(fre)

limite de liquidez e índice de plasticidade bem elevados, com valores respectivamente superiores a 55% e 35%.

As amostras mais consolidadas, classificadas como horizonte R, predominantemente arenitos (perfil 1 - 20m) possuem menor índice de plasticidade quando comparados com os siltitos (perfil 4 - 15m).

Os horizontes B apresentaram resultados semelhantes de índice de plasticidade entre si. O limite de liquidez varia de 31 a 47% e o índice de plasticidade de 9 a 22% .

Na figura VI.1.2.1 estão plotados os resultados dos índices de consistência no gráfico de Casagrande, junto com o gráfico da atividade coloidal de Skempton. Os resultados mostram que estes solos possuem baixa atividade coloidal, exceto os horizontes C argilosos e siltosos.

Verifica-se que os valores de índice de plasticidade obtidos para os solos e rochas da Formação Rosário do Sul na região em estudo são menores do que os descritos por KOPPE (1982) para a mesma formação no município de Triunfo. No entanto, estes valores são maiores do que os encontrados por CRUZ (1970) e PIMENTA et al. (1981) em arenitos de São Paulo e Paraná respectivamente. Estes resultados estão plotados na figura II.6.2.1. A variação dos limites de consistência, teor de umidade e grau de saturação ao longo do perfil podem ser vistos na figura VI.1.2.3.

Os valores de peso específico real dos grãos foram semelhantes. Nos horizontes C e R arenosos, estes valores variam entre 26.2 e 26.8kN/m³. Nos horizontes B variam de 26.1 a 26.8kN/m³. O valor que mais se afasta destes, 28.6kN/m³ corresponde à camada siltosa do perfil 1 a 18m de profundidade.

O peso específico natural varia de 16.50 a 19.52 kN/m³. Os valores mais próximos ao limite inferior foram encontrados no

PERFIL	IDESIG.	HORIZONTE	LIMITE	LIMITE	INDICE	ATIVID.	TEOR	P. ESP.	P. ESP.	P. ESP.	INDICE	POROSI.	GRAD.
CLASSIFIC.	IAKOST.		LIQUID	PLAST.	PLAST.	COLOID	UMID.	REAL GR.	NATURAL	SECO	DE	DADE	SATUR.
IPED./GEOT.			Z	Z	Z		Z	KN/m3	KN/m3	KN/m3	VAZIOS	Z	Z
	Mt02	B	47	25	22	0.69	12.3	26.8	-	-	-	-	-
	Mt04		46	28	18	0.61	24.5	26.7	19.03	15.22	0.748	42.7	87.6
1	Mt08		44	32	12	1.09	26.9	26.2	17.96	14.18	0.849	45.9	82.3
PV	Mt10		35	25	10	1.00	23.3	26.6	17.51	14.20	0.875	46.6	71.2
PVa(frs)	Mt12	C	37	25	12	1.33	24.6	26.8	17.22	14.06	0.955	45.2	69.2
	Mt15		34	29	5	0.35	22.0	26.3	18.95	15.54	0.692	40.9	83.6
	Mt18		79	56	23	0.96	56.8	28.6	16.60	10.59	1.701	63.0	95.5
	Mt20	R	32	23	9	1.28	24.6	26.3	19.52	15.67	0.677	40.4	95.4
2	Gr00	A	13	NP	-	-	15.7	26.2	16.50	14.27	0.837	45.5	49.1
PE	Gr01	B	31	19	12	0.32	20.4	26.1	18.51	15.38	0.700	41.1	76.3
PEa(frs)	Gr02		34	27	7	0.19	19.7	26.4	18.16	15.17	0.729	42.1	71.5
	Ca01		33	18	15	0.48	18.3	26.6	19.39	16.32	0.631	38.7	76.9
	Ca02	B	36	20	16	0.41	22.9	26.8	18.95	15.42	0.739	42.5	83.2
3	Ca03		46	37	9	0.24	20.5	26.3	19.27	15.99	0.645	39.1	84.3
PE	Ca04	C	64	18	46	0.96	21.2	26.3	-	-	-	-	-
PEag(frs)	Ca05		58	20	38	0.97	24.0	26.6	17.50	14.11	0.800	44.4	79.5
	Ca06		27	19	8	0.62	12.6	26.7	17.84	15.84	0.688	40.7	49.3
4	Ca08		45	23	22	1.83	24.1	26.2	18.73	15.05	0.743	42.6	85.3
R	Ca10	C	47	28	19	1.27	21.6	26.2	17.99	14.80	0.770	43.5	73.6
Ra,s(frs)	Ca12		44	24	20	1.00	22.5	26.4	17.95	14.65	0.802	44.5	79.1
	Ca15	R	59	28	22	1.22	28.7	26.7	18.31	14.45	0.879	46.7	87.3

TABELA VI.1.2.1 - Resumo dos valores obtidos nos ensaios de consistência e na determinação dos índices físicos para solos e rochas brandas da Formação Rosário do Sul

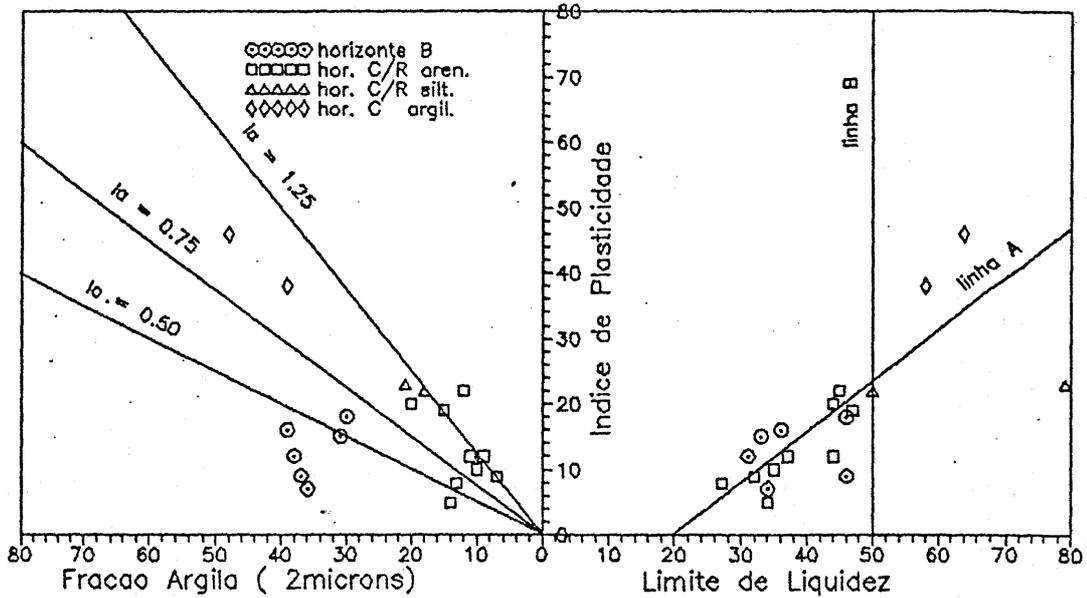


FIGURA VI.1.2.1 - Apresentação dos resultados de plasticidade no gráfico de Casagrande associado com o de atividade coloidal de Skempton

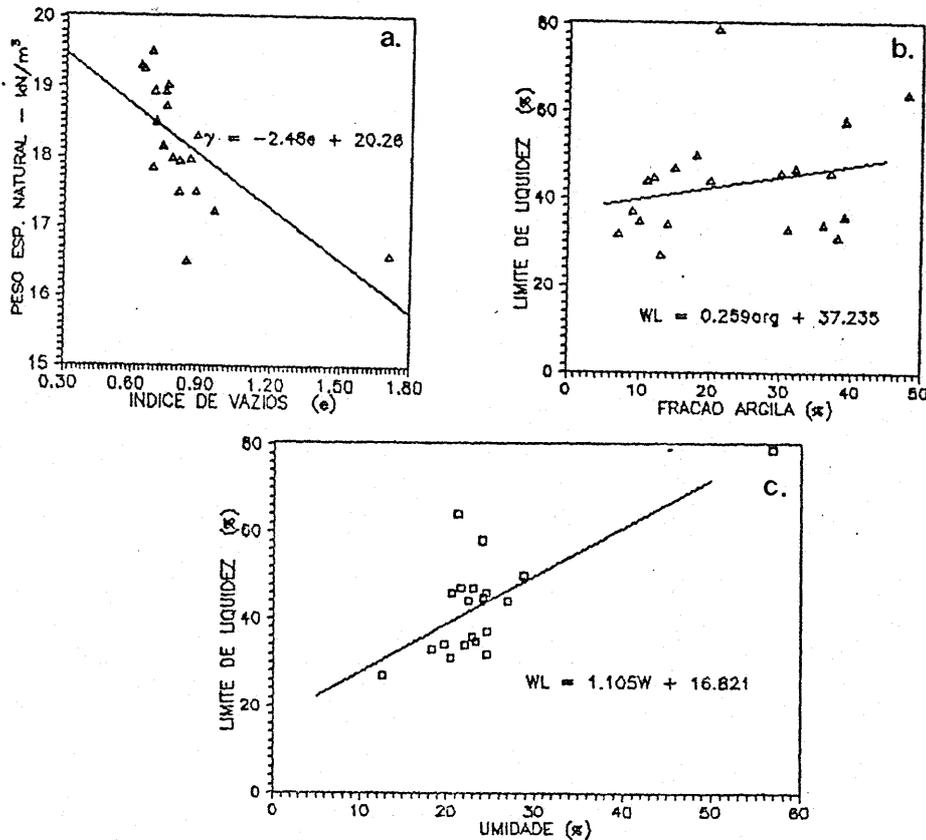


FIGURA VI.1.2.2 - Apresentação de algumas relações entre:
a. peso específico natural e índice de vazios
b. limite de liquidez e fração argila
c. limite de liquidez e teor de umidade natural

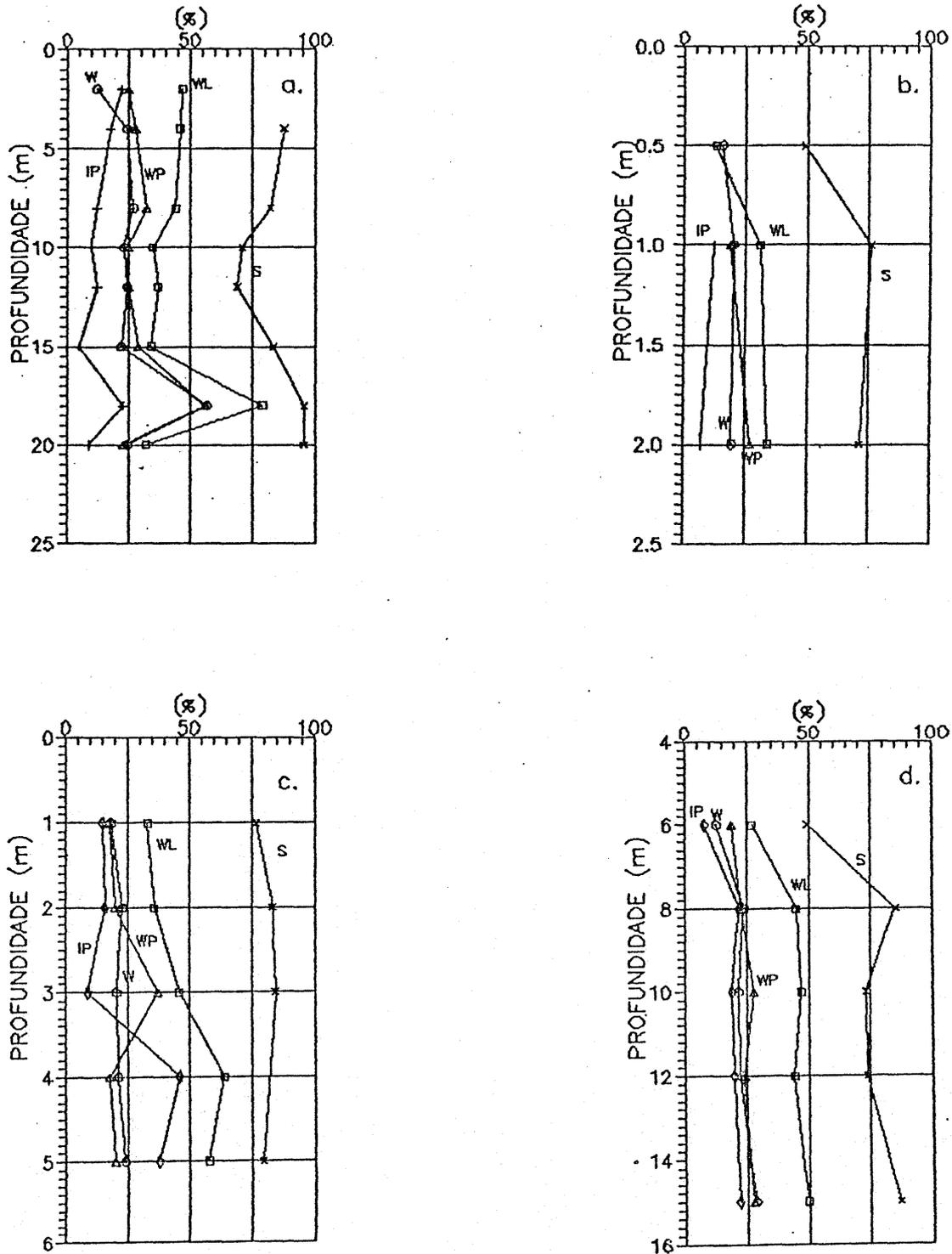


FIGURA VI.1.2.3 - Variação dos índices de consistência (limites de liquidez (WL), limites de plasticidade (WP) e índice de plasticidade (IP)), teor de umidade (W) e grau de saturação (S) com a profundidade

a. perfil 1 - Montenegro - PVA(fr_s)
 b. perfil 2 - Gravataí - PEa(fr_s)
 c. perfil 3 - Canoas - PEag(fr_s)
 d. perfil 4 - Canoas - Ra, S(fr_s)

horizonte A (perfil 2) e na camada porosa do perfil 1 (aos 18m). Valores intermediários, em torno de 18 kN/m^3 , foram encontrados nos horizontes C; exceto nas camadas onde ocorre acumulação de óxidos e argila, onde o peso específico chega a 19 kN/m^3 . Valores desta magnitude também são encontrados nos horizontes B, devido ao acúmulo de argila e à existência de concreções ferruginosas. Os valores mais elevados de peso específico foram encontrados nos horizontes mais consolidados de arenito.

De um modo geral, não há uma grande diferença no índice de vazios entre os horizontes. O índice de vazios varia de 0.63 a 0.96, onde os valores inferiores são dos horizontes mais consolidados, e os superiores das camadas que sofreram algum processo de eluviação. Valores da ordem de 1.70 só foram encontrados na camada pelítica do perfil 1 (aos 18m).

VI.1.3 - Classificação unificada e triangular

Pela classificação triangular, todas as amostras dos horizontes B possuem uma textura franco argilosa. São classificadas pela SUCS como solos argilosos-siltosos finos (ML e CL). De acordo com a HRB, onde os solos são reunidos por grupos e subgrupos em função da granulometria e plasticidade, estes solos foram classificados como solos argilosos finos, com o índice de grupo variando de 8 a 10. Estes solos tem, portanto, como característica para uso em pavimentação, uma condição regular à má de suporte.

A textura dos horizontes C arenosos varia de franco a franco arenoso. No entanto, estes horizontes diferem pela classificação da SUCS. Os horizontes C e R do perfil 1 são classificados como uma areia siltosa (SM). Já o mesmo horizonte do perfil 2, por ser mais argiloso, foi classificado como uma areia argilosa (SC). Ambos possuem uma condição de regular à boa para uso em pavimentação, com o índice de grupo variando de 0 a

6.

O horizonte C argiloso (perfil 3) possui uma textura argilo-arenosa à franco argilosa, sendo classificado de acordo com a SUCS como argilas de alta plasticidade (CH). Suas características de capacidade do subleito e classificação para uso em pavimentação são péssimas.

As camadas que diferem das acima descritas é a camada pelítica a 18m do perfil 1, franco siltosa e o horizonte R siltoso do perfil 4. Ambas são classificadas como siltes, limos, siltes elásticos e areias finas micáceas (MH). Possuem condições péssimas para o uso em pavimentação. A tabela VI.1.3.1 apresenta estas classificações de uma forma simplificada.

PERFIL CLASSIFIC. LOCALIDADE	DESIG. AMOST.	HORIZ.	SUCS	AASHO HRB	TRIANGULAR
1 PV PVa(frs) MONTENEGRO	Mt02	B	ML-CL	A-7-7(10)	fr. arg.
	Mt04		ML	A-7-6(9)	fr. arg.
	Mt08	C	ML	A-7-5(4)	fr.
	Mt10		SM	A-4(2)	fr.
	Mt12		SM	A-6(2)	fr. are.
	Mt15		SM	A-4(0)	fr. are.
	Mt18		MH	A-7-5(16)	fr. sil.
Mt20	R	SM	A-4(0)	fr. are.	
2 PE PEa(frs) GRAVATAI	Gr00	A	CL	A-2-4(0)	fr. arg. are.
	Gr01	B	CL	A-6(6)	fr. arg.
	Gr02		ML	A-4(4)	fr. arg.
3 PE PEag(frs) CANDAS	Ca01	B	CL	A-4(8)	fr. arg.
	Ca02		CL	A-6(9)	fr. arg.
	Ca03		ML	A-5(8)	fr. arg.
	Ca04	C	CH	A-7-6(20)	arg. silt.
	Ca05		CH	A-7-6(16)	fr. arg.
4 R Ra,s(frs) CANDAS	Ca06	C	SC	A-2-4(0)	fr. are.
	Ca08		SC	A-7-5(4)	fr. are.
	Ca10		SC	A-5(5)	fr. are.
	Ca12		SC	A-7-6(6)	fr.
	Ca15	R	MH	A-7-6(15)	fr. silt.

TABELA VI.1.3.1 - Classificação dos solos e rochas pelo sistema unificado (SUCS-AASHO/HRB) e pelo sistema triangular (textural)

VI.1.4 - Ensaio de compactação

Nas figuras VI.1.4.1 e VI.1.4.2 estão representadas as curvas de compactação, na energia Proctor normal, respectivamente dos horizontes B e C .

Os valores de peso específico aparente seco máximo (γ_d) e teor de umidade ótima (W_{ot}), obtidos destas curvas, estão apresentados na tabela VI.1.4.1 .

Nas amostras dos horizontes B foram obtidos valores γ_d entre 15.6 e 15.97 kN/m³ e W_{ot} entre 21.2 e 23.6%. Já o horizonte C apresentou valores de γ_d relativamente superiores, variando de 15.25 a 17.75 kN/m³ e valores de W_{ot} um pouco inferiores ao horizonte B. Os valores obtidos variam de 15.7 a 22.6% .

O comportamento encontrado para os horizontes arenosos da Formação Rosário do Sul difere em relação aos citados por CRUZ e CELERI (1970), VARGAS (1974) e PIMENTA et al. (1981). Estes arenitos apresentaram valores de peso específico bem mais elevados e teor de umidade menores. A figura VI.1.4.3 mostra este comportamento diferenciado.

VI.2 - Análise mineralógica

A análise mineralógica, com vistas ao estudo dos argilo-minerais, foi realizada na fração de solo com diâmetro inferior a 2 μ .

A tabela VI.2.1 apresenta os resultados em quantidades aproximadas da amostra (semiquantitativamente) ou em termos de frequência relativa.

