UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005950

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS
DOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO DE GRANITOS
E GNAISSES NOS ARREDORES DA CIDADE
DE SÃO PAULO.

Helder de Godoy

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome
Presidente:	<u>Dr. A. Carvalho</u>
Examinadores:	<u>Dr. N. Gandolfi</u>
	<u>Dr. J.B. Sígolo</u>

ass.

SÃO PAULO
1992

Aos meus pais: Antonio e Luzia,
e sobrinhos: Daniela, Douglas,
Meiriele, Naiara e Rafael.

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE FIGURAS	iii
RELAÇÃO DE QUADROS E TABELAS	vi
RELAÇÃO DE FOTOS	vii
AGRADECIMENTOS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
 INTRODUÇÃO	 1
 1ª PARTE: CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E MATERIAS E MÉTODOS.	 4
 Capítulo I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 5
I.1 - A ENGENHARIA E OS SOLOS	5
I.1.1 - Caracterização e classificação de solos	6
I.1.2 - Os solos saprolíticos	13
I.2 - OS SOLOS E A GEOLOGIA / PEDOLOGIA	15
I.3 - CONCLUSÕES	20
 Capítulo II - MATERIAIS E MÉTODOS	 22
II.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE AMOSTRAGEM	22
II.1.1 - Área de estudo	22
II.1.2 - Aspectos geológicos	25
II.1.3 - Coleta de amostras	27
II.2 - TÉCNICAS DE ESTUDO	28
II.2.1 - Preparação do material	28
II.2.2 - Análises e separações granulométricas	31
II.2.3 - Mineralogia e Micromorfologia	32
II.2.4 - Ensaaios geotécnicos	33
II.3 - CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA	37

2ª PARTE: RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
Capítulo III - CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DOS PERFIS ESTUDADOS	39
Capítulo IV - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA	45
IV.1 - FRAÇÃO > 2 MM	45
IV.2 - FRAÇÃO < 2 MM	48
IV.2.1 - Fração Argila	50
IV.2.2 - Fração Silte	51
IV.2.3 - Fração Areia	53
IV.2.4 - Análise do material compactado	55
Capítulo V - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E MICROMORFOLÓGICA	58
V.1 - AS FASES MINERAIS PRESENTES	58
V.2 - ORGANIZAÇÃO DOS MATERIAIS	74
V.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO DOS PERFIS	78
Capítulo VI - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	80
VI.1 - ENSAIO M-MCV	80
VI.2 - ENSAIO M-CBR	89
VI.3 - ENSAIO PERDA DE MASSA POR IMERSÃO -Pi	91
VI.4 - ENSAIO DE EXPANSÃO	92
VI.5 - GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO	93
Capítulo VII - CORRELAÇÕES GEOLOGIA X GEOTECNIA	95
Capítulo VIII - CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
VIII.1 - CARACTERIZAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS	109
VIII.2 - RELAÇÕES ENTRE AS DIVERSAS CARACTERÍSTICAS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	121

RELAÇÃO DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema teórico de um perfil de alteração	16
FIGURA 2 - Mapas de localização dos perfis estudados	23
FIGURA 3 - Esquema das divisões dos perfis em níveis	28
FIGURA 4 - Distribuições da fração cascalho	47
FIGURA 5 - Distribuições das frações menores que 2 mm	49
FIGURA 6 - Resultados comparativos de análises granulométricas com e sem tratamento	52
FIGURA 7 - Distribuições das frações menores que 2 mm Argila, silte e areia.	54
FIGURA 8a - Resultados comparativos de análises granulométricas entre o material natural e o compactado, de alguns níveis.	56
FIGURA 8b - Resultados comparativos de análises granulométricas entre o material natural e o compactado, de alguns níveis.	57
FIGURA 9 - Difrátogramas de Raios X (amostra total) perfil 1.	60
FIGURA 10 - Difrátogramas de Raios X (amostra total) perfil 2	61
FIGURA 11 - Difrátogramas de Raios X (amostra total) perfis 3 e 4.	62
FIGURA 12 - Difrátogramas de Raios X (fração argila) perfil 1	63
FIGURA 13 - Difrátogramas de Raios X (fração argila) perfil 2	64
FIGURA 14 - Difrátogramas de Raios X (fração argila) perfil 4	65
FIGURA 15 - Curvas de 12 golpes correspondentes aos níveis do solum	82
FIGURA 16 - Curvas de 12 golpes correspondentes aos níveis da alterita	82
FIGURA 17 - Níveis representados pelos pontos de maior densidade das curvas de 12 golpes	84