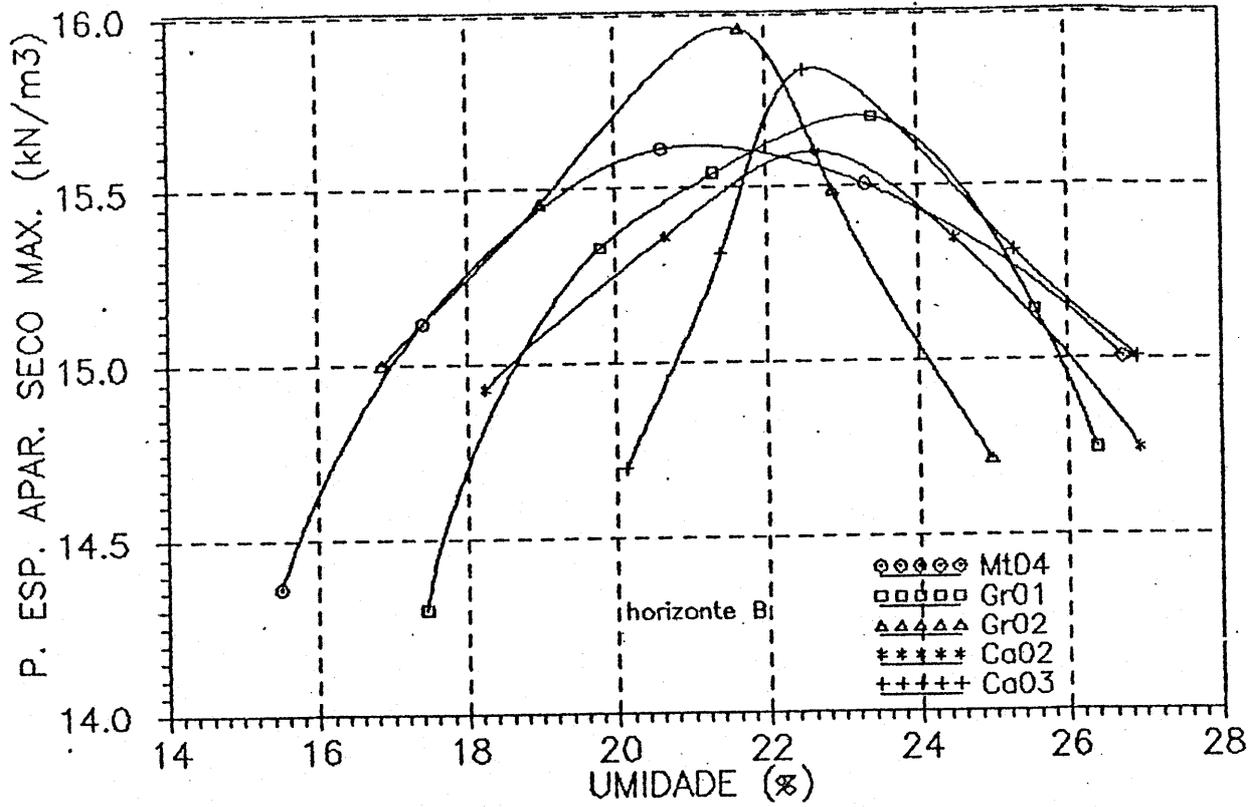


FIGURA IV.1.4.1 - Curvas de compactação (Proctor Normal) para os solos dos horizontes B

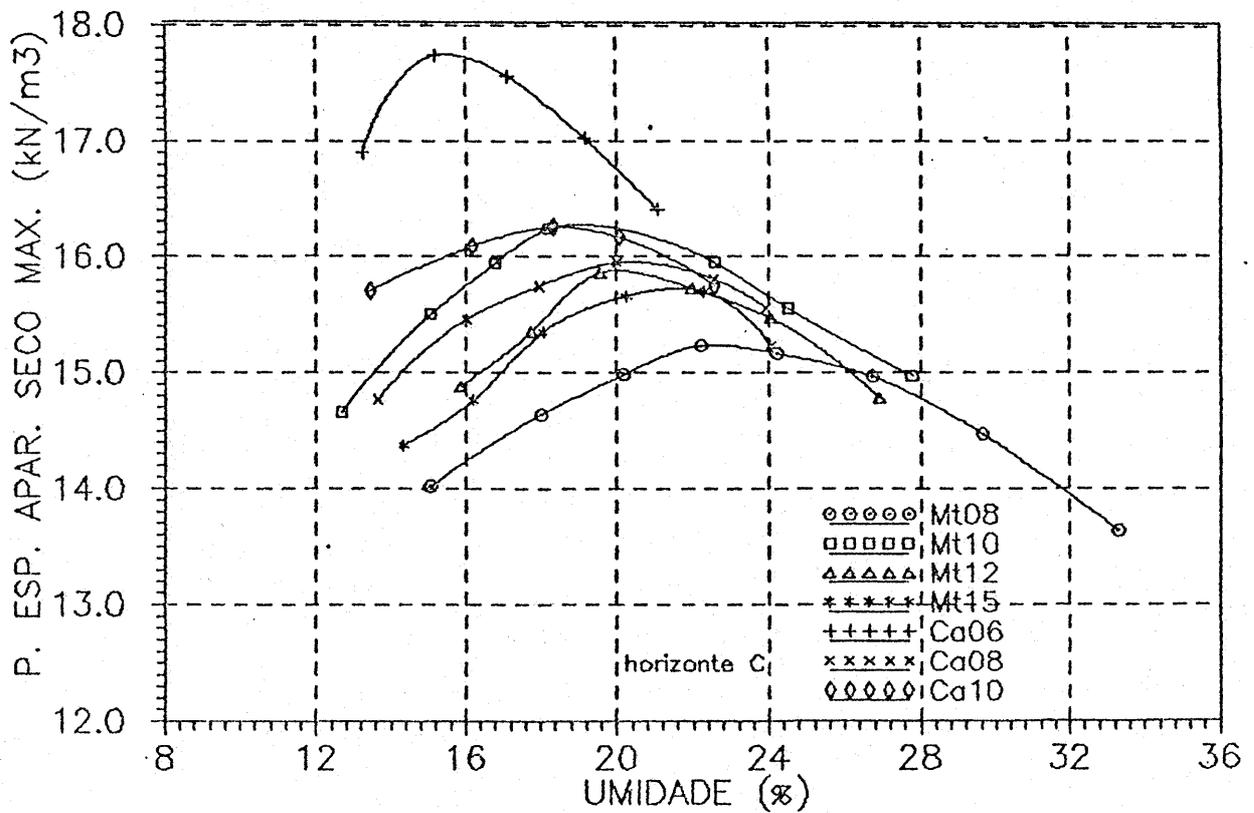


FIGURA VI.1.4.2 - Curvas de compactação (Proctor Normal) para os solos dos horizontes C

PERFIL	LOCALIDADE	DESIG. AMOST.	HOR.	PESO ESPECIFICO APAR. SECO MÁX. kN/m^3	UMIDADE ÓTIMA %
1 PVa(frs)	MONTENEGRO	Mt04	B	15.62	21.2
		Mt08		15.25	22.6
		Mt10	C	16.26	18.8
		Mt12		15.91	20.0
		Mt15		15.74	21.7
2 PEa(frs)	GRAVATAI	Gr01	B	15.72	23.6
		GR02		15.97	21.6
3 PEag(frs)	CANOAS	Ca02	B	15.60	22.6
		Ca03		15.85	22.6
4 Ra,s(frs)	CANOAS	Ca06		17.75	15.7
		Ca08	C	15.95	20.3
		Ca10		16.26	18.6

TABELA VI.1.4.1 - resultados obtidos no ensaio de compactação (Proctor Normal) nas amostras da Formação Rosário do Sul

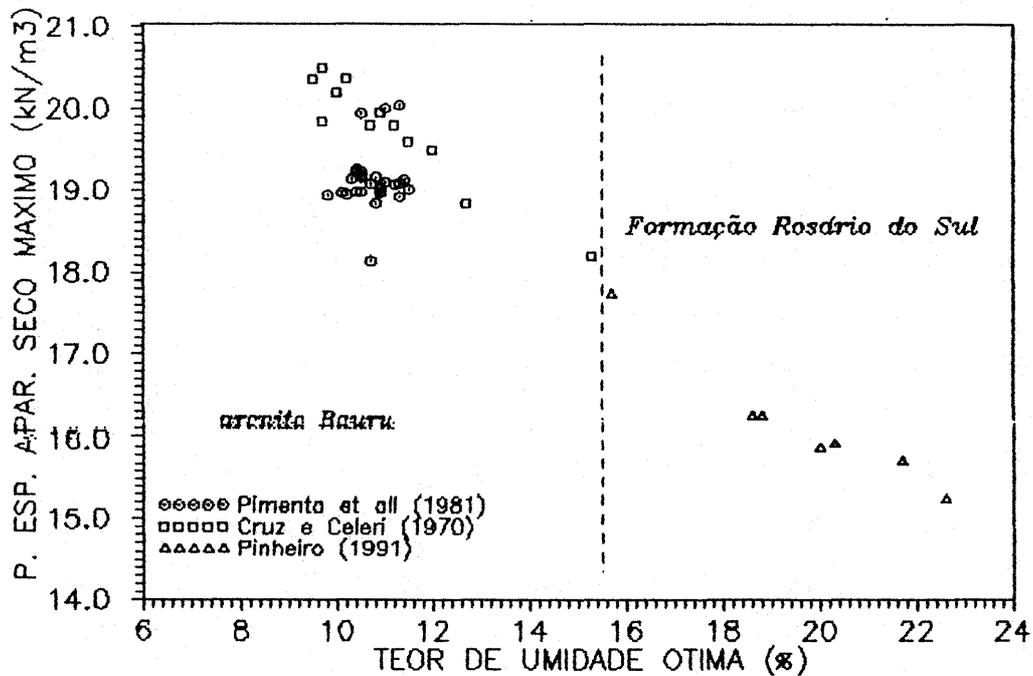


FIGURA VI.1.4.3 - gráfico comparativo entre os resultados obtidos nos horizontes arenosos da Formação Rosário do Sul e os apresentados por CRUZ e CELERI (1970) e PIMENTA et al. (1981)

PERFIL	DESIGN	HOR	C	S/M	MICA	Qtzo	F	H	G
1 PVa(frs)	Mt04	B	12.8	-	T	3.4	T	3.6	T
	Mt08	C	P	-	T	T	-	-	-
	Mt18	C	8.6	-	-	-	4.5	1.5	T
	Mt20	R	P	T	T	T	-	T	T
2 PEa(frs)	Gr01	B	P	T	-	T	-	-	-
3 PEag(frs)	Ca01	B	5.5	1.2	-	4.6	-	1	T
	Ca05	C	A	P	A	-	-	T	T
4 Ra,s(frs)	Ca10	C	4.6	8.8	0.6	1.7	-	0.9	T
	Ca15	R	7.2	T	1	6.1	-	1.8	T

C - caulinita

S/M - esmectita/montmorilonita

F - feldspato

H - hematita

G - gipsita

P - predominante

A - Abundante

T - traços

TABELA VI.2.1 - Resultados dos ensaios de difração de raios-x na fração fina (diâmetro inferior a 2μ)

As amostras do horizonte B apresentam caulinita como argilo-mineral predominante, com ocorrência constante de quartzo, óxidos de ferro (hematita) e óxidos de alumínio (gipsita).

Em geral, nos horizontes C de arenito, o argilo-mineral predominante é a caulinita, com traços de esmectita, mica, quartzo, óxidos de ferro e alumínio.

No perfil 4, o horizonte C de arenito apresenta como argilo-mineral dominante a montmorilonita e, secundariamente, caulinita. Este perfil é mais argiloso, com ocorrência de várias camadas pelíticas. Quartzo, mica e óxidos aparecem apenas como

traços.

As amostras de siltito e arenito (perfil 4 - Ca15 e perfil 1 - Mt20) apresentam caulinita como argilo-mineral predominante, com ocorrência significativa de quartzo e óxidos de ferro e alumínio. Argilas expansivas aparecem apenas como traços.

VI.3 - Permeabilidade

A Formação na área de estudo, como mostram os resultados, apresenta simplificadaamente três comportamentos distintos quando à permeabilidade.

Os horizontes C e R arenosos possuem valores de coeficiente de permeabilidade em torno de 10^{-6} cm/s. No entanto para o horizonte R, formado por siltito, o valor do coeficiente de permeabilidade obtido foi em torno de 10^{-7} cm/s .

Verificou-se que no horizonte B, devido as partículas argilosas estarem unidas em forma de grumos, estas possuem uma porosidade aparente maior. O valor do coeficiente de permeabilidade é mais elevado, em torno de 10^{-5} cm/s .

A tabela VI.3.1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade em função da tensão de confinamento. Percebe-se o efeito do acréscimo de tensões nos valores medidos em ensaios triaxiais, ocasionando o decréscimo do coeficiente de permeabilidade com o aumento da tensão confinante, característica esta estudada por MEDINA e LIU (1982). A figura VI.3.1 apresenta os resultados em forma de gráfico.

Os resultados encontrados para os horizontes arenosos dão uma característica menos permeável a esta formação, quando comparados com o resultados apresentados por DOBEREINER e FREITAS (1986), para arenitos brandos de várias localidades do

mundo (como está representado na tabela II.7.1.1).

Esta menor permeabilidade pode ser ocasionada pela maior quantidade da fração argila existente nesta formação, mas esta maior quantidade dificilmente dificultaria o fluxo de água. Admite-se que o principal fator seria a cimentação destes arenitos, supostamente por óxidos de ferro.

Tensão confinamento (kN/m ²)	PERFIL 1 PVa(frs)			PERFIL 2 PEa(frs)	PERFIL 4 Ra,s(frs)	
	hor. C	hor. C	R	hor. B	hor. C	R
	Mt08	Mt18	Mt20	Gr01	Ca10	Ca15
0	-	-	1.910E-05	8.246E-05	-	3.085E-07
50	-	2.656E-05	6.576E-06	-	-	1.941E-07
100	5.850E-06	1.789E-05	5.504E-06	4.164E-05	5.530E-06	1.654E-07
200	6.524E-06	9.738E-06	2.687E-06	2.910E-05	4.447E-06	1.615E-07
300	6.494E-06	7.583E-06	3.254E-06	2.562E-05	3.448E-06	1.337E-07
400	-	5.912E-06	-	-	-	-

TABELA VI.3.1 - Valores obtidos do coeficiente de permeabilidade (cm/s) em função da tensão de confinamento

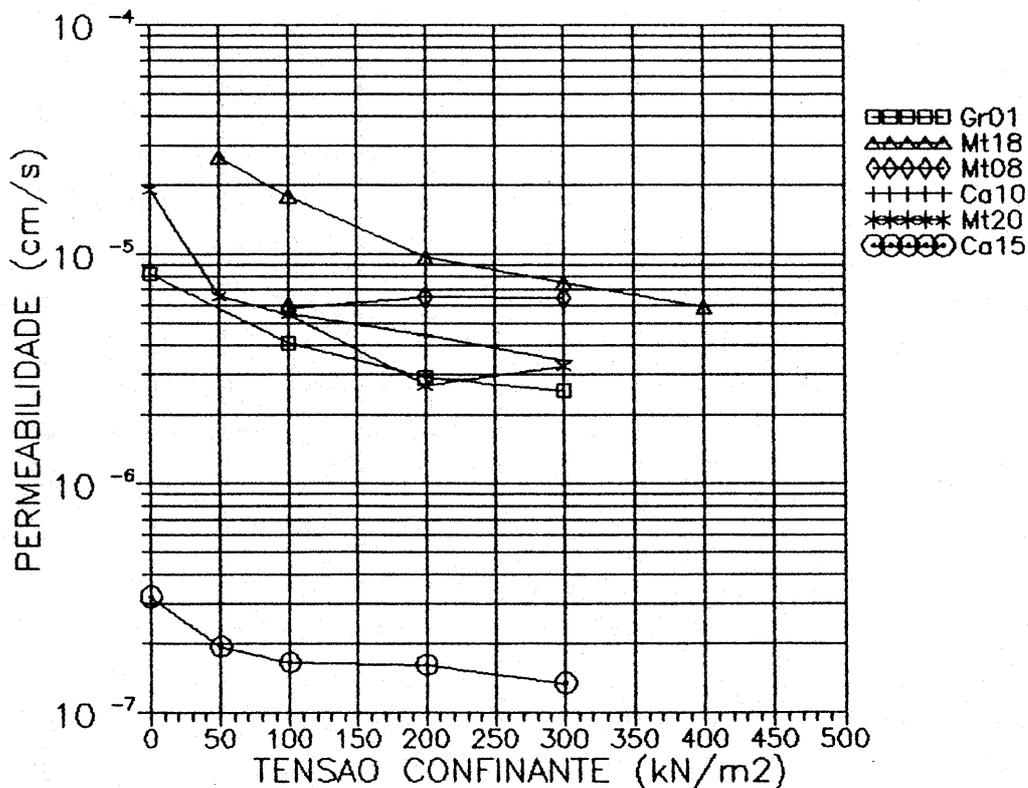


FIGURA VI.3.1 - Resultados do coeficiente de permeabilidade em função da tensão de confinamento em ensaios triaxiais

CAMPOS (1981) ao estudar o comportamento do arenito Caiuá, obteve valores de coeficiente de permeabilidade variando de 3×10^{-6} a 1.7×10^{-8} cm/s. Estes valores foram justificados pela presença do cimento limonítico e carbonático neste arenito.

VI.4 - Expansão

Os ensaio de expansão, na célula de adensamento, foram realizados em amostras das quais se esperava um caráter expansivo. Este comportamento foi observado principalmente no campo e depois confirmado através dos ensaios de consistência e difratogramétrico.

Verificou-se que os ensaios na umidade natural não apresentaram valores de expansão significativos, pois grande parte das amostras apresentaram grau de saturação bem elevado. Posteriormente, simulou-se uma perda de umidade nas amostras, deixando-as secar durante 5 dias. Após este período as amostras foram inundadas, medindo-se o inchamento provocado pela água. Depois de estabilizar-se a deformação, foram colocados pesos para que o corpo de prova voltasse a sua altura original. Os resultados dos ensaios estão representados na figura VI.4.1.

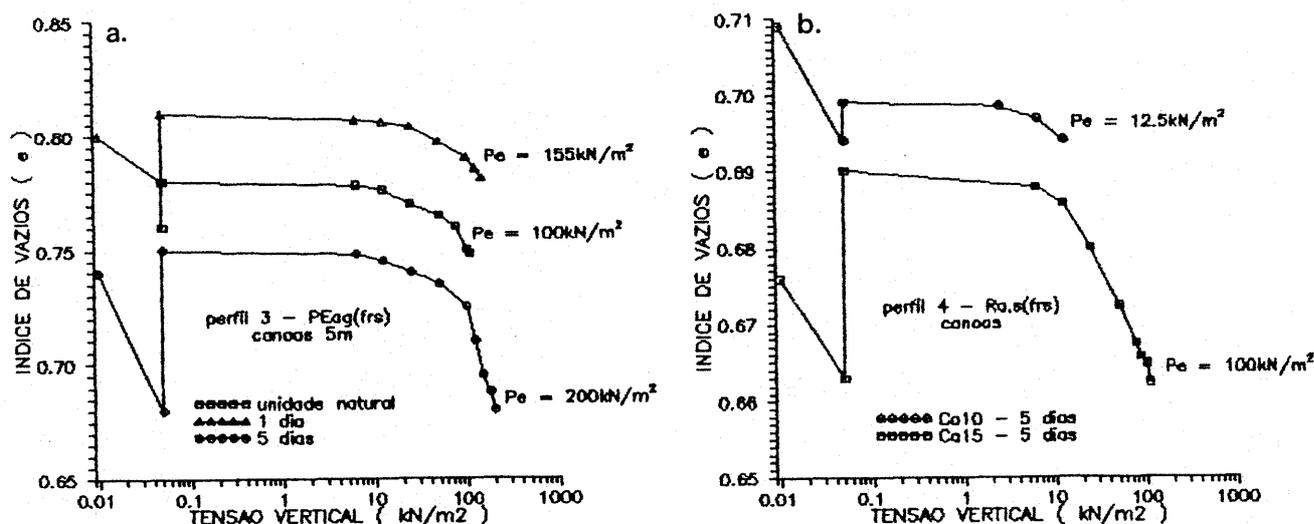


FIGURA VI.4.1 - Resultados dos ensaios de expansão na célula de adensamento

a. amostras do perfil 3 - Canoas - PVA(fr)

b. amostras do perfil 4 - Canoas - Ra,s(fr)

Conclui-se que, nos horizontes C arenosos, a pressão de expansão não é significativa, tendo como valores máximos 12.5kN/m^2 (0.125 kg/cm^2). No entanto, os horizontes C argilosos apresentaram valores de pressão de expansão da ordem de 200kN/m^2 (2kg/cm^2). Nas camadas siltosas, verificou-se um comportamento intermediário, com valores de pressão de expansão em torno de 100kN/m^2 (1kg/cm^2).

VI.5 - Compressibilidade

A tabela VI.5.1 apresenta os resultados dos ensaios de compressão confinada, com parâmetros de compressibilidade obtidos em corpos de prova na umidade natural e inundado.

Nas figuras VI.5.1, VI.5.2, VI.5.3 e VI.5.4, estão representadas as curvas índice de vazios e deformação por logaritmo da pressão vertical. A figura VI.5.5 mostra uma certa tendência de aumento da compressibilidade com o índice de vazios.

Verifica-se que os parâmetros de compressibilidade para os horizontes B não sofrem uma grande variação. O índice de compressão (C_c) e a pressão de pré-adensamento não são muito influenciados pela inundação; esta última sofre reduções em média de 10% do seu valor. Os valores de pressão de pré-adensamento das amostras no estado natural variam de 260 a 385kN/m^2 , com um valor médio de 346kN/m^2 . Quando o corpo de prova é inundado, estes valores variam de 240 a 385 kN/m^2 , com um valor médio de 314 kN/m^2 .

Entre os horizontes B, os de menor compressibilidade e que também sofrem uma menor influência do processo de inundação são os que possuem concreções ferruginosas (perfil 3). Verifica-se que a deformação máxima tanto para amostra natural como inundada está em torno de 10%.

		AMOSTRA NATURAL							AMOSTRA INUNDADA						
PERFIL		PRESSAO	INDICE DE				DEFORMACAO	PRESSAO	INDICE DE				DEFORMACAO		
CLASSIFIC.	CODIGO	HORIZONTE	PRE-ADENS.	VAZIOS	Cr	Cc	Cd	MAXIMA	PRE-ADENS.	VAZIOS	Cr	Cc	Cd	MAXIMA	
IPED/GEOTEC			(kN/m ²)	(e)				(%)	(kN/m ²)	(e)				(%)	
	Mt04	B	385	0.700	0.03	0.38	0.04	15.38	385	0.780	0.02	0.18	0.01	14.49	
1	Mt08		480	0.640	0.03	0.38	0.04	16.49	460	0.730	0.04	0.41	0.05	17.25	
PV	Mt10		380	0.740	0.04	0.37	0.03	17.88	275	0.830	0.04	0.39	0.03	19.64	
PVa(frs)	Mt12	C	375	0.875	0.04	0.40	0.03	18.34	260	0.920	0.04	0.39	0.03	19.64	
	Mt15		500	0.648	0.03	0.22	0.02	10.64	560	0.647	0.04	0.19	0.04	10.49	
	Mt18		550	1.580	0.02	0.20	0.03	12.28	550	1.635	0.03	0.37	0.04	16.44	
	Mt20	R	600	0.614	0.02	0.18	0.02	9.99	600	0.620	0.03	0.19	0.03	11.77	
2	Gr00	A	260	0.658	0.02	0.30	0.02	17.33	-	-	-	-	-	30.47	
PE															
PEa(frs)	Gr01	B	260	0.600	0.03	0.36	0.01	16.36	240	0.575	0.05	0.23	0.01	17.63	
	Gr02		355	0.705	0.04	0.26	0.01	16.24	302	0.640	0.02	0.25	0.01	14.28	
3	Ca01		380	0.575	0.04	0.23	0.01	12.82	360	0.541	0.02	0.18	0.01	10.67	
PE	Ca02	B	370	0.640	0.03	0.25	0.01	12.84	270	0.705	0.04	0.32	0.02	17.38	
PEag(frs)	Ca03		325	0.620	0.03	0.20	0.01	10.65	325	0.573	0.02	0.15	0.01	8.88	
	Ca06		380	0.635	0.03	0.20	0.01	10.65	250	0.630	0.05	0.42	0.02	23.85	
4	Ca08	C	380	0.755	0.03	0.32	0.04	14.89	380	0.750	0.04	0.30	0.04	14.45	
R	Ca10		400	0.785	0.03	0.28	0.03	13.09	370	0.675	0.04	0.29	0.04	15.25	
Ra,s(frs)															
	Ca15	R	690	0.870	0.03	0.33	0.04	17.76	575	0.690	0.03	0.30	0.04	17.50	

TABELA VI.5.1 - Parâmetros de compressibilidade em amostras na umidade natural e inundada

As camadas arenosas que formam os horizontes C dos perfis apresentam valores de pressão de pré-adensamento que variam no estado natural de 380 a 550kN/m², com uma média de 430kN/m². Estes mesmos valores, quando o corpo de prova é inundado, variam de 250 a 550kN/m², tendo um valor médio de 388kN/m².

Com o acúmulo de óxidos e argilas ocorre uma maior cimentação em certas camadas, ocasionando um aumento na pressão de pré-adensamento e uma menor compressibilidade. Quando há um

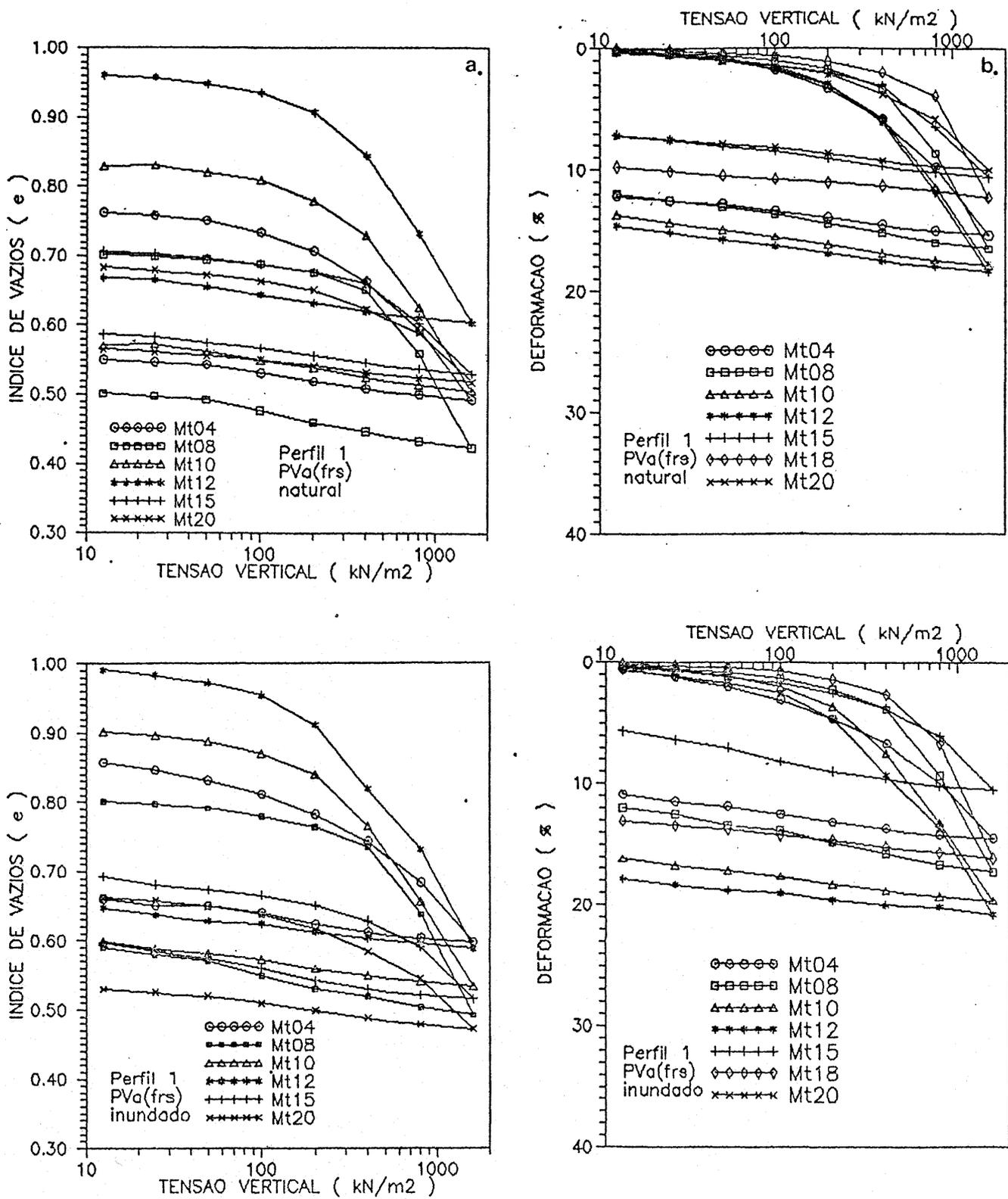


FIGURA VI.5.1 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 1 - Montenegro PVa(frs)
 a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical
 b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical

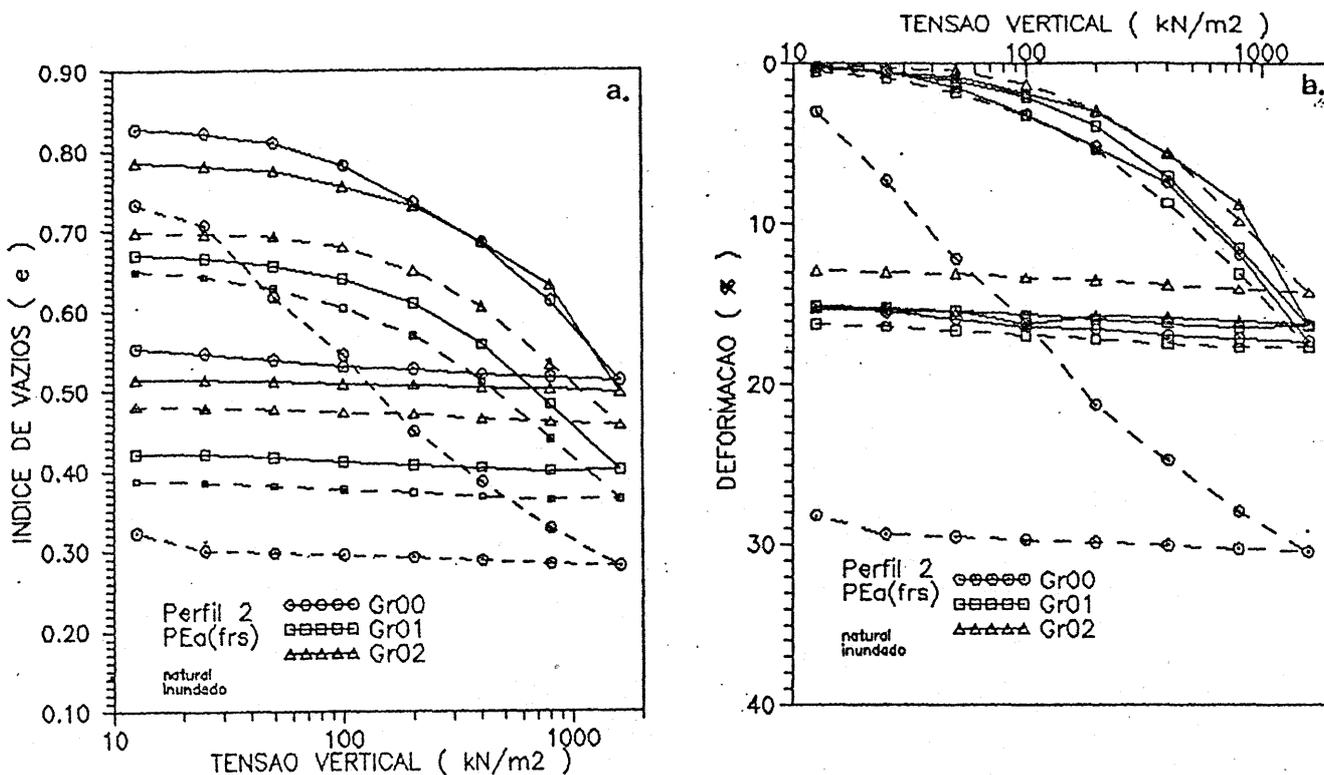


FIGURA VI.5.2 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 2 - Gravataí PEa(frs)
 a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical
 b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical

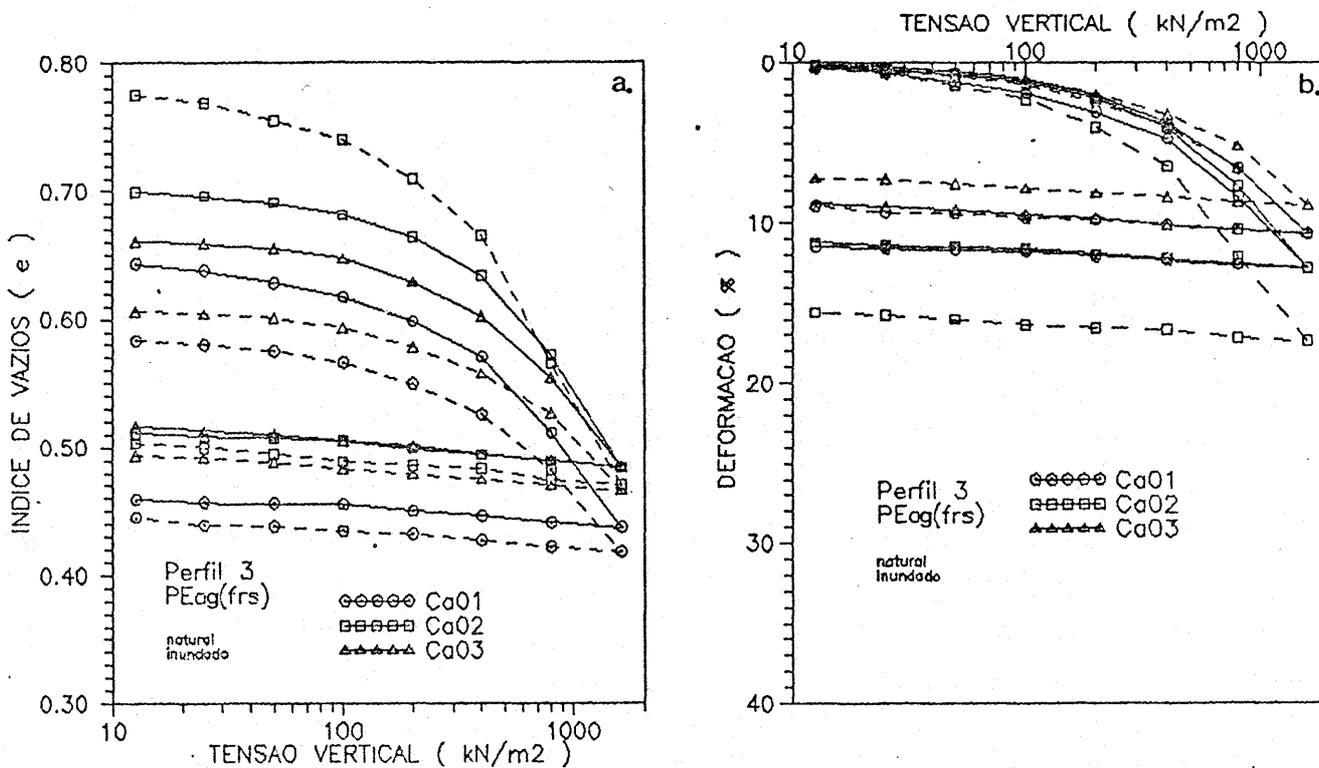


FIGURA VI.5.3 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 1 - Canoas PEag(frs)
 a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical
 b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical

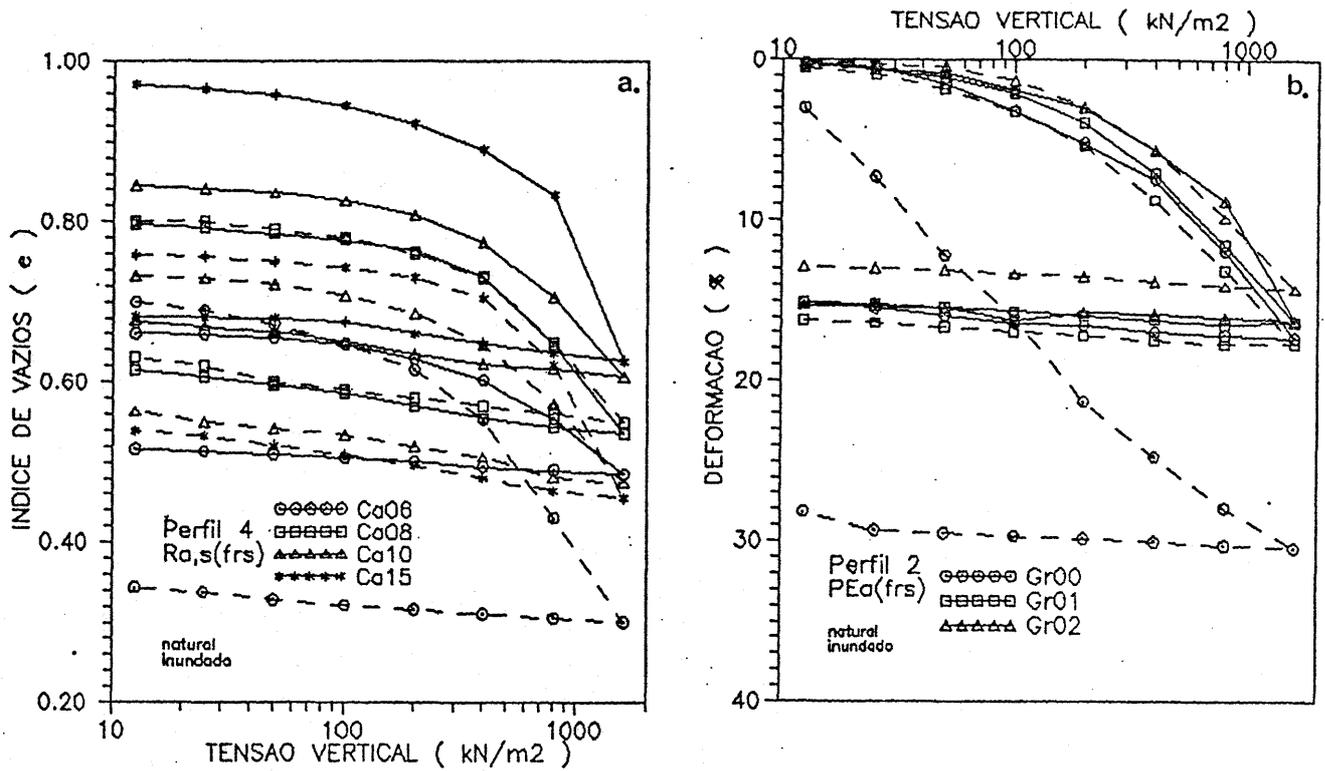


FIGURA VI.5.4 - Comportamento sob compressão confinada das amostras do perfil 4 - Canoas Ra, s(frs)
 a. curvas índice de vazios por logaritmo da tensão vertical
 b. curvas deformação por logaritmo da tensão vertical

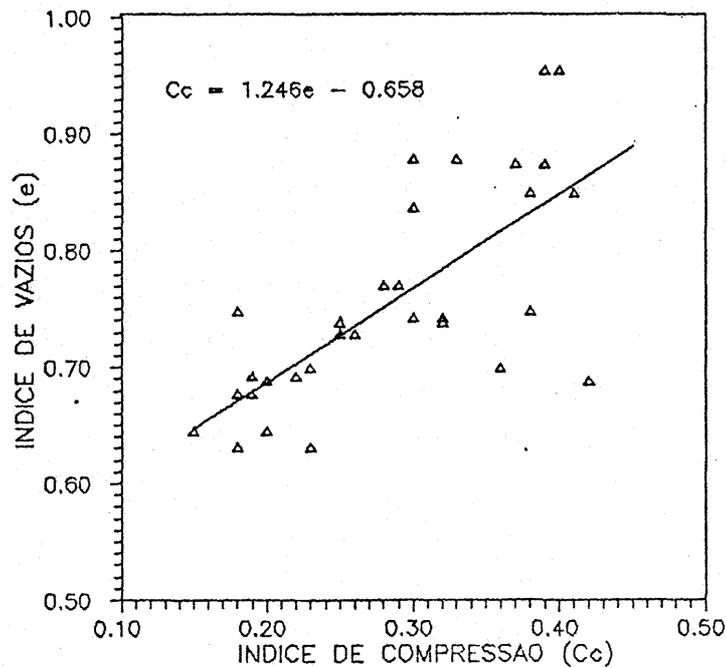


FIGURA VI.5.5 - Relação entre o índice de compressibilidade (Cc) e o índice de vazios (e)

processo inverso, os parâmetros de compressibilidade também são afetados, tornando estas camadas mais compressíveis e mais sensíveis a inundações. Estas camadas estão localizadas no perfil 1 a 15 e 12m, respectivamente.

Os maiores valores de pressão de pré-adensamento foram encontrados para os horizontes R. No perfil 1, onde este horizonte é formado por um arenito de baixa compressibilidade, a pressão de pré-adensamento é igual a 600kN/m^2 . Este horizonte não sofre influência da inundações. Já o horizonte R do perfil 4, o qual é formado por siltito, com pressão de pré-adensamento da ordem de 690kN/m^2 . O siltito sofre um decréscimo na pressão de pré-adensamento e um pequeno aumento de compressibilidade, quando inundado.

Os solos coluvionares pertencentes ao horizonte A são muito sensíveis à inundações, apresentando valores elevados de compressibilidade (figura VI.5.2).

A principal característica verificada através dos ensaios edométricos foi o comportamento pré-adensado para estas amostras. VARGAS (1953) se refere ao fato que solos residuais exibem uma "pressão de pré-adensamento virtual". Apesar deste comportamento ser bem nítido, não é muito fácil a definição do valor da pressão crítica vertical (pressão de pré-adensamento - método de Casagrande), no qual as amostras passam de uma fase de pequenas deformações a uma fase de grandes deformações. Nas curvas índice de vazios por logaritmo da pressão vertical, a passagem de uma fase para outra, de um modo geral, é representada por uma curva de raio longo. Este comportamento também foi verificado por BASTOS (1991) nos solos de granitóides de Porto Alegre.

Presume-se que o pré-adensamento esteja associado a diversos fatores que estão intimamente ligados ao comportamento geomecânico dos solos. Entre estes fatores destacam-se a cimentação (devido aos óxidos ou argila), a sucção, a

macroestrutura (concreções ferruginosas, grumos, etc.) e as tensões residuais.

WESLEY (1990) relata a importância da composição e estrutura no comportamento de solos residuais e sedimentares (transportados). Ao estudar um solo siltoso originário de intemperização de formações areníticas e siltíticas, obteve um comportamento pré-adensado em amostras indeformadas (pressão de pré-adensamento da ordem de $300-400\text{kN/m}^2$). Este comportamento é resultado da intemperização química e física e não está relacionado com a história de tensões.

A inundação influencia as características de compressibilidade. Em geral, ela reduz os valores da pressão de pré-adensamento e tende a aumentar os valores máximos das deformações verticais. Esta influência tende a desaparecer nos horizontes mais profundos, menos alterados e com uma forte cimentação provocada por óxidos de ferro. Nestes horizontes, a inundação não afeta o comportamento da pressão de pré-adensamento e da deformação.

Praticamente todas as amostras apresentaram um comportamento característico de solos tropicais parcialmente saturados com recalques significativos instantaneamente após carregamento. Estes recalques são da ordem de 80% do recalque total da amostra, apesar de alguns horizontes possuírem uma saturação em torno de 90%. Esta característica pode ser vista através da evolução das curvas altura do corpo de prova versus logaritmo do tempo, sendo completamente desfiguradas da forma teórica, com valores do coeficiente de adensamento (C_v) relativamente altos. Devido à propriedade destes solos apresentarem recalques instantâneos, justifica-se a redução do tempo para cada estágio de carga. O período adotado foi de 4 horas, durante o qual ocorreram mais do que 90% do recalque total.

VI.6 - Colapsividade

É o fenômeno pelo qual surgem recalques adicionais (deformações volumétricas) nos solos devidos à inundação.