FIGURA 18 - Comparações entre as frações argila / silte e densidade máxima alcançada em 12 golpes, por cada nível	86
FIGURA 19 - Níveis representados pelos pontos de maior densidade na aplicação das maiores energias	88
FIGURA 20 - Valores de M-CBR correspondentes à umidade ótima da curva de 12 golpes	90
FIGURA 21 - Frações menores que 0,075 mm	99
FIGURA 22 - Estruturas dos solos compactados	107
FIGURA 23 - DIAGRAMAS TRIANGULARES DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL	122
FIGURA 24 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 1	123
FIGURA 25 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 2	124
FIGURA 26 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 3	125
FIGURA 27 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 4	126
FIGURA 28 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 5	127
FIGURA 29 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 10	128
FIGURA 30 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 11	129
FIGURA 31 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 12	130
FIGURA 32 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 13	131
FIGURA 33 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 14	132
FIGURA 34 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 15	133
FIGURA 35 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 1 - NÍVEL 16	134
FIGURA 36 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 2 - NÍVEL 20	135
FIGURA 37 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 2 - NÍVEL 21	136
FIGURA 38 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 2 - NÍVEL 22	137
FIGURA 39 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS PERFIL 2 - NÍVEL 23	138

FIGURA 40 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 2 - NÍVEL 24	139
FIGURA 41 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 3 - NÍVEL 30	140
FIGURA 42 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 3 - NÍVEL 31	141
FIGURA 43 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 3 - NÍVEL 34	142
FIGURA 44 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 4 - NÍVEL 40	143
FIGURA 45 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 4 - NÍVEL 41	144
FIGURA 46 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 4 - NÍVEL 44	145
FIGURA 47 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 5 - NÍVEL 50	146
FIGURA 48 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 5 - NÍVEL 51	147
FIGURA 49 - RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	
PERFIL 5 - NÍVEL 56	148

RELAÇÃO DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1 - Sistema de classificação do H.R.B.	7
QUADRO 2 - Gráfico de Classificação dos solos	12
QUADRO 3 - Propriedades dos grupos de solos	12
QUADRO 4 - Localização, rocha de origem e espessura dos perfis estudados	24
QUADRO 5 - Roteiro de análises dos solos em seu estado natural	29
QUADRO 6 - Roteiro de ensaios e análises dos solos compactados	30
QUADRO 7 - Representação gráfica dos ensaios M-MCV	35
QUADRO 8 - Classificação dos solos - Gráfico	94

TABELAS

TABELA 1 - Resultados das análises granulométricas	46
TABELA 2 - Resultados dos ensaios geotécnicos	81