VARGAS (1974) definiu um coeficiente de colapso estrutural (i), considerando que os solos são colapsíveis quando este coeficiente for superior a 2%. Esta análise foi realizada nos corpos de prova do ensaio de cisalhamento direto, antes da realização do ensaio propriamente dito. A tabela VI.6.1 apresenta os valores do coeficiente de colapso estrutural em função da tensão vertical.

Este fenômeno foi verificado principalmente nas amostras dos horizontes B, onde os valores máximos do coef. de colapso estrutural (i) foram obtidos, geralmente, para as tensões verticais de 150 e 200kN/m² (variando entre 3 e 7%). A macro-estrutura de origem pedológica parece ter grande influência neste comportamento. Estes horizontes superficiais têm uma estrutura mais fraca e possuem uma grande quantidade de partículas arenosas finas sem cimentação que propiciam o enfraquecimento das ligações entre as partículas com a inundação.

As amostras mais problemáticas dos horizontes C foram aquelas que possuíam um baixo grau de saturação (amostra Ca06-perfil 4), as amostras que sofreram algum processo de eluviação de óxidos e argila (Mt12-perfil 1) e as que tiveram um processo mais intenso de intemperismo (Ca10-perfil 4)

Apesar de algumas amostras apresentarem-se colapsíveis nos ensaios, salienta-se que este comportamento não foi verificado no campo. Este fenômeno é possivelmente devido à boa permeabilidade destes solos (principalmente o horizonte B), propiciando que a água não permanecesse tempo suficiente para que haja o colapso do solo.

PERFIL CLASSIFIC. GEOTÉCNICA	DESIG. AMOST.	HORIZ.	TENSÃO VERTICAL - kN/m ²					
			16	50	100	150	200	400
1 PVa(frs)	Mt02	B	0.112	0.050	0.176	5.470	4.940	0.752
	Mt08	C	0.049	0.054	0.201	0.508	1.904	1.062
	Mt10		0.158	0.105	0.595	1.823	0.416	2.285
	Mt12		0.024	0.386	0.305	1.645	3.032	1.822
	Mt15		0.000	0.372	0.298	0.796	0.409	1.691
2-PEa(frs)	Gr01	B	0.425	3.287	4.589	5.142	7.116	1.942
3-PVag(frs)	Ca03	B	0.327	0.563	0.141	3.293	7.100	-
4 Ra,s(frs)	Ca06	C	0.195	2.347	8.044	8.974	9.167	6.180
	Ca08		0.190	0.183	0.278	0.304	0.244	2.016
	Ca10		0.122	0.101	0.136	0.765	4.289	8.013
	Ca15	R	0.054	0.099	0.200	0.215	0.901	1.417

TABELA VI.6.1. - valores dos coeficientes de colapso estrutural (i-%) em função da tensão vertical

VI.7 - Resistência

VI.7.1 - Ensaio de cisalhamento direto

As envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto, nas condições de umidade natural e inundado, estão representadas nas figuras VI.7.1.1, VI.7.1.2, VI.7.1.3 e VI.7.1.4. Um resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento estão representados na tabela VI.7.1.1. Os valores de intercepto de coesão (ou simplesmente coesão) e de ângulo de atrito interno foram obtidos nas condições de pico e para deformações horizontais da ordem de 25%.

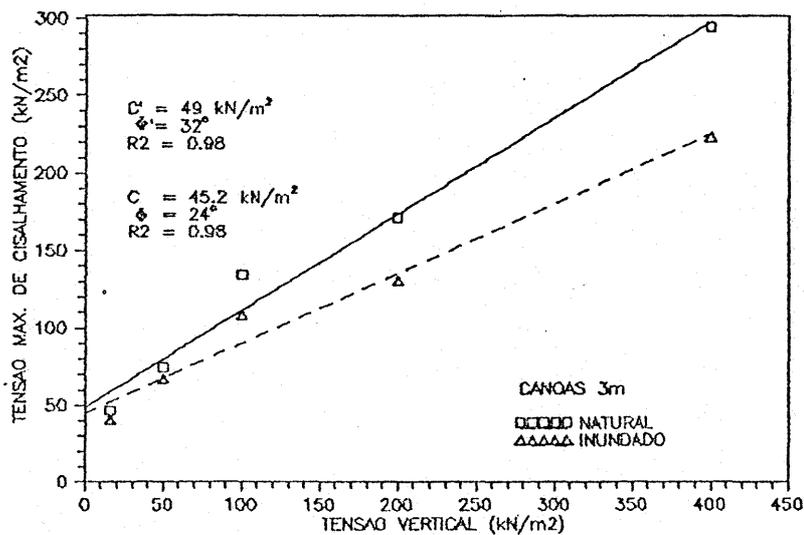
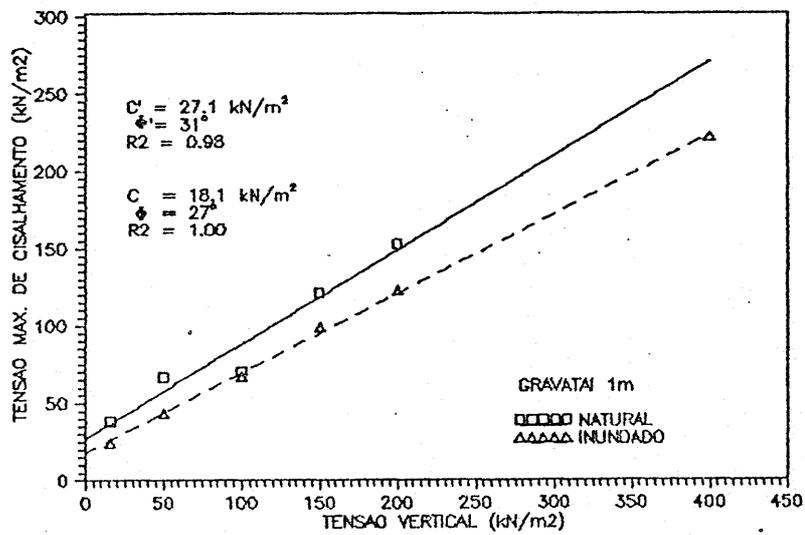
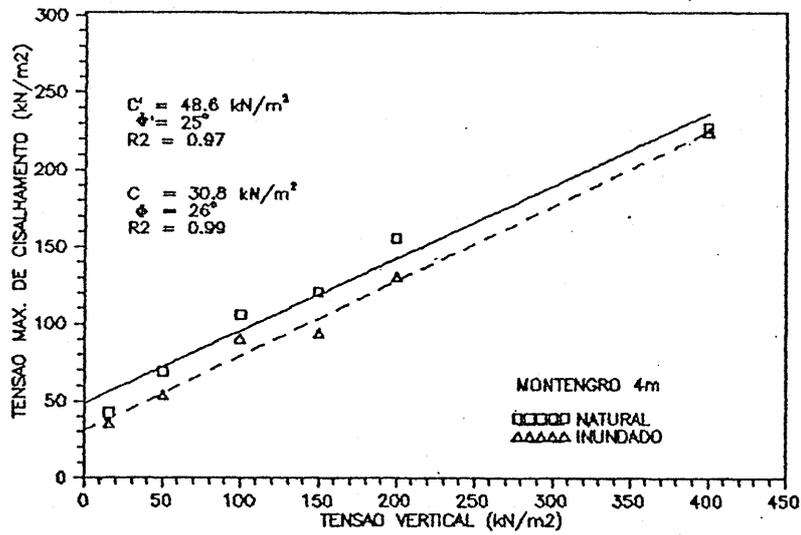


FIGURA VI.7.1.1 - Envoltórias de resistência obtidos nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte B

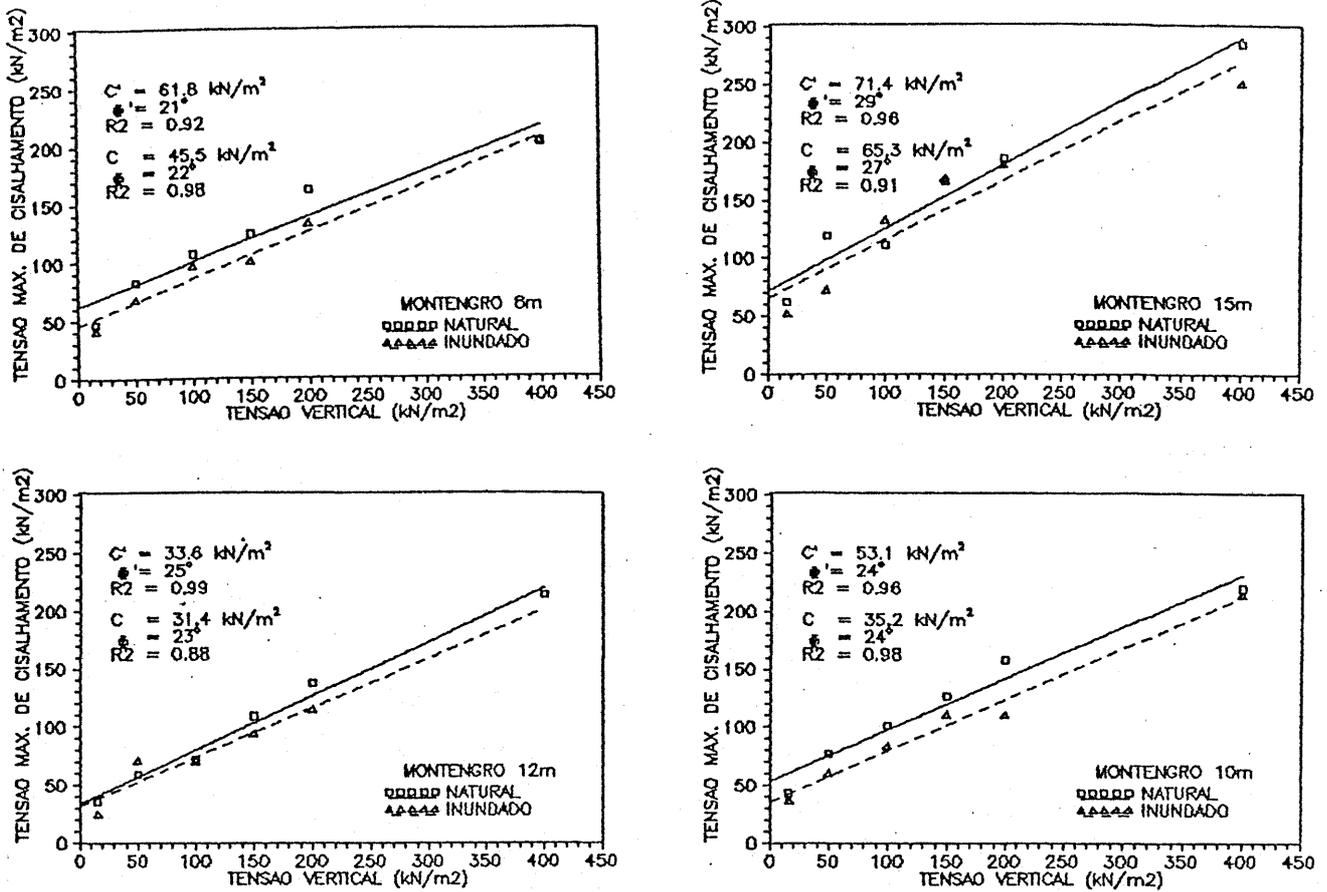


FIGURA VI.7.1.2 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte C de arenito (perfil 1 - PVA(frs))

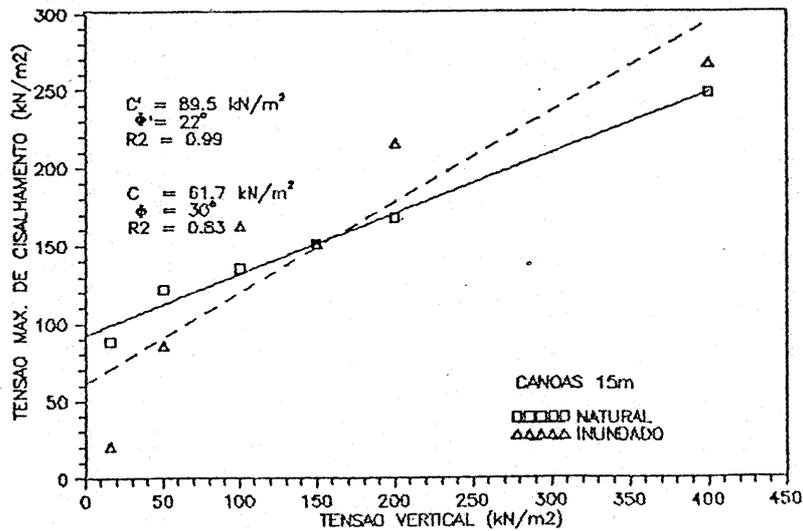


FIGURA VI.7.1.3 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte R de silito (perfil 4 - Ra,s(frs))

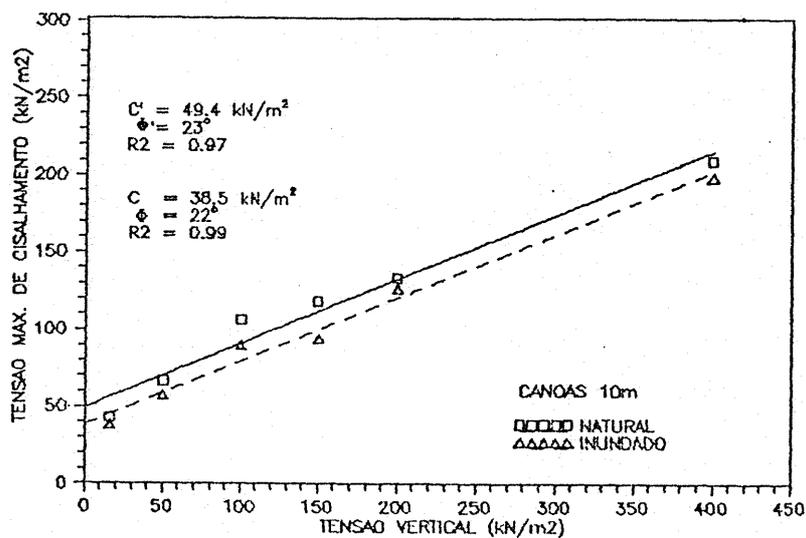
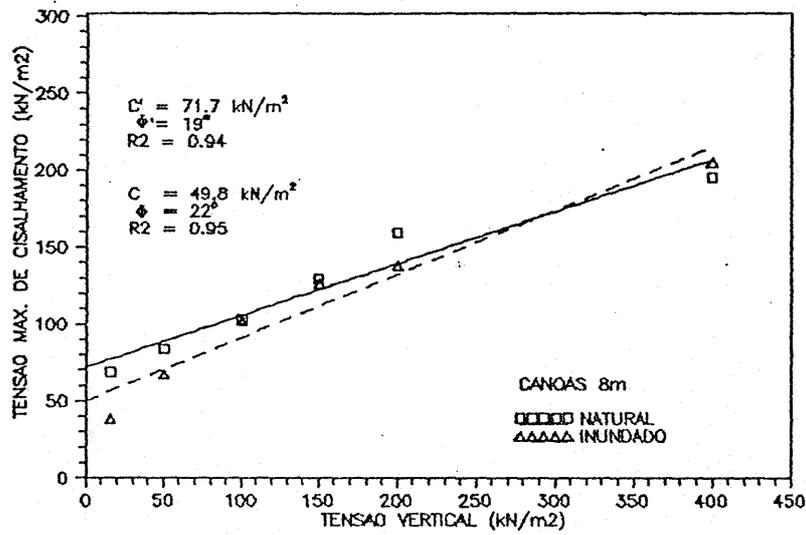
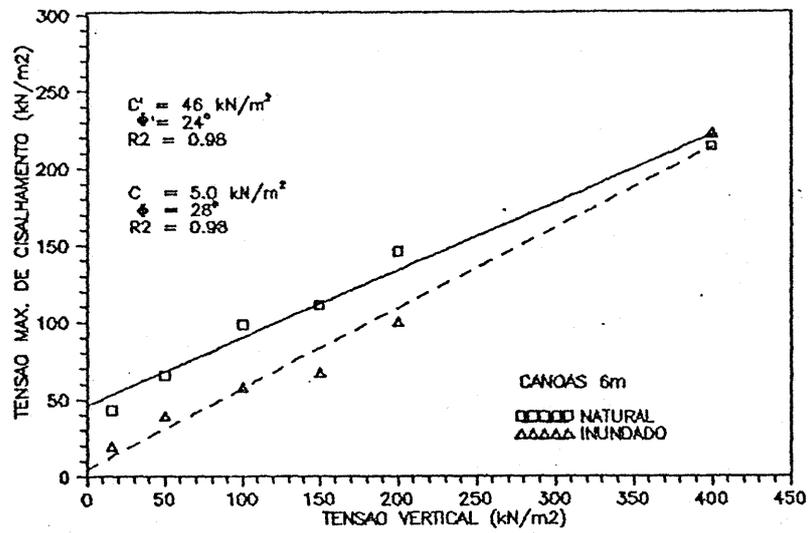


FIGURA VI.7.1.4 - Envoltórias de resistência obtidas nos ensaios de cisalhamento direto em amostras do horizonte C de arenito (perfil 4 - Ra, s(frs))

Entre os horizontes superficiais, os que apresentam valores de intercepto de coesão mais elevados foram os horizontes B gleizados e com concreções ferruginosas (respectivamente os perfis 1 e 3). Quando as amostras são inundadas há um decréscimo do valor de intercepto de coesão, e de um modo geral, também do valor de ângulo de atrito interno. Esta redução do intercepto de coesão foi bem menor, em torno de 8%, nos horizontes com concreções ferruginosas. Os outros horizontes são mais problemáticos com relação a inundação.

Os valores de intercepto de coesão dos horizontes C podem ser muito variáveis. Dependem essencialmente da cimentação das camadas, do processo de intemperismo das partículas e do grau de saturação. Nas camadas que apresentam alguma cimentação, os valores de intercepto de coesão obtidos em amostras com teor de umidade natural variaram de 63.1 a 71.7kN/m². Quando as amostras foram inundadas os valores sofreram uma redução, variando de 31.4 a 65.3kN/m². Os valores mais próximos do limite superior foram encontrados nas camadas mais cimentadas e compactas, como as camadas situadas a 15m e 10m de profundidade dos perfis 1 e 3 respectivamente. As camadas que sofreram algum processo de eluviação de óxidos e argila e as que foram submetidas a um processo mais intenso de intemperismo tiveram uma redução sensível no valor do intercepto de coesão. Nestas camadas os valores obtidos, nas amostras com teor de umidade natural, foram 33.6 e 49.4kN/m². Quando inundadas, estes valores reduzem-se para 31.4 e 38.5kN/m². Estas camadas estão localizadas respectivamente aos 12 e 10m de profundidade dos perfis 1 e 4. No perfil 4, aos 6m de profundidade, ocorre uma camada arenosa que sofre uma grande influência com a inundação. Devido a um processo diferente de deposição, esta camada é muito friável, com baixo grau de saturação. Ocorrem portanto reduções do intercepto de coesão de 89%, quando inundada. Difere muito das outras camadas dos horizontes C, onde as reduções são da ordem de 30%.

No siltito, que constitui o horizonte R do perfil 4 foi

obtido o maior valor de intercepto de coesão em amostras com teor de umidade natural, em torno de 89.5 kN/m^2 , junto com um ângulo de atrito interno de 22° . Ao inundar-se as amostras, o intercepto de coesão reduz-se para 61.7 kN/m^2 e o ângulo de atrito interno aumenta para 30° .

Os valores para deformações de 25% do intercepto de coesão e do ângulo de atrito interno permanecem praticamente constantes ou sofrem pequenos aumentos com a inundação. Estes aumentos são em média de 5% nas amostras do horizonte B e de 8% no horizontes C.

A redução do intercepto de coesão com a inundação ocorreu em todos os horizontes estudados. Esta redução variou de 6 a 89%. Os valores mais elevados foram obtidos nas camadas com um baixo grau de saturação, como a camada situada a 6m no perfil 4. Esta camada possui um grau de saturação médio em torno de 49%. Os valores mais baixos de redução, de um modo geral, foram encontrados nas camadas mais saturadas, valores em média de 7%. Esta redução da parcela de coesão dos solos parcialmente saturados devido a inundação é devido a sucção. Para avaliação desta, deve ser realizado ensaios especiais e neste caso, uma formulação elaborada para a resistência ao cisalhamento é empregada como à proposta por FREDLUND et al. (1978).

As curvas tensão cisalhante (τ) versus deformação horizontal (ϵ_H %) e deformação vertical (ϵ_V %) versus deformação horizontal (ϵ_H %) dos ensaios de cisalhamento direto possuem dois comportamentos bem distintos.

Os horizontes B gleizados e concrecionados (perfis 1 e 3) apresentam um comportamento frágil, com picos e dilatância acentuado nas tensões mais baixas para as amostras no estado natural. Quando estas são inundadas, os picos diminuem de intensidade, mas as curvas continuam apresentando um comportamento frágil. A dilatância diminui sensivelmente, como mostra a figura VI.7.1.5.

PARAMETROS		AMOSTRA NATURAL						AMOSTRA INUNDADA						
DE RESISTENCIA		RUPTURA			25% DE DEFORMACAO			RUPTURA			25% DE DEFORMACAO			
PERIDESIG.	HOR.	INTERCEPTO	ANGULO DE	COEFIC.										
IFILIA	OST.	DE COESAO	ATRITO	CORREL.										
		(kN/m ²)	(°)	(R ²)	(kN/m ²)	(°)	(R ²)	(kN/m ²)	(°)	(R ²)	(kN/m ²)	(°)	(R ²)	
1	Nt04	B	48.6	25	0.97	40	28	0.99	30.8	26	0.99	9.6	27	1.00
	Nt08		61.8	21	0.92	20	24	0.97	45.5	22	0.98	15.5	22	0.99
	Nt10	C	53.1	24	0.96	24.5	23	0.95	35.2	24	0.98	8.7	25	1.00
	Nt12		33.6	25	0.99	17.7	26	0.99	31.4	23	0.98	16.2	23	0.91
	Nt15		71.4	29	0.96	15.2	31	1.00	65.3	27	0.91	33.2	24	0.95
2	Gr01	B	27.1	31	0.98	5.5	35	0.99	18.1	27	1.00	5.8	28	1.00
3	Ca03	B	49	32	0.98	23	31	0.98	45.2	24	0.98	13.8	25	0.98
	Ca06		46.1	24	0.98	23.1	26	0.96	5	28	0.98	0	28	0.96
	Ca08	C	71.7	19	0.94	29.8	22	0.88	49.8	22	0.95	0	22	0.97
4	Ca10		49.4	23	0.97	20.6	25	0.98	38.5	22	0.99	4	24	0.99
	Ca15	R	89.5	22	0.99	13.9	24	0.97	61.7	30	0.83	9	23	0.98

TABELA VI.7.1.1 - Apresentação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento direto para as condições de unidade natural e inundado. Estão representados os valores de ruptura e 25% de deformação

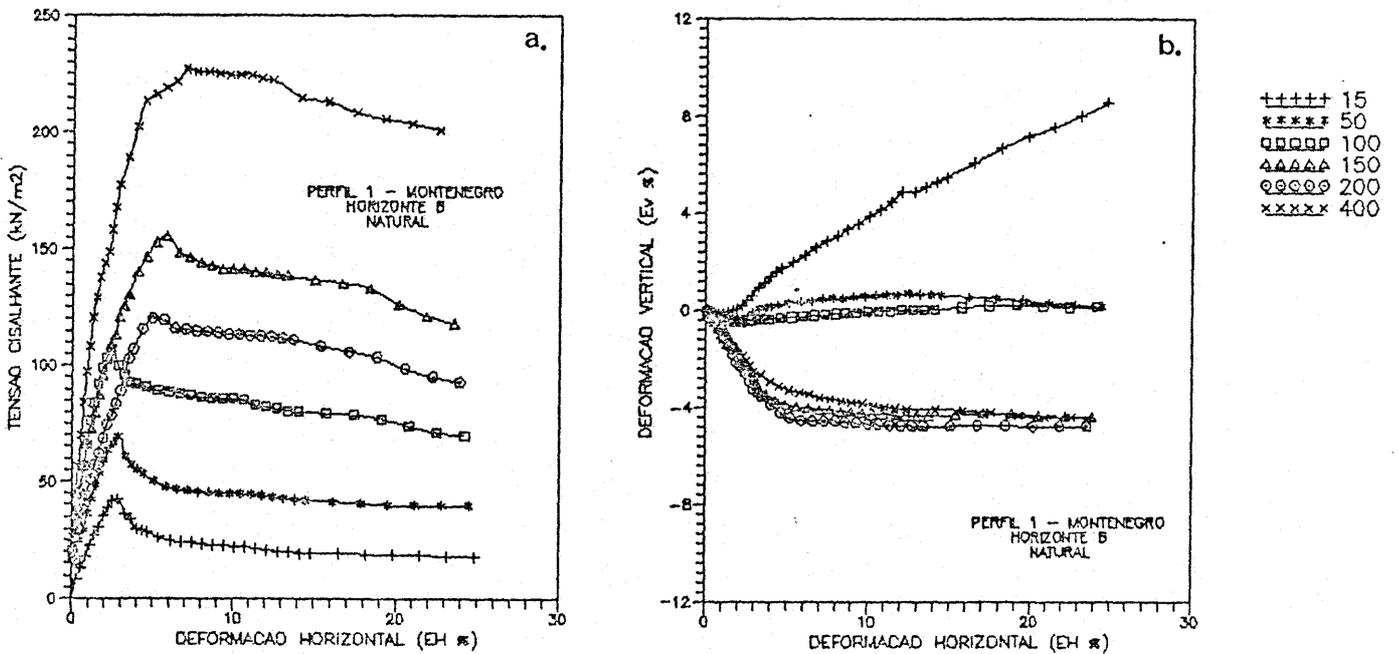


FIGURA VI.7.1.5 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para os horizontes B dos perfis 1 e 3 (PVa(frs)-PEag(frs))

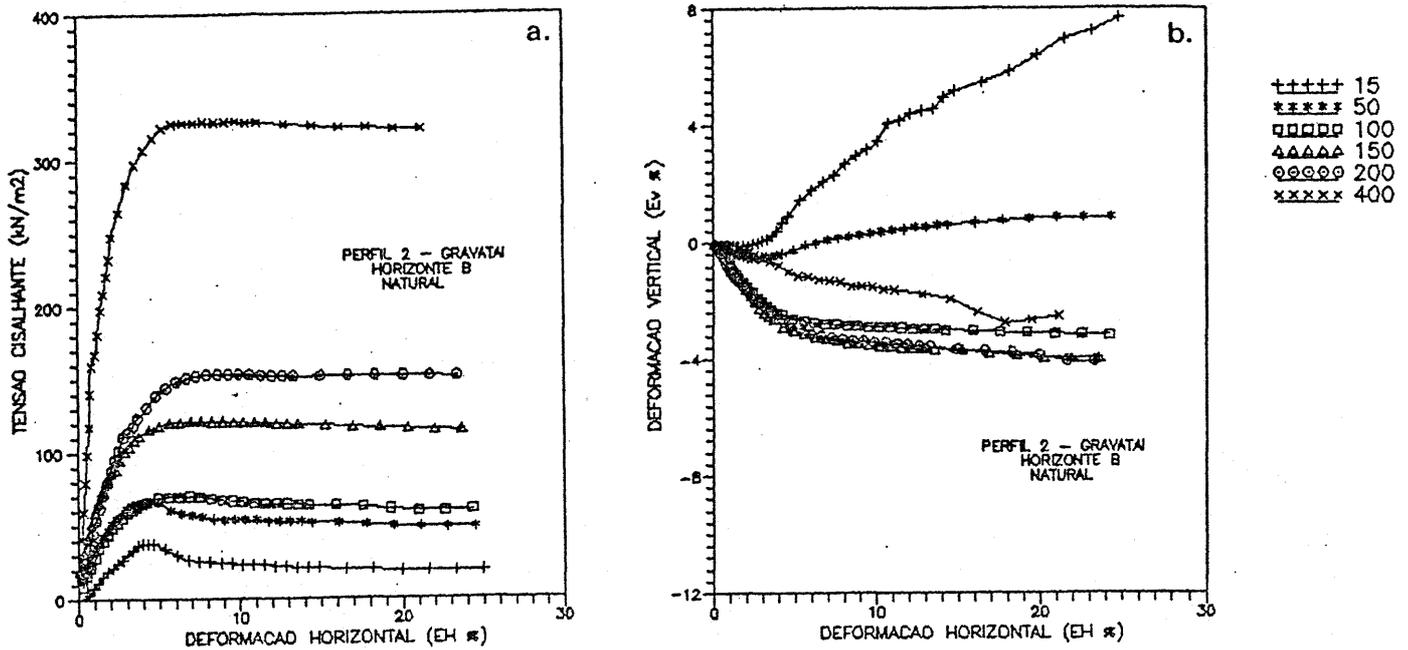


FIGURA VI.7.1.6 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para o nível de tensões mais baixo e plástico para o nível mais alto. Horizonte B do perfil 2 (Gravataí - PEa(frs))

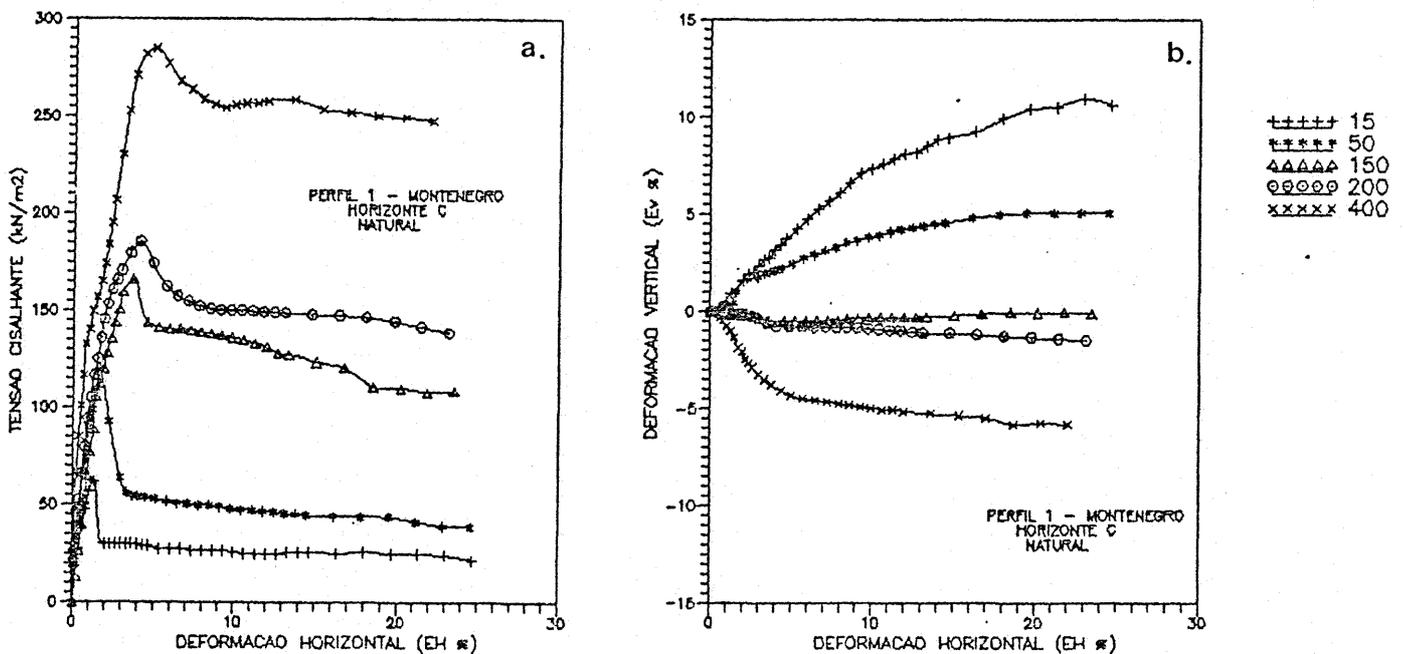


FIGURA VI.7.1.7 - Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal (a.) e deformação vertical por deformação horizontal (b.) apresentando um comportamento frágil para todos os níveis de tensões para os horizontes C arenosos

Já para o horizonte B do perfil 2, o comportamento é frágil somente para as tensões mais baixas e plástico para as tensões mais elevadas. Quando inundado, a única mudança significativa dá-se na dilatância, pois esta deixa de ocorrer. Este segundo comportamento está representado na figura VI.7.1.6.

Na figura VI.7.1.7 estão representadas as curvas $\tau \times \epsilon_H$ e $\epsilon_H \times \epsilon_V$ para os horizontes C. De uma maneira simplificada, estes apresentam um comportamento frágil para todos os níveis de tensão normal, com picos acentuados. Este comportamento frágil é mais acentuado do que o dos horizontes B. Com a inundaçãõ, a única mudança se dá no valor da dilatância, o qual diminui.

VI.7.2 - Ensaio de compressão triaxial

Foram realizados ensaios de compressão triaxial e de multi-estágio, do tipo CU (consolidated undrained), para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento efetivos. Para todos os corpos de prova, após uma percolação inicial de 24 horas, foram aplicadas valores de contra-pressão em estágios crescentes visando completa saturação. A saturação foi verificada através do parâmetro B de Skempton.

A tabela VI.7.2.1 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios triaxiais. O valor da tensão desvio (t_d) foi determinado considerando-se o valor máximo ou o correspondente a 5% de deformação, caso este último fosse superior ao máximo ou caso a ruptura não ocorrer no ensaio.

Ao analisar-se as figuras VI.7.2.1, VI.7.2.2, VI.7.2.3 e VI.7.2.4, pode-se chegar às seguintes conclusões :

- as curvas σ_1/σ_3 (tensões totais) apresentam-se semelhantes entre si.

PERFIL CLASSIFIC. PED./GEOT.	DESIG. AMOST.	HORIZONTE	tensao consol. kN/m ²	Wi %	grau satur. %	p.esp. natur. kN/m ³	indice vazios (e)	tensao desvio neutra kN/m ²	pressao neutra	pressao neutra maxima
1 PV PVa(frs)	Mt08	C	100	30.9	89.1	17.96	0.909	297.4	21	47
			200	25.9	75.1	17.31	0.905	273.0	121	125
			300	26.6	77.2	17.43	0.902	332.3	202	232
	Mt18	C	50					341.3	45	49
			100	57.8	99.5	16.95	1.661	429.3	59	62
			200					559.2	101	121
Mt20	R	100	24.3	95.6	19.58	0.669	341.0	29	74	
		200	24.4	93.3	19.38	0.687	384.0	108	131	
		300	25.2	96.4	19.51	0.687	400.5	185	198	
4 R Ra,s(frs)	Ca10	C	100	35.9	98.5	18.21	0.954	275.0	28	59
			200	20.8	69.7	17.76	0.781	327.0	101	105
			300	21.0	69.2	17.65	0.795	378.4	182	182

TABELA VI.7.2.1 - resumo dos resultados obtidos nos ensaios triaxiais

PERFIL CLASSIFIC. PED./GEOT.	DESIG. AMOST.	HORIZONTE	PARAMETROS EFETIVOS		PARAMETROS TOTAIS	
			COESAO kN/m ²	ANG. ATRITO	COESAO kN/m ²	ANG. ATRITO
1 PV PVa(frs)	Mt08	C	46.7	26.1	72.4	11.6
	Mt18	C	80.3	22.7	82.7	18.9
	Mt20	R	72.4	24.3	137.7	7.5
4 R Ra,s(frs)	Ca10	C	40.9	29.1	97.7	10.3

TABELA VI.7.2.2 - valores do intercepto de coesão e ângulo de atrito interno em termos de parâmetros efetivos e totais

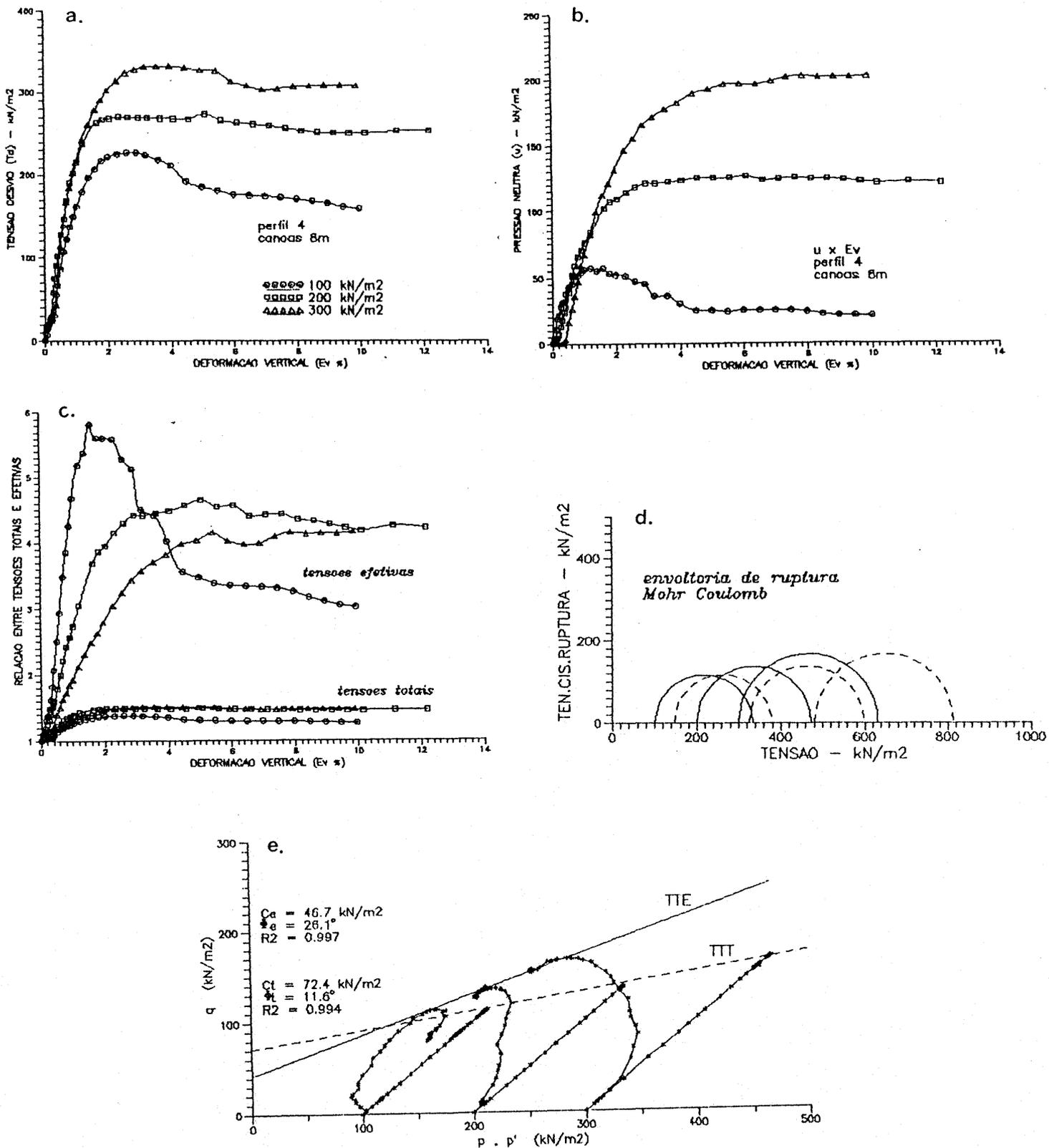


FIGURA VI.7.2.1 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 1 - Montenegro 8m - PVA(frs)

- a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. curvas relações de tensões totais e efetivas
- d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
- e. trajetória de tensões totais e efetivas - diagrama p, p' x q