RELAÇÃO DE FOTOS

FOTO 1 - Granito de Itu, perfil 1 Detalhe das tonalidades da alterita, nível 14.	40
Foto 2 - Granito de Itu, perfil 1 Bloco de rocha preservado nível 13.	40
FOTO 3 - Gnaiss de Atibaia, perfil 2. Detalhe do aspecto anisotrópico da alterita, nível 23.	41
FOTO 4 - Gnaiss de Bragança, perfil 3. Aspecto geral do perfil, com feições de erosão.	42
FOTO 5 - Gnaiss de Bragança, perfil 3. Detalhe do aspecto anisotrópico da alterita, nível 34.	42
FOTO 6 - Granito Itaquí, perfil 4. Aspecto geral do perfil.	43
FOTO 7 - Gnaiss Itatiba, perfil 5 Aspecto geral do perfil.	44
FOTO 8 - Gnaiss Itatiba, perfil 5 Detalhe da cor e textura da alterita, nível 55.	44
FOTO 9 - Granito Itaquí, perfil 4, nível 44. Detalhe de grão de quartzo em assembléia. M.O., Luz Pol. 125 X	66
FOTO 10 - Granito Itaquí, perfil 4, nível 44. Estruturas em "box-work". M.O., Luz Nat. 125 X	69
FOTO 11 - Granito Itu, perfil 1, nível 15. Acordeons de caolinita. M.O., Luz Pol. 79 X.	71
FOTO 12 - Gnaiss Atibaia, perfil 2 nível 24. Acordeons de caolinita. M.O., Luz Pol. 312 X.	71
FOTO 13 - Gnaiss Bragança, perfil 3, nível 34. Fração silte. Acordeon de caolinita. MEV, 1.000 X.	71
FOTO 14 - Gnaiss Atibaia, perfil 2 nível 23. Fração silte. Detalhe do acordeon de caolinita. MEV, 5.000 X.	71

FOTO 15 - Gnaiss Bragança, perfil 3, nível 30.
Detalhe dos Microagregados. M.O.,
Luz Nat. 125 X.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido graças à colaboração de diversas pessoas e instituições, a quem desejo externar meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, aos meus pais e irmãos pelo constante incentivo.

Ao prof.Dr. Adilson Carvalho pelo empenho com que me orientou.

A Maria Teresa de Nóbrega, pela colaboração nos inícios dos trabalhos de laboratório e campo.

A Tereza Bonardi e família pelo apoio no início da minha formação universitária.

Ao prof. Dr. Job S. Nogami, da Escola Politécnica da USP, pelo incentivo e inúmeras sugestões apresentadas à pesquisa, e também pela permissão para uso do laboratório de ensaios geotécnicos.

Aos profs. Drs. Maria Cristina de Toledo Gloke e Joel Barbujianni Sígolo pelas inúmeras discussões que muito contribuíram com a minha formação ao longo desses anos.

Ao Edson de Moura - Escola Politécnica-pela cooperação na realização dos ensaios geotécnicos.

As secretárias: Nícia e Ruth - DGG, Madalena e Regina -Pós-Graduação pelo atendimento paciente ao longo do desenvolvimento do trabalho.

A Cleide, Ismael, Samuel, Sueli e Verônica -IG, Helder Rosana -IAG pela colaboração indispensável em seus laboratórios.

Ao Jaime S. Marcos pela inestimável ajuda na confecção das fotografias.

As colegas Ivone Sonoki e Maria Luiza pela assessoria no uso do micro.

Aos colegas Arnaldo e Rosely pelas discussões e sugestões apresentadas.

A Maria Aparecida, Cícero e Estela pelo atendimento sempre cordial na biblioteca.

A Sonia pela reprodução dos exemplares, e ao Sr. Dalton e equipe pelo acabamento gráfico do texto final.

Aos amigos Antonio Carlos e Ignácio pelas sugestões apresentadas ao texto.

A FAPESP e CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram, e que não foram nomeados, meus agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho trata da caracterização geológica e geotécnica, para fins rodoviários, de produtos de alteração de granitos e gnaisses nos arredores da cidade de São Paulo.

Os estudos foram realizados em perfis de solo, com ênfase aos solos ditos saprolíticos, que ao lado dos lateríticos, constituem as duas grandes classes de solos, quanto ao seu comportamento geotécnico.

Foram estudados 5 perfis de alteração, sendo 2 em corpos graníticos (Itu e Itaqui) e 3 em gnaisses (Complexo Amparo), nos quais foram realizadas caracterizações macroscópicas, granulométricas, mineralógicas, micromorfológicas e geotécnicas.

Os perfis de alteração de granitos foram diferenciados dos de gnaisses pelas características macroscópicas, com exceção do perfil 5, que apresentava uma aparente isotropia, e que, no entanto, ao microscópio revelou tratar-se de material oriundo de gnaisse.