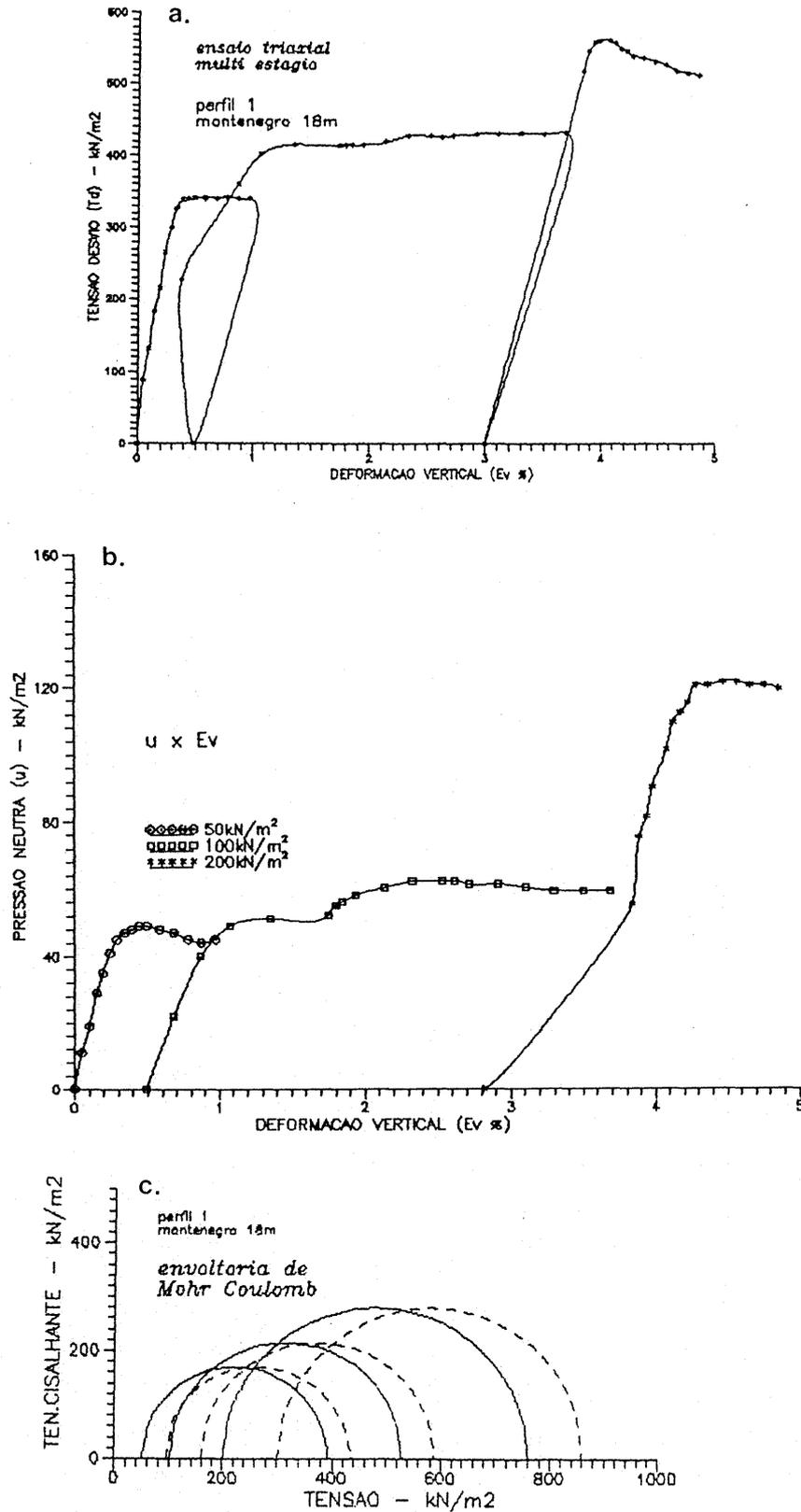


FIGURA VI.7.2.2 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - multi-estágio - perfil 1 - Montenegro 18m - PVA(fr_s)

a. curvas tensão desvio versus deformação vertical

b. curvas pressão neutra versus deformação vertical

c. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb

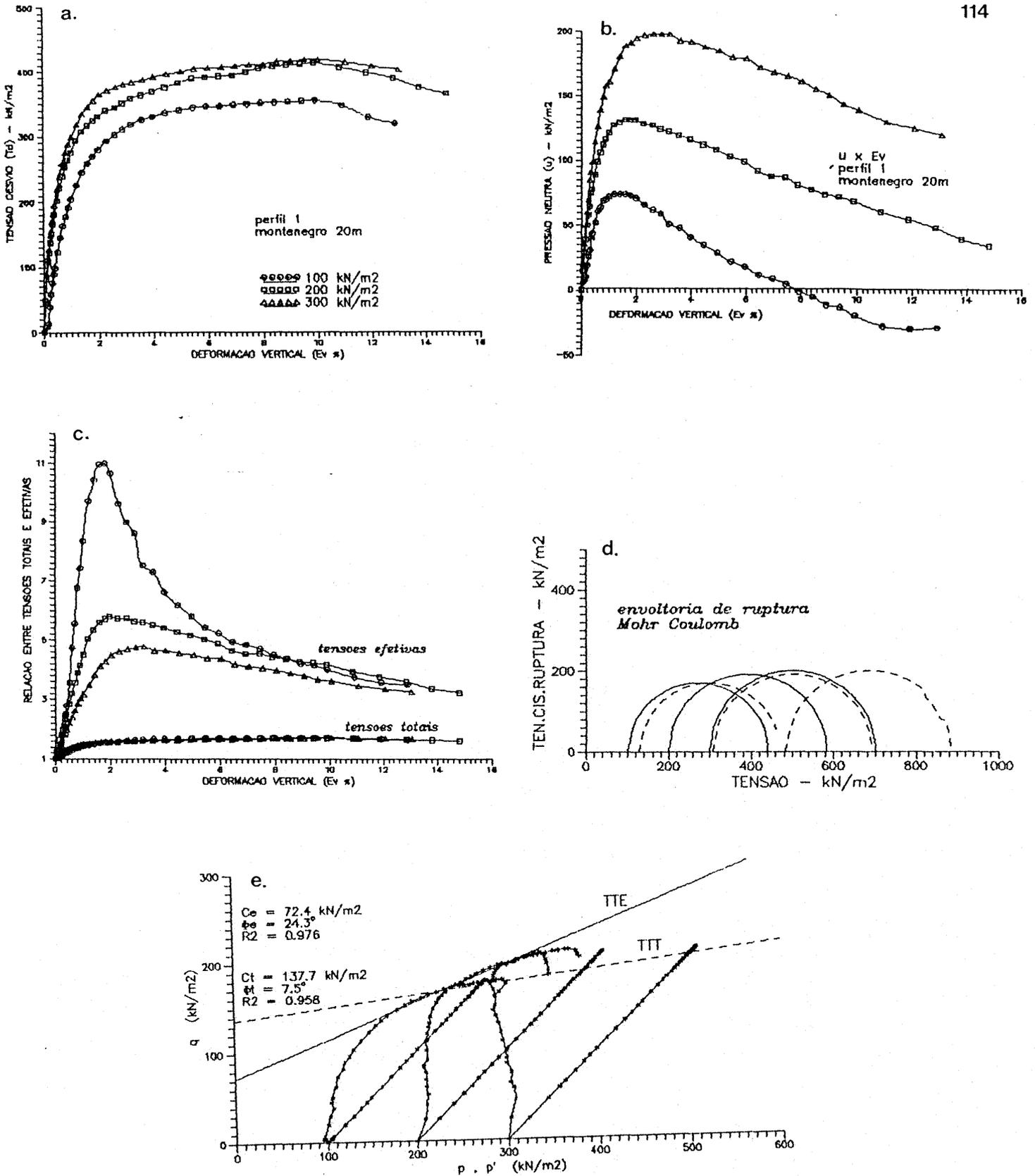


FIGURA VI.7.2.3 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 1 - Montenegro 20m - PVa(frs)

- a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
- b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
- c. curvas relações de tensões totais e efetivas
- d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
- e. trajetória de tensões totais e efetivas - diagrama $p, p' \times q$

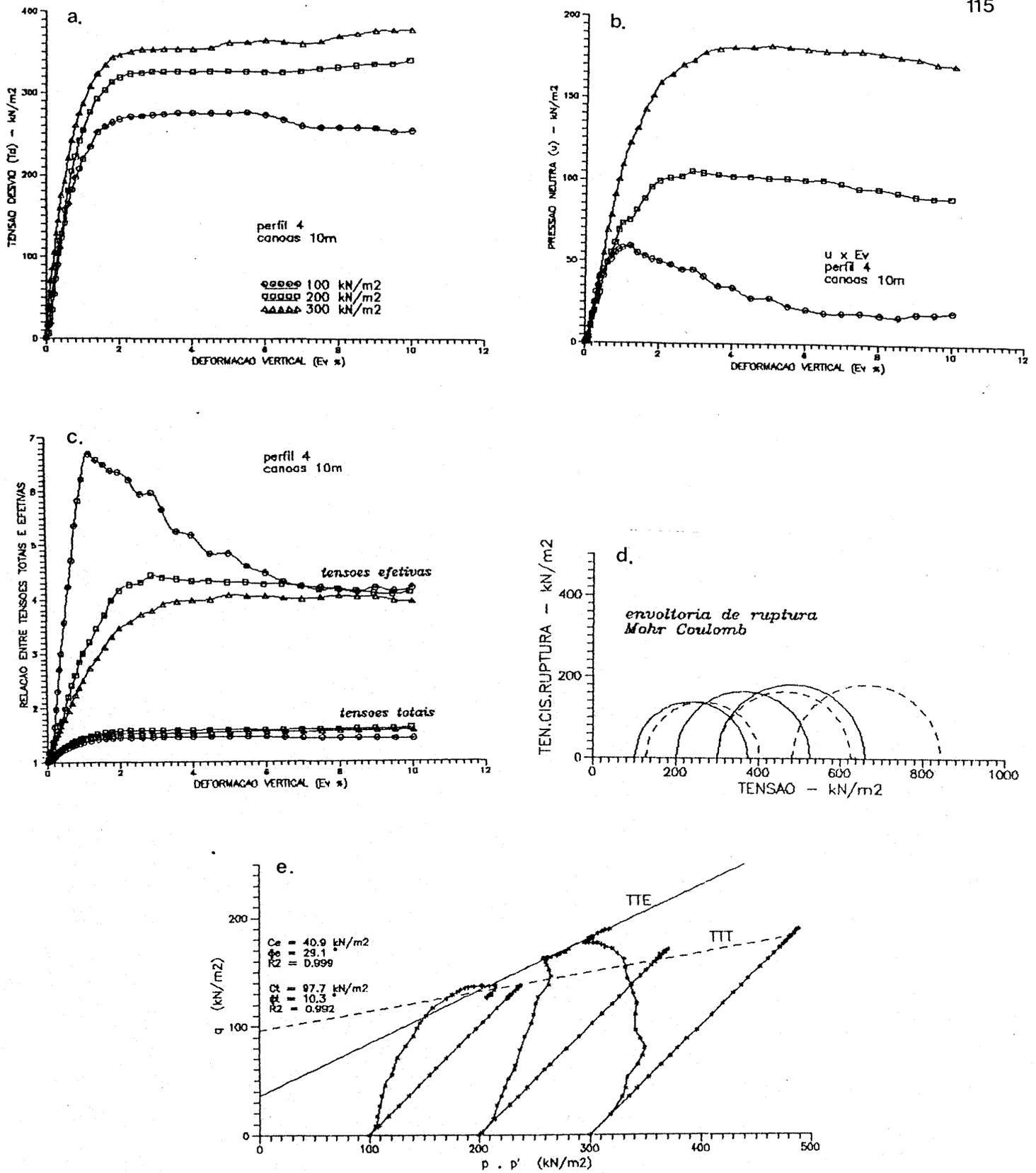


FIGURA VI.7.2.4 - Apresentação das curvas do ensaio triaxial CU - perfil 4 - Canoas 10m - Ra, s(fr_s)
 a. curvas tensão desvio versus deformação vertical
 b. curvas pressão neutra versus deformação vertical
 c. curvas relações de tensões totais e efetivas
 d. envoltória de ruptura Mohr-Coulomb
 e. trajetória de tensões totais e efetivas - diagrama $p, p' \times q$

- as curvas σ_1/σ_3 (tensões efetivas) apresentaram um pico para as tensões confinantes de 100 kN/m^2 .
- as trajetórias de tensões efetivas obtidas a partir dos ensaios triaxiais nas amostras dos horizontes C (figuras VI.7.2.1 e VI.7.2.4), mostram curvas típicas de solos normalmente adensado. Para as tensões mais baixas, da ordem de 100 kN/m^2 , as curvas são típicas de solos pré-adensados, pois este nível de tensão é inferior às tensões de pré-adensamento destes solos.
- as trajetórias resultantes dos ensaios nas amostras do horizonte R de arenito possuem um comportamento diferente das anteriores. Este horizonte apresentou uma trajetória de tensão típica de um solo pré-adensado para todo o ensaio. Salienta-se que este horizonte possui uma pressão de pré-adensamento da ordem de 600 kN/m^2 , a qual não se consegue atingir no ensaio, devido à capacidade da câmara triaxial (figura VI.7.2.3 - e).
- a evolução da pressão neutra durante os ensaios triaxiais teve basicamente dois comportamentos. O primeiro ocorre nos horizontes arenosos, onde há uma queda do valor da pressão neutra. Esta queda é vista claramente nas tensões mais baixas, onde o máximo valor ocorre em deformações menores que 2%. Para as demais tensões, as curvas mostram uma tendência a estabilizar-se a partir do 4% de deformação. O segundo comportamento ocorre nas amostras mais pré-adensadas, como o horizonte R de arenito, onde se verifica que as curvas pressão neutra versus deformação apresentam um pico acentuado, seguido de uma queda brusca com o aumento da deformação. Este decréscimo da pressão neutra pode ser tão significativo que, para as tensões mais baixas, a partir dos 7% de deformação vertical, começam a surgir pressões neutras negativas.

Os valores de intercepto de coesão efetiva (C'), total (C) e de ângulo de atrito interno efetivo (ϕ') e total (ϕ) estão representados na tabela VI.7.2.2. Verifica-se claramente

a diferença entre os horizontes C e R de arenito em termos de resistência ao cisalhamento.

VI.7.3 - Ensaio de compressão simples

A finalidade de determinar a resistência à compressão simples foi de distinguir a rocha sedimentar do solo. Para tal, foram ensaiadas amostras com vários graus de saturação. Os resultados obtidos estão representados na tabela VI.7.3.1.

PERFIL CLASSIFIC. PED./GEOT.	DESIG. AMOST.	HORIZ.	IMERSÃO (24h)	CAPILARID.	UMIDADE NATURAL	SECO ESTUFA
1 PV PVa(frs)	Mt08	C	100	135	210	3500
	Mt20	R	700	650	1400	9000
4 R Ra,s(frs)	Ca10	C	DESINT.	124	178	3360
	Ca15	R	858	960	1200	-

TABELA VI.7.3.1 - resultados de ensaios de resistência à compressão simples (kN/m^2) em função do grau de saturação

Verifica-se que as amostras classificadas morfologicamente e geologicamente como horizonte R não se desintegram com a imersão completa e possuem uma resistência à compressão uniaxial superior a 500kN/m^2 (0.5MPa - 5kg/cm^2). Estas amostras foram classificadas, de acordo com a International Society of Rock Mechanics e de acordo com a classificação proposta por DOBEREINER e FREITAS (1986) como rochas extremamente brandas (EB). As amostras restantes foram classificadas como solo.

VI.8 - Sondagens de simples reconhecimento

Foram coletadas perfis de sondagens de simples reconhecimento (SPT) próximas aos locais de amostragem. A figura VI.8.1 apresentam perfis típicos de arenitos róseos da Formação Rosário do Sul. Estes perfis são os que predominam na região e ocorrem geralmente associados com cunhas de material pelítico.

Outro perfil muito comum na região está representado na figura VI.8.2. Este é composto por uma alternância entre horizontes argilosos, arenosos e siltosos. Nesta figura ocorre a intercalação de siltitos entre as camadas de arenitos.

Os siltitos podem ocorrer como material predominante, ou intercalados aos arenitos. A figura VI.8.3 apresenta um perfil onde a camada siltica delimita o fim da sondagem, devido a sua alta compactidade.

Os argilitos ocorrem na região recobertos por sedimentos recentes. Situam-se nas planícies de inundação dos rios Caí e Jacuí. A figura VI.8.4 apresenta um perfil típico.

De um modo geral, verifica-se que os horizontes B possuem valores de NSPT variando de 2 a 15 golpes. Sendo que os valores mais altos foram encontrados para solos rijos, que possuem pequenas camadas pelíticas (em forma de cunha). Mas em média os valores usuais encontrados para este horizonte são 4 a 8 golpes.

Já para o horizonte C, os valores são muito variáveis. Pois é muito comum o aparecimento de camadas pelíticas das mais variadas consistência. Quando estas camadas são pouco compactas, o NSPT varia de 6 a 8 golpes, e quando mediamente compactas e compactas atingem valores que variam de 9 a 35 golpes.

O nível do lençol freático geralmente está próximo a superfície.

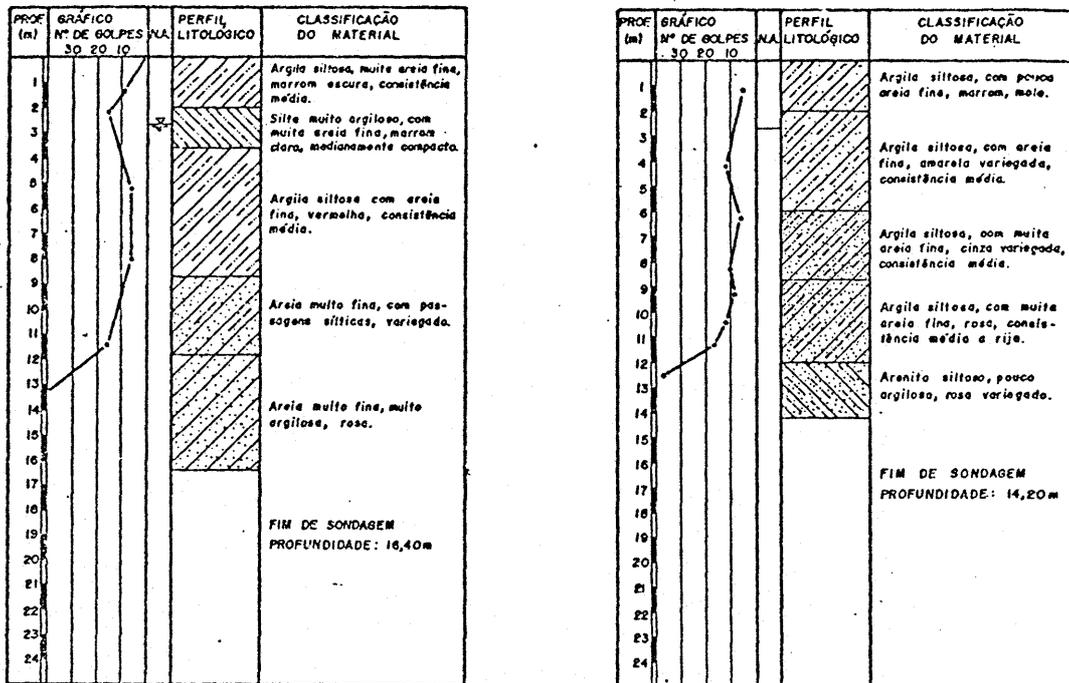


FIGURA VI.8.1 - Perfis típicos de arenitos róseos da Formação Rosário do Sul

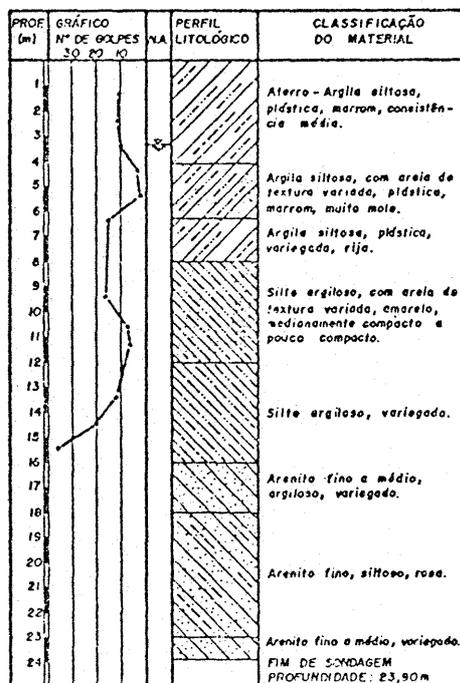


FIGURA VI.8.2 - Perfil caracterizado pela alternância entre horizontes argilosos, arenosos e siltosos

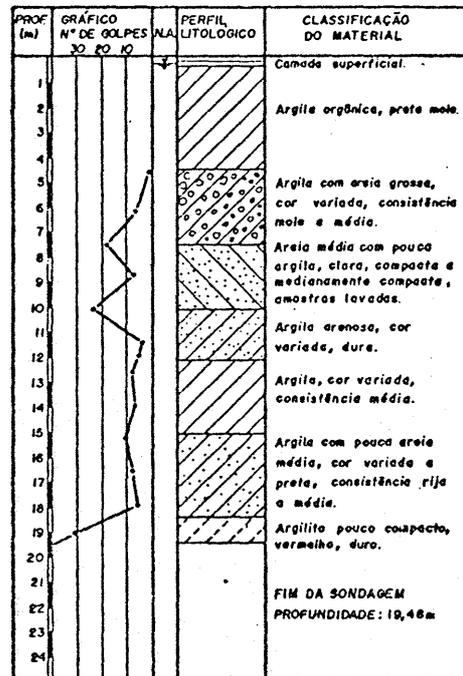


FIGURA VI.8.3 - Perfil típico onde o siltito delimita o final da sondagem

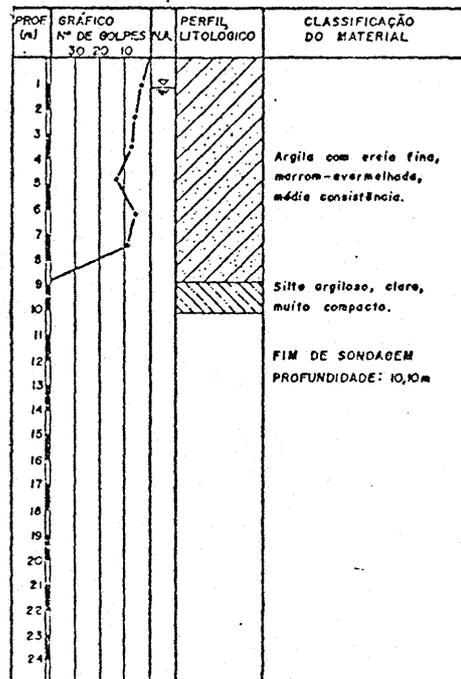


FIGURA VI.8.4 - Perfil típico em argilito, geralmente, recobertos por sedimentos

VII. ANÁLISE GERAL

Devido a quantidade de resultados obtidos, torna-se difícil a análise e interpretação dos mesmos. Neste capítulo é feita uma análise geral, tendo como objetivo agrupar os resultados em horizontes diagnósticos (horizontes B, C e R). Estes horizontes descrevem as características morfológicas, geológicas e geotécnicas dos perfis oriundos da Formação Rosário do Sul na área de estudo. Um quadro resumo deste capítulo, com os resultados obtidos nos ensaios, está representado no ANEXO II. Também são feitas algumas considerações a cerca de condicionantes geotécnicos desta formação.

VII.1 - Horizonte B

Os horizontes B são formados por solos franco argilosos finos. A fração argila varia de 30% a 39%, com fração areia fina superior a 30%. Os perfis classificados pedologicamente como Podzólicos Vermelho Escuro são mais argilosos do que os perfis classificados como Podzólico Vermelho Amarelo.

Estes horizontes possuem limite de liquidez entre 31% e 47% e índice de plasticidade entre 9% e 22%. De acordo com a SUCS/HRB estes horizontes são classificadas como argilas magras e areias finas argilosas (CL e ML).

Apresentam em média, índice de vazios de 0.7, peso específico natural de 19 kN/m^3 , 21% de umidade natural e grau de saturação de 80%. Os horizontes concrecionados e gleizados podem apresentar valores de peso específico natural superiores ao

valor médio citado.

Nos ensaios de compactação os valores de peso específico aparente seco máximo variam de 15.6 a 16kN/m³, com teores de umidade ótima entre 21% e 24% .

O argilo-mineral predominante é a caulinita, com grande ocorrência de quartzo, óxidos de ferro e alumínio.

O coeficiente de permeabilidade varia de 8.3×10^{-5} a 2.6×10^{-5} cm/s.

Os parâmetros de compressibilidade não sofrem uma grande variação. Os valores médios, respectivamente, do índice de compressão e pressão de pré-adensamento são 0.25 e 330kN/m². Os horizontes concrecionados apresentam-se menos compressíveis que os outros.

Através de ensaios de laboratório, foi verificada a colapsividade em corpos de prova destes horizontes. Os valores do coeficiente de colapso (i) variam entre 3 e 8%, principalmente para as tensões verticais de 150 a 200 kN/m². Apesar destes horizontes apresentarem um comportamento colapsível nos ensaios, este comportamento não é verificado no campo. Devido principalmente a boa permeabilidade destes horizontes.

O intercepto de coesão varia de 27.1 a 49kN/m² e o ângulo de atrito interno de 25° a 32°, no teor de umidade natural. Ao inundar-se os corpos de prova ocorre redução do intercepto de coesão, os valores obtidos variaram de 18.1 a 45.2kN/m², com o ângulo de atrito interno entre 24° e 27°. Os maiores valores de intercepto de coesão foram obtidos nos horizontes concrecionados, e estes horizontes são os que sofrem menor influência da inundaçãõ.

As curvas tensão cisalhante por deformação horizontal

e deformação vertical por deformação horizontal dos ensaios de cisalhamento direto possuem dois comportamentos bem distintos.

Os horizontes B gleizados e concrecionados (perfis 1 e 3) apresentaram um comportamento frágil, com pico e dilatância acentuado nas tensões mais baixas para as amostras no estado natural. Quando estas são inundadas, os picos diminuem de intensidade. No entanto, as curvas continuam apresentando um comportamento frágil, porém a dilatância é reduzida. Já para o horizonte B do perfil 2, o comportamento é frágil somente para as tensões mais baixas e plástico para as tensões mais elevadas. Quando inundado a única mudança significativa dá-se na dilatância, pois esta deixa de ocorrer.

Os valores de NSPT, em média nos horizontes B, variam de 4 a 8 golpes. Nas camadas mais concrecionadas estes valores podem chegar a 15 golpes.

VII.2 - Horizonte C

VII.2.1 - Argilosos

São solos franco argilosos e argilo-siltosos com fração argila compreendida entre 39% e 48%. Os solos franco argilosos a fração areia fina predomina sobre a fração silte, o inverso do que ocorre nos solos argilo-siltosos.

Estes horizontes apresentam limite de liquidez superior a 55% e o índice de plasticidade a 35%. Portanto classificados de acordo com a SUCS/HRB, como argilas gordas e siltes de alta plasticidade (CH).

O índice de vazios é da ordem de 0.8, o peso específico natural é de 17.5 kN/m^3 , o teor de umidade é de 23% e o grau de saturação é de 70%.

A montmorilonita é o argilo-mineral predominante, com grandes quantidades de caulinita e mica (muscovita). Óxidos de ferro e alumínio ocorrem como traços.

Estes horizontes argilosos apresentam valores de pressão de expansão da ordem de 200kN/m^2 .

VII.2.2 - Siltosos

São solos franco siltosos com fração argila superior a 20% e fração silte superior a 50%.

O limite de liquidez é da ordem de 79%, com um índice de plasticidade de 23%. São classificados como siltes inorgânicos, finos e micáceos (MH) de acordo com a SUCS/HRB.

O índice de vazios é muito variável nestes horizontes, foram obtidos valores da ordem de 1.70. O peso específico natural é baixo, não sendo superior a 17kN/m^2 . O teor de umidade natural é de 57% e o grau de saturação de 95%.

O argilo-mineral predominante é a caulinita com ocorrência abundante de feldspatos e óxidos de ferro. Óxidos de alumínio aparecem como traços.

O coeficiente de permeabilidade varia de 2.7×10^{-5} a 5.9×10^{-6} cm/s.

Apesar de serem horizontes porosos ($\eta=63\%$) e com índice de vazios alto, apresenta baixa compressibilidade. O índice de compressão é de 0.2 e a pressão de pré-adensamento de 550kN/m^2 . Quando inundado a compressibilidade aumenta ($C_c=0.37$), no entanto a pressão de pré-adensado permanece constante.

Os valores de coesão e ângulo de atrito, obtidos em ensaios triaxiais de multi-estágio (CU), em termos de tensões

efetivas foram 80.3 kN/m^2 e 28.7° e em termos de tensões totais foram 82.7 kN/m^2 e 18.9° .

VII.2.3 - Arenosos

Os horizontes de alteração de arenito possuem uma textura franco a franco arenosa. São compostos por mais de 50% de areia fina, com teores de argila variáveis (entre 9% e 20%).

O limite de liquidez varia entre 34% e 47%, com índice de plasticidade de 5% a 12%. Os valores mais elevados destes índices são encontrados nos horizontes onde ocorre um aumento da fração argila. Classificados pela SUCS/HRB, como areias siltosas e areias argilosas (SM,SC).

Apresentam em média valores de índice de vazios de 0.8, o peso específico natural é de 18 kN/m^3 , o teor de umidade natural é de 22% e o grau de saturação é de 77%. Nas camadas onde ocorrem concentrações de óxidos e argila, tornando-as mais cimentadas, o índice de vazios é da ordem de 0.69 com peso específico natural de 19 kN/m^3 e 84% de saturação. Nas camadas onde ocorre lixiviação de óxidos e argila, o índice de vazios aumenta para 0.95 com uma redução do peso específico natural e grau de saturação, respectivamente para 17.2 kN/m^3 e 69%.

Os resultados obtidos nos ensaios de compactação em termos de peso específico aparente seco máximo e teor de umidade ótima variaram, respectivamente, entre 15.25 e 17.75 kN/m^3 e 15.7% e 22.6%. Estes resultados diferem dos encontrados na literatura para rochas e solos de alteração de arenito.

O argilo-mineral predominante, em geral, é a caulinita. No entanto, nos perfis mais argilosos e associados a cunhas pelíticas o argilo-mineral predominante é a montmorilonita. Ocorrem como traços quartzo, micas (em maior quantidade nos horizontes mais argilosos) e óxidos de ferro e alumínio.

Os resultados obtidos de permeabilidade dão uma característica menos permeável a estes horizontes, quando comparados com os resultados citados na literatura. O coeficiente de permeabilidade varia de 2.7×10^{-5} a 3.5×10^{-6} cm/s.

Nestes horizontes a expansão não é significativa, tendo como valor máximo 12.5 kN/m^2 , nos horizontes mais argilosos.

Em média, nestes horizontes de alteração, o índice de compressão (C_c) é de 0.30, com pressão de pré-adensamento de 430 kN/m^2 . Devido a inundação ocorre um aumento de compressibilidade, em torno de 20% e uma redução da pressão de pré-adensamento de 10%. Nas camadas mais cimentadas há uma redução na compressibilidade e observa-se que estas não sofrem grande influência da água. Comportamento oposto ocorre nas camadas que sofreram lixiviação.

Em geral, estes horizontes não tem problemas de colapsividade. Exceto as camadas que possuem um baixo grau de saturação, sofreram um processo de eluviação, ou tiveram um processo mais intenso de intemperismo. Da mesma forma que ocorreu no horizonte B, nestes horizontes não se observa um comportamento colapsível no campo.

Os parâmetros de resistência nestes horizontes são muito variáveis. São influenciados pelo intemperismo, cimentação e grau de saturação. O intercepto de coesão varia de 33.6 a 71.7 kN/m^2 e o ângulo de atrito interno de 19° a 29° , na umidade natural. Devido a inundação, o intercepto de coesão reduz-se sensivelmente, os resultados obtidos variaram de 5 a 65.3 kN/m^2 e o ângulo de atrito de 22° a 27° . As camadas mais intemperizadas, as pouco cimentadas e as com baixo grau de saturação apresentaram valores de intercepto de coesão, no estado natural e inundado, mais próximo do limite inferior. Nestes horizontes é de grande importância a sucção.

As curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e deformação horizontal por deformação vertical apresentaram um comportamento frágil para todo o nível de tensões, com picos acentuados. Ao inundar-se os corpos de prova, a única mudança acentuada de comportamento se dá na redução da dilatância.

As trajetórias de tensões efetivas obtidas, a partir de ensaios triaxiais CU, nas amostras deste horizonte apresentaram curvas típicas de solos normalmente adensados. Exceto para o nível de tensão mais baixo (100 kN/m^2), cujas curvas são típicas de solos pré-adensados. Neste nível de tensão o máximo valor de pressão neutra ocorre para deformações menores que 2%. No entanto, para tensões mais elevadas, a pressão neutra tende a estabilizar-se a partir de 4% de deformação.

Em termos de tensões efetivas o intercepto de coesão varia de 40.9 a 46.7 kN/m^2 , e ângulo de atrito interno varia de 26.1° a 29.1° . No entanto, em termos de tensões totais, varia de 72.4 a 97.7 kN/m^2 e 10.3° a 11.6° , respectivamente.

VII.3 - Horizonte R

VII.3.1 - Siltito

São rochas franco siltosas com fração silte superior a 55% e fração argila inferior a 20%.

Apresentam limite de liquidez de 50% e índice de plasticidade de 22%.

Em média, o índice de vazios é da ordem de 0.88, o peso específico natural é de 18 kN/m^3 , o teor de umidade é de 29% e o grau de saturação é de 87%.

Apresenta a caulinita como argilo-mineral predominante,

com ocorrência significativa de quartzo e óxidos de ferro. Apresentam traços de smectita e óxidos de alumínio.

O coeficiente de permeabilidade varia de 3.1×10^{-7} a 1.3×10^{-7} cm/s.

Este horizonte apresenta pressão de expansão da ordem de 100 kN/m^2 .

O valor de pressão de pré-adensamento, em amostra no estado natural, é de 690 kN/m^2 . Este valor sofre redução para 575 kN/m^2 com a inundação. O índice de compressão é, em média, da ordem de 0.32.

O intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno, na umidade natural, são 89.5 kN/m^2 e 22° respectivamente. Devido a inundação o intercepto de coesão reduz-se para 61.7 kN/m^2 , e o ângulo de atrito interno aumenta para 30° .

O comportamento das curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e deformação vertical por deformação horizontal é o mesmo dos horizontes C arenosos.

O valor de resistência à compressão simples, quando imerso em água por 24 horas, é de 858 kN/m^2 . Enquadra-se na faixa de rochas extremamente brandas, segundo DOBEREINER e FREITAS (1986).

VII.3.2 - Arenito

Os arenitos são rochas franco arenosas formadas por mais de 60% de fração areia fina com 7%, em média, de partículas tamanho argila.

Apresentam limite de liquidez da ordem de 32% e índice de plasticidade de 9% .

Em média, o índice de vazios é 0,68, o peso específico natural é 19.5 kN/m^3 , o teor de umidade natural é 25% e o grau de saturação é de 95% .

A caulinita é o argilo-mineral predominante, com traços de esmectita, mica, quartzo, óxidos de ferro e alumínio.

O coeficiente de permeabilidade obtido varia de 1.9×10^{-5} a $3.3 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$.

A compressibilidade é baixa, com o índice de compressibilidade de 0.18 e pressão de pré-adensamento de 600 kN/m^2 . Nestes horizontes a água não influencia os parâmetros de compressibilidade.

As trajetórias resultantes dos ensaios triaxiais do tipo CU apresentaram um comportamento pré-adensado para o nível de tensão do ensaio.

Em decorrência deste comportamento pré-adensado, verifica-se um pico acentuado, seguido de queda brusca, nas curvas pressão neutra versus deformação vertical. Por vezes, este decréscimo é muito acentuado surgindo pressões neutras negativas, principalmente para o nível de tensão mais baixo.

Em termos de parâmetros efetivos, o intercepto de coesão é de 72.4 kN/m^2 e o ângulo de atrito é de 24.3° . Já em termos de parâmetros totais estes valores são de 137.7 kN/m^2 e 7.5° , respectivamente.

A resistência à compressão simples, quando imerso em água por 24 horas, é de 700 kN/m^2 . Portanto este horizonte é classificado como rocha extremamente branda.

VII.4 - Condicionantes geotécnicas

VII.4.1 - Drenagem

A região é caracterizada por uma drenagem dentrítica, que em geral não provoca ravinamento profundos; exceto quando são removidos os horizontes superficiais, deixando o horizonte C de arenito exposto às intempéries.

VII.4.2 - Água subterrânea

Devido aos resultados obtidos de coeficiente de permeabilidade e porosidade, existe grande possibilidade de ocorrer água subterrânea nos arenitos. No entanto, estas possibilidades são raras nos siltitos e argilitos.

VII.4.3 - Estabilidade de cortes

A estratificação plano-paralela nos arenitos, nesta região, favorece a estabilidade dos cortes. Principalmente, devido ao baixo ângulo de mergulho das camadas.

Outro fator muito importante na estabilidade destes cortes é a presença de água. Quando o gradiente de percolação da água nos horizontes arenosos for somente suficiente para carrear os óxidos e depositá-los na superfície do talude, favorece a estabilidade. Formando portanto uma película de 1 a 2mm de espessura que protege da erosão superficial pela percolação da água. Quando o gradiente for elevado, começa a surgir a erosão sub-superficial, muitas vezes, provocando à ruptura do talude.

Nos horizontes siltosos e argilosos rijos ocorre a desagregação superficial por empastilhamento na parte mais superficial, provocando muitas vezes o descalço dos horizontes superiores dos taludes, com conseqüente desmoronamentos.

Recomenda-se para evitar estes problemas, quando na presença de água, um sistema de drenagem adequado e uma cobertura vegetal nos taludes. Verificou-se no campo que

inclinações dos taludes em cortes nos arenitos de 1:1, e nos siltitos e argilitos de 1:1.5, apresentavam-se muitas vezes rompidos.

VII.4.4 - Características de compactação

Os horizontes C arenosos, classificados como solos arenosos siltosos e arenosos argilosos possuem características de compactação de regular a boa, com um bom compartimento para o uso em fundações de pavimentos, tendo baixa compressibilidade e expansão. É muito comum estes materiais causarem um grande desgaste nos equipamentos.

Os horizontes C argilosos e siltosos, classificados como argila e siltes de alta plasticidade extremamente micáceos, possuem um comportamento insatisfatório para o uso em pavimentação. Apresentam valores altos de compressibilidade e expansão, e possuem uma má drenagem.

Os horizontes B argilosos são o material mais usado em aterros na região. Possuem um comportamento regular com baixa compressibilidade e expansão, principalmente nos horizontes com concreções de ferro.

VII. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Na região em estudo predominam os arenitos e os solos de alteração destes. Junto a estes arenitos, de granulação fina a muito fina com estratificação plano paralela de baixo ângulo de mergulho ($<5^{\circ}$), ocorrem intercaladas cunhas e camadas de siltitos. Os siltitos podem ser maciços ou com estratificação muito fina. Os argilito são mais raros.

Predominam as tonalidades avermelhadas e rosadas para os arenitos e roxas para os siltitos.

O relevo é ondulado com colinas do tipo mamelonar. A drenagem é dentrítica com declives naturais de suaves a médios.

Os solos superficiais (horizonte B) são classificados pedologicamente como Podzólico Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo. São solos franco argilosos finos (porcentagem de argila $> 30\%$), de média plasticidade ($IP < 20\%$), de baixa compressibilidade e expansão. Devido a estas características é o material mais utilizado como jazida. Os valores de γ_d variam entre 15.6 e 16kN/m³ e o teor de umidade ótima de 21 a 24%.

Estes horizontes são permeáveis, com coeficiente de permeabilidade em torno de 10^{-5} cm/s. O argilo-mineral predominante é a caulinita.

Em termos de resistência, os solos concrecionados apresentam-se mais resistentes e são menos influenciados com a inundação.

Os solos de alteração de argilito são os mais problemáticos para o uso em engenharia. Estes solos possuem fração argila superior a 39%, com alta plasticidade ($IP > 35\%$). O argilo-mineral predominante é a montmorilonita, com grande

quantidade de caulinita e mica (muscovita).

Os solos de alteração de arenito são constituídos por mais de 50% de fração areia fina, com teores de argila variando entre 9 e 20%. São solos de plasticidade de baixa a média (IP varia de 5 a 12%) e baixa expansão. O argilo-mineral predominante é a caulinita. No entanto, nas proximidades das planícies de inundação e das zonas de transição com a Formação Estrada Nova (perfis mais argilosos), o argilo-mineral predominante é a montmorilonita. O coeficiente de permeabilidade é da ordem de 10^{-6} cm/s.

Os parâmetros de resistência são muito variáveis. São influenciados pelo intemperismo, pelo grau de cimentação e pelo grau de saturação.

Os siltitos são rochas com fração silte superior a 55% e fração argila inferior a 20%. Apresentam plasticidade de média a alta (IP > 20%) e baixa compressibilidade. A caulinita é o argilo-mineral predominante, com ocorrência significativa de mica. O cimento é formado por óxidos de ferro (hematita) e óxidos de alumínio (gipsita). São rochas de baixa permeabilidade, com o valores de coeficiente de permeabilidade em torno de 10^{-7} cm/s.

A pressão de pré-adensamento é superior a 600kN/m^2 . O intercepto de coesão em amostras com teor de umidade natural é de 89.5kN/m^2 . Quando inundado o intercepto reduz-se para 61.7kN/m^2 . O valor de resistência à compressão simples, quando imerso em água por 24 horas, é de 658kN/m^2 . Portanto, este siltito é classificado como rocha extremamente branda.

Os arenitos são formados por mais de 60% de fração areia fina, com menos de 10% de fração argila. Possuem baixa plasticidade (IP < 10) e baixa compressibilidade. O argilo-mineral predominante é a caulinita, com cimento formado por óxidos de ferro e alumínio. O coeficiente de permeabilidade varia entre 1.9×10^{-5} e 3.3×10^{-6} cm/s. São rochas com comportamento pré-adensado ($\sigma_{vm} = 600\text{kN/m}^2$). Os parâmetros de compressibilidade

compressibilidade não são influenciados com a inundaçãõ.

O intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno, em termos de parâmetros efetivos, são 72.4kN/m^2 e 24.3° respectivamente. A resistência à compressão simples, após imerso em água por 24 horas, é de 700kN/m^2 . Portanto, este arenito é classificado como rocha extremamente branda.

SUGESTÕES

Um estudo mais profundo dos horizontes argilosos, pois devido ao curto período de tempo, estes horizontes foram analisados superficialmente. Salienta-se a dificuldade de amostragem destes horizontes, pois estes se localizam em cotas mais baixas, geralmente, recobertos por sedimentos.

Um trabalho em conjunto com os geólogos para uma definição adequada das fácies sedimentares desta Formação. Devido as grandes discordâncias existentes entre os pesquisadores.

Um interrelacionamento entre geólogos, engenheiros e pedólogos para a definição das áreas de atuação de interesse em comum visando determinar características geotécnicas para solos e rochas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREIS, R.R., BOSSI, G.E., MONTARDO, D.K. O Grupo Rosário Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul, Brasil. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriú, SC. v.2, p.659-673
2. ANDREIS, R.R., MONTARDO, D. K. Paleosolos na Formação Caturrita (Triássico Superior), Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul-Brasil. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriú, SC. v.2, p. 674-682
3. ANDRESEN, A., SIMONS, N.E. Norwegian triaxial equipment and technique. In: RESEARCH CONFERENCE ON SHEAR STRENGTH OF COHESIVE SOILS, 1960, Boulder-Colorado. Proceedings... Colorado : ASCE, 1960. p.695-709
4. BARROSO, J. A. et al. Estudos geológico-geotécnicos para estabilização de taludes de corte na BR-277 - Serra da Esperança, PR. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. ANAIS...São Paulo : ABGE, 1981. v. 3, p. 33-45
5. 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 de mestrado - Escola de Engenharia, UFRGS
6. BJERRUM, L., HUDER, J. Measurement of the permeability of compacted clays. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4, 1957, London. Proceedings... London: Butterworths Scientific Publications, 1957, v.1, p. 6-8
7. BLATT, H., MIDDLETON G., MURRAY R. Origin of Sedimentary Rocks. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1972. cap.7, p. 217-262
8. BLIGHT, G.E. Construction in Tropical soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2, 1988, Singapore. Proceedings...Rotterdam : A. A. Balkema, 1990. v.2, p. 449-467
9. BORTOLUZZI, C.A. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria - Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : Instituto de Geociências, 1971. Dissertação de Mestrado, UFRGS

10. _____ . Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, RS, Brasil. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, n.4, p. 7-86, 1974
11. BOWLES, J.E. Foundation Analysis and Design. 2ed. New York : McGraw-Hill, 1977. p. 191-205
12. CARLSTRON FILHO, C., SALOMÃO F. X. de T. Experiência acumulada em estudos geológico-geotécnicos de estabilidade de taludes em dois trechos ferroviários no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. ANAIS...São Paulo: ABGE, 1981. v.3, p. 293-304
13. CARRARO, C.C. et al. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : Instituto de Geociências, 1974. (Mapas, 8) Esc. 1:1.000.000
14. CAMPOS, J. de O. Propriedades geotécnicas e comportamento tecnológico de Arenitos da Formação Caiuá. São Paulo : Instituto de Geociências, USP, 1981. Dissertação de Doutorado
15. CHEN, F.H. Foundations on Expansive Soils. Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1974
16. COULON, F.K. Mapeamento geotécnico de Morretes e Montenegro (Rio Grande do Sul-Brasil). Porto Alegre : Instituto de Geociências, UFRGS, 1973. Dissertação de Mestrado
17. COULON, F.K., GUSSO, L.C. Contribuição ao estudo da resistência ao cisalhamento dos argilitos da Formação Rosário do Sul - RS. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, n.8, p. 43-58
18. CRUZ, P.T.da, 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
19. _____ . Solos residuais compactados de arenitos e basaltos. Publicação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, n. 438, 18p., 1970
20. DAVISON DIAS, R. Aplicação de pedologia e geotecnia no projeto de fundações de linhas de transmissão. Rio de Janeiro : COPPE, 1987. 349p. Tese (Doutorado em Engenharia)-UFRJ
21. _____ . Metodologia de estudo do comportamento geotécnico dos solos do Rio Grande do Sul visando cartografia. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, 2,

- 1989, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre : CPGEC/UFRGS, 1989. p. 228-247
22. DAVISON DIAS, R., GEHLING, W. Y. Y., ROISEMBERG, A. Contribuição ao estudo de solos residuais do Planalto Meridional no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro : 1981, p. 147-164
 23. DAVISON DIAS, R. & GEHLING, W.Y.Y. Considerações sobre solos porosos tropicais. Porto Alegre : CPGEC/UFRGS, 1983. (Caderno Técnico, 54)
 24. DAVISON DIAS, R., MILITITSKY, J. Proposta de um sistema de classificação de unidades geotécnicas e definição de perfis compostos de solos tropicais e subtropicais. (trabalho inédito)
 25. DEERE, D.V., PATTON, F.D. Slope stability in residual soils. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4, 1971, San Juan, Puerto Rico. Proceedings... New York : ASCE, 1971. v.1, p.87-170
 26. DOBEREINER, L., FREITAS, M.H.de Geotechnical properties of weak sandstones. *Geotechnique*, London, v.36, n.1, p.79-94, Mar. 1986
 27. DOBEREINER, L. et al. Processos de alteração em rochas argilosas de algumas formações brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. Anais... São Paulo : ABGE, 1990. v.1, p.145-162
 28. EL-SOHBY, M.A., MAZEN, S.O., ABOU-TAHA, M.M. Effect of apparatus deformability on swelling pressure. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 12, 1989, Rio de Janeiro. Proceedings... Rotterdam : A.A. Balkema, 1989. v.1, p.589-592
 29. FERRAZ, J.L., MINICUCCI, L.A., ARMELIN, J. L. Caracterização geotécnica preliminar do Arenito Caiuá ocorrente no Pontal do Parapanema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p.55-70
 30. FERREIRA, R.C. et al. Análise de alguns fatores que influem na resistência à compressão do Arenito Bauru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p.89-102
 31. _____ . Considerações sobre alguns modelos para

- análise de ensaios de permeabilidade em estratos de Arenito Bauru. In: CONGRESSO GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p. 71-88
32. FONTES, L.E.F., FONTES, M.P.F. Glossário de termos e expressões em ciência do Solo. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 97p.
33. FREDLUND, D.G. et al. The shear strenght of unsaturated soils . Canadian Geotechnical Journal, v.15, n.3, p.313-321, 1978
34. GAMA, E. M. da, FRAZZO, E. B. Comportamento geomecânico de um maciço de Arenito Caiuá / Divisa dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p.71-88
35. GAMERMANN, N. Formação Rosário do Sul. Porto Alegre : Instituto de Geociências, 1970. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Instituto de Geociências, UFRGS
36. _____ . _____ . Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, v.3, p.59-68, 1974
37. _____ . Análise textural da Formação Rosário do Sul. Pesquisa do Instituto de Geociências, Porto Alegre, v.2, p. 91-109, 1973
38. GAMERMANN, N., REISCHL, J.L. Minerais pesados da Formação Rosário do Sul. Pesquisa do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, v.3, p.59-68, 1974
39. GANDOLFI, N., ZUQUETTE, L.V., OLIVEIRA, J. B. de Pedologia como fonte de dados para o mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. Anais... São Paulo : Sociedade Brasileira de Geologia, 1986, v.1, p.525-529
40. GEOLOGICAL SOCIETY The logging of rock cores for engineering purposes. Quarterly Journal for Engineering Geology, v.3, n.1, p.1-24, 1970
41. GIDIGASU, M.D. Geomechanics in tropical soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2, 1988, Singapore. Proceedings... Rotterdam : A. A. Balkema, 1988. v.2, p.495-505
42. GROMKO, G. J. Review of expansive soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, v.100, n.6, p.667-687, June 1974
43. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY Commission of Engineering Geological Mapping.

- Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I : Rock and soil materials. Krefeld, 1979. p.364-371 (Bulletin, 19)
44. INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests Suggested methods for determining the uniaxial compressive strenght and deformability of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, v.16, n.2, p.135-140, Apr. 1979
 45. KLAMT, E. Estilo de relatório de levantamentos semi-detalhado de solos e seus usuários mais comuns. Boletim Informativo da Sociedade brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.3, p.84-94, 1987
 46. _____. Relevância da pedologia na avaliação do comportamento dos solos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUB-TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, 2, 1989, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre : CPGEC/UFRGS, 1989. p.13-24
 47. KOPPE, J.C. Caracterização geotécnica e análise estatística de um solo residual da Formação Rosário do Sul na região do III Polo Petroquímico - RS. Porto Alegre : CPGEC, 1982. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS
 48. KOPPE, J. C., COULON, F. K. Análise estatística dos ensaios de penetração dinâmica e estática em solo residual da Formação Rosário do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p. 155-165
 49. KOSHIMA, A., IMAIZUNI, H., PACHECO, I. B. Arenito Bauru determinação de suas propriedades geotécnicas e aplicações ao projeto de um canal de grandes dimensões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p. 119-141
 50. LAMBE, T.W. Soil testing. New York : John Wiley e Sons, inc., 1951. 165p.
 51. LARACH, J. O., SOUZA, J. L. R. de, SILVEIRA, C. O. de Levantamentos pedológicos no Brasil, executados pelo S.N.L.C.S - EMBRAPA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981, Rio de Janeiro. Anais.. Rio de Janeiro : COPPE/UFRJ, 1981. p. 13-29
 52. LAVINA, E. L. Considerações sobre o paleoambiente da Formação Sanga do Cabral (Grupo Rosário do Sul) na

- Região Norte da Folha de Cataçuba (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. v.2, p. 792-804
53. LEMOS, R. C. de, SANTOS, R. D. dos Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. 46p.
 54. LIMA, M. C. F. S. et al. Paleoictiologia da Formação Santa Maria (Grupo Rosário do Sul), RS - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. v.2, p. 563-577
 55. LOPES, A. da S., MARTINS, M. de A. Utilização de arenito brando em construção de barragens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.2, p. 187-203
 56. MACIEL FILHO, C. L. Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria,RS. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 1977. Dissertação de mestrado
 57. MACIEL FILHO, C. L., GASPARETTO, N. V. C. Metodologia empregada no mapeamento geotécnico das Folhas de Camobi e Santa Maria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo : ABGE, 1987. v.2, p. 291-301
 58. MACIEL FILHO, C.L., OSÓRIDO, L.C. As argila expansivas e o fraturamento de paredes em Santa Maria (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo : ABGE, 1981. v.3, p. 205-220
 59. MACIEL FILHO, C.L., VIRGILI, J.C., COSTANZO JUNIOR, J. Contribuição à cartografia geotécnica da região de Santa Maria (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, 1978, São Paulo. Anais... São Paulo : ABGE., 1978. v.1, p. 267-280
 60. MACIEL FILHO, C. L. Carta geotécnica de Santa Maria. Santa Maria : Centro de Ciências Naturais e Exatas (Departamento de Geociências), 1990
 61. MEDEIROS, E. Estratigrafia do Grupo São Bento na região de Santa Maria e considerações sobre paleocorrentes. Porto Alegre : Instituto de Geociências, 1980. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UFRGS
 62. MEDINA, J., LIU, B. S. The influence of collapsible foundation on the design of Guri embankment dams. In: TRANS. 14th INT. CONG. LARGE DAMS, 2, 1982, Rio de Janeiro. Proceedings... ,1982. p.241-260

63. MITCHELL, J.K., SITAR, N. Engineering properties of tropical residual soils. In: SPECIALTY CONFERENCE ON ENGINEERING AND CONSTRUCTION IN TROPICAL AND RESIDUAL SOILS, 1982, Honolulu, Hawaii. Proceedings...New York : ASCE, 1982. p. 30-57
64. MONTARDO, D.K. Análise de argilo-minerais das Formações Santa Maria e Caturrita (Grupo Rosário do Sul, Triássico), Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. v.2, p. 765-776
65. MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1961
66. MORRIS, R.H. Geologia geral das quadriculas de Gravataí, Taquara e Rolante (Rio Grande do Sul-Brasil). Porto Alegre : Escola de Geologia, UFRGS, 1963. (Publicação Especial, 5)
67. NOGAMI, J.S. A tecnologia rodoviária e as peculiaridades dos nossos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, 1978, São Paulo. Anais...São Paulo : ABGE, 1978. v.1, p. 95-103
68. ORLANDINI, R. Estudo geomecânico de perfis típicos de solos com substrato de arenito visando mapeamento geotécnico. Porto Alegre : CPGEC, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS
69. PENTEADO, M. M., RANZANI, G. Problemas geomofológicos relacionados com a gênese dos solos podzolizados Marília. Sedimentologia e Pedologia, São Paulo, USP, n.6, 23p., 1973
70. PIMENTA et al. Escavação experimental em arenito Bauru In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. Anais... São Paulo: ABGE, 1981. v.3, p.255-275
71. PONÇANO, W.L., KERTZMAN, F. F., SALOMÃO, F. X. T. Fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos no desenvolvimento de boçorocas na Bacia do Peixe Paranapanema - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo : ABGE, 1987. v.2, p. 413-418
72. PORTER, A. A., NELSON, J. D. Strain controlled testing of expansive soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPANSIVE SOILS, 4, 1980, Denver, Colo. v.1, p. 34-44
73. PRANDINI, F. L. et al. Uma carta geotécnica dos terrenos adjacentes ao canal do rio Tietê, de Osasco a Garulhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, 1978, v.1, p. 281-296

74. 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)
75. QUEIROZ NETO, J. P. de et al. Cronologia da alteração dos solos da região de Marília, SP. *Sedimentologia e Pedologia*, São Paulo, USP, n.5, 52p., 1973
76. RAMOS, A. N., FORMOSO, M. L. L. Clay mineralogy of the sedimentary rocks of the Paraná Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.1, n.6, p. 15-42, 1976
77. ROCHA, G. C. Estatigrafia pedológica : o uso da geologia para estudo dos solos. *Revista Geografia*, São Paulo, UEL, v.2, n.2, p. 34-37, 1984
78. SANTOS, M.T.N. dos, FREITAS, C.G.L. de, SALOMÃO, F.X.T. Utilização da pedologia em um estudo geológico-geotécnico para implantação do projeto de irrigação do distrito agroindustrial do Jaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema, SC. *Anais...* São Paulo : ABGE, 1976. v.1, p. 401-416
79. SCHNEIDER, R.L. et al. Revisão estatigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. v.1, p. 42-65
80. SILVA FILHO, B. C. da Comportamento expansivo de algumas formações sedimentares no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. *Estudos tecnológicos Acta Geológica Leopoldensia*. São Leopoldo, v.1, n.1, p. 51-120, 1976
81. SILVEIRA, E.B.S., SILVEIRA, A. Investigação do Arenito decomposto de São Carlos, para fundação de pequenas construções. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DOS SOLOS, 2, 1958, Recife-Campina Grande. *Anais...* São Paulo : ABMS, 1958. v.1, p. 77-110
82. SIMÕES, P.R.M. Propriedades expansivas dos massapés compactados. Rio de Janeiro : PUC, 1975. 120p. Dissertação de Mestrado
83. SKEMPTON, A. W. The colloidal activity of clays. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3, 1953, Zurich. *Proceedings...* Zurich, 1953. v.1, p. 57-63
84. SOARES, P. C. Divisão estatigráfica do mesozóico no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 5 (4), p. 229-251, 1975

85. SOWERS, G. F. Shallow foundations. In: LEONARDS, G.A. (Ed.) *Foundation engineering*. New York : McGraw-Hill, 1962. Cap. 6, p. 525-632
86. TOVEY, N.K. Microfabric, chemical and mineralogical studies of soils: techniques. *Geotechnical Engineering*, v.17, 1986. p. 131-165
87. TOWNSEND, F. C. Geotechnical characteristics of residual soils. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, v.111, n.1, p. 77-94, Jan. 1985
88. VARGAS, M. Collapsible and expansive soils in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2, 1988, Singapore. *Proceedings...* Rotterdam : A. A. Balkema, 1990. v.2, p. 489-492
89. ._____ . 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
90. ._____ . Engineering properties of residual soils from south-central region of Brazil. In: INTERNACIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 2, 1974, São Paulo. *Proceedings ...* São Paulo: ABGE, 1974. v.1, p.IV-pc-5.1/5.25.
91. ._____ . Some engineering properties of residual clay soils occurring in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3, 1953, Zurich. *Proceedings..* Zurich, 1953. v.1, p. 67-71
92. VAUGHAN, P. R. Characterising the mechanical properties of in-situ residual soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2, 1988, Singapore. *Proceedings...* Rotterdam : A. A. Balkema, 1990. v.2, p. 469-487
93. VIEIRA, L. S. *Manual de ciência do solo*. São Paulo : Agronomia Ceres, 1975. 464p.
94. WESLEY, L.D. Influence of structure and composition on residual soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, v.116, n.4, p. 589-603, 1990
95. WHITE, I.C. *Relatorio sobre as "Coal Measures" e rochas associadas do sul do Brasil*. Relatório final da comissão de estudos das minas de carvão de pedra do Brasil. Rio de Janeiro : 1908

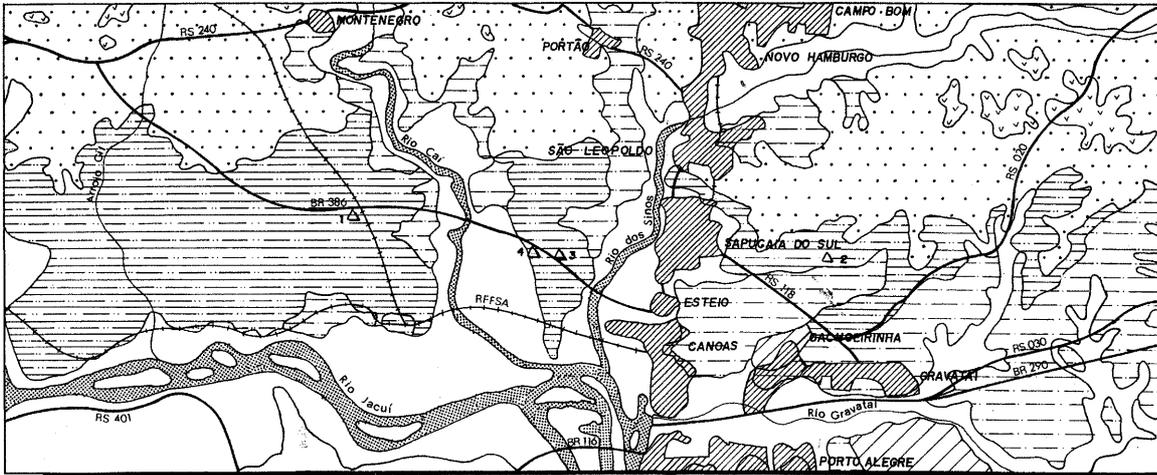
96. ZUQUETTE, L. V., GANDOLFI, N. Metodologia de mapeamento geotécnico para áreas municipais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo : ABGE, 1987. v.2, p. 303-312

ANEXO I

**MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE
ESCALA 1:250.000**

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - 1991

Baseado nos Mapas do: DNPm (1989)
RADAM BRASIL (1986)
COULON (1973)



Convenções

	Qdf/Qlf Depósitos fluviais e luviais.		Cidades
	TQl Leques Aluviais - eluviões e coluviões (inclui depósitos das formações Gravataí, Serra de Tapas e Gravalm).		Rios
	JKg Formação Serra Geral.		Rodovias
	TRJb Formação Botucatu - arenitos de origem eólica.		Ferrovias
	IKB Formação Rosário do Sul - arenitos intercalados com siltitos de origem fluvial e argilitos e siltitos da planície de inundação.		Perfil investigados
	Prb Formação Rio Bonito - siltitos, folhelos, arenitos associados com carvão.		



ESCALA 1 : 250.000

0 km 250 500 750 1000 250 km

AUTOR: RINALDO J. B. PINHEIRO - CPGEC/UFRGS.

ORIENTADOR: REGINA DAVISON DIAS - DSc - CPGEC/UFRGS.

ARTE: CLAUDIA K. C. PEREIRA - UFRGS.

ANEXO II

**QUADRO RESUMO COM OS RESULTADOS OBTIDOS NOS
HORIZONTES DOS PERFIS ORIUNDOS DA FORMAÇÃO ROSÁRIO DO SUL**

QUADRO RESUMO COM OS RESULTADOS OBTIDOS NOS HORIZONTES
DOS PERFIS ORLUNDOS DA FORMAÇÃO ROSÁRIO DO SUL

HORIZONTE DIÁSTOS.	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTÊNCIA			TEOR DE UNIDADE W (%)	PESO ESPECÍFICO - kN/m ³			ÍNDICE DE VAZIOS (e)	POROSIDADE (%)	GRAU DE SATURAÇÃO (%)	CLASSIFICAÇÃO sucrs triang.	COMPACTAÇÃO		ANÁLISE MINERALÓGICA	PERMEABIL. (cm/s)	EXPANSÃO (%/m ²)	COMPRESSIBILIDADE				CISALHAMENTO DIRETO				TRIAxIAL				RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (24 HORAS DE IMERSÃO) kN/m ²
	argila (%)	siltite (%)	areia fina (%)	areia grossa (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)		real	natural	ap. seco					p. esp. nat. (kN/m ³)	W _{líq} (%)				natural	inundado	natural	inundado	Co	Cc	NATURAL coesão (kN/m ²)	ang. atri. (0)	INUNDADO coesão (kN/m ²)	ang. atri. (0)	parâmetros efetivos coesão ang. atri. (kN/m ²) (0)	parâmetros totais coesão ang. atri. (kN/m ²) (0)	
HORIZONTE R	31-39# 35#	20-34 26	30-41 37	1-4 2	33-47 39	18-37 25	9-22 14	12,3-24,5 19,8	26,1-26,8 26,5	18,2-19,3 18,9	15,2-16,3 15,6	0,63-0,75 0,70	38,7-42,7 41,0	71,5-87,6 66,0	ML/CL fr. argil.	15,6-16,0 15,8	21,2-23,6 22,3	caulinita	2,6x10 ⁻⁵ 8,2x10 ⁻⁵	N.S. -	260-385 345	240-385 314	0,20-0,38 0,28	0,18-0,32 0,22	27,1-49,0 41,6	25-32 29	18,1-45,2 31,4	24-27 26	-	-	-	-	
HORIZONTE C ARENILOSO	39-48 43,5	25-45 35	7-45 21,5	0	58-64 61	18-20 19	38-46 42	21,2-24,0 22,6	26,3-26,6 26,5	17,50 14,10	14,10	0,80	44,4	79,5	CH fr. argil.	-	-	monteorilonita	-	100 a 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HORIZONTE C ARENOSO	9-20 13	11-39 28	50-72 58	1-4 1	27-47 39	19-32 26	5-22 13	12,6-26,9 22,2	26,2-26,8 26,4	17,2-18,9 18,0	14,0-15,8 14,8	0,69-0,96 0,80	40,7-46,6 3,7	49,3-85,6 74,2	ML/SM/ SC fr. aren.	15,2-17,8 16,2	15,7-22,6 19,7	caulinita e monteorilonita	3,4x10 ⁻⁶ 5,9x10 ⁻⁷	0 a 12,5	260-385 345	240-385 314	0,20-0,38 0,28	0,18-0,32 0,22	33,6-71,4 55,3	19-29 25,6	5,0-65,3 38,7	22-28 24	40,9-46,7 43,8	26,1-29,1 27,6	72,4-97,7 85,1	10,3-11,6 10,9	100
HORIZONTE R SILTITO	18	58	23	1	50	28	22	24,2-34,2 28,7	26,7	17,1-19,2 18,3	13,5-17,6 14,5	0,75-1,00 0,85	47,9-56,0 6,7	75,2-98,7 87,3	MH fr. silt.	-	-	caulinita e trapas de monteorilonita	1,3x10 ⁻⁷ 3,1x10 ⁻⁷	0 a 100	690	575	0,33	0,30	89,5	22	61,7	36	-	-	-	-	858
HORIZONTE R ARENITO	7	30	62	1	32	23	9	25,2-23,7 24,6	26,3	19,3-19,7 19,5	15,6-15,8 15,6	0,66-0,69 0,66	39,9-40,7 0,4	96,6-98,5 95,4	SC fr. aren.	-	-	caulinita e monteorilonita	1,91x10 ⁻⁵ 3,25x10 ⁻⁶	N.S.	600	600	0,18	0,19	-	-	-	-	72,4	24,3	137,7	7,5	700

valores máximos e mínimos

valores médios

N.S. não significativo