As caracterizações geológicas e geotécnicas realizadas nos materiais estudados permitiram o estabelecimento de várias considerações:

1) Os níveis do solum apresentam características diferentes das alteritas, apesar do elenco mineralógico ser basicamente o mesmo. No entanto, os minerais presentes em cada conjunto diferem no tamanho, forma, tipo de associação e quantidade relativa.

2) Entre os perfis ocorrem semelhanças que permitem separá-los em dois grandes grupos.

No grupo 1 (perfis 1 e 5), o elenco mineralógico é composto de quartzo, feldspatos, micas, caolinita, goethita e gibbsita; já no grupo 2 (perfis 2, 3 e 4), não se constatou a presença de feldspatos e aparece uma maior quantidade de minerais secundários. Nesse grupo, a granulometria é mais fina

(argila + silte), os valores de densidade são menores, P_i com maiores variações, valores de Expansão maiores e os valores de M-CBR não colaboraram com a diferenciação.

Esta divisão em grupos é decorrência da atuação diferenciada da alteração, que por sua vez, tem como principal condicionante o grau de deformação (fraturamento) sofrido pelas rochas.

3) Quanto às relações emergentes entre as diversas características observa-se que a maior quantidade de minerais primários (quartzo + feldspatos) fornece uma granulometria mais grosseira, materiais com densidades maiores na compactação, menor faixa de variação da P_i e menores valores de Expansão.

Por outro lado, correlações mais estreitas tornam-se difíceis de serem estabelecidas, pois, atualmente, existem obstáculos na determinação da quantidade, tamanho e forma dos minerais ou de seus agregados.

Finalmente, os resultados obtidos mostram que estudos da organização (estrutura) dos materiais podem ser muito úteis para fornecer respostas para muitos dos problemas de correlações, uma vez que é atribuída à estruturação do solo boa parte da resistência a esforços que esse material pode suportar.

ABSTRACT

The present work deals with the geological and geotechnical characterization of granites and gneisses alteration products in the neighbourhood of São Paulo city, for road-making purposes.

Studies have been done in soil profiles, with emphasis on the so-called saprolitic soils, that together with the lateritic ones, constitute the two great classes of soils, regarding their geotechnical behavior.

The study was carried out on five weathering profiles: two profiles developed on granitic bodies (Itu and Itaquí) and three profiles on gneissic ones (Amparo Complex). Macroscopic, granulometric, mineralogical, micromorphological and geotechnical characterizations have been done in all studied materials.

The granitic alteration profiles have been differentiated from the gneissic ones through the macroscopic characteristic, except for the profile 5 that, despite showing apparent isotropy, under microscopic observation it was identified as a material formed on gneiss.

The geological and geotechnical characterizations carried out on the studied materials allowed the following considerations:

- 1) The solum levels showed different characteristics as compared with the alterites, although the mineralogical composition being practically the same. However, the minerals found in each group differ in size, shape, kind of association and relative amount.

- 2) There are similarities of characteristics among the profiles which allow to separate them in two great groups.

The group 1 (profiles 1 and 5), presents a mineralogical composition that includes quartz, feldspars,

micas, kaolinite, goethite and gibbsite. In the group 2 (profiles 2, 3 and 4), it was noticed an absence of feldspars and a greater amount of secondary minerals. In this group, the granulometry is finer (clay and silt), the density values are smaller, and they present P_i greater variations, bigger swelling and the M-CBR values which don't corroborate the differentiation.

This division in groups is a result of the differentiated performance of the weathering, which, in its turn has as main conditioning factor, the deformation degree (fracturing) suffered by the rocks.

3) Regarding the relationship of the many features, it was noticed that the greater amount of primary minerals (quartz + feldspars) supply a coarser granulometry; materials with greater densities of compactation; smaller degree of variation of P_i and smaller swelling values.

On the other hand, closer correlations are difficult to be established as, presently, there are problems in the determination of amount, size and shape of clay-minerals and their aggregates.

Finally, the results showed that the studies of the material organization (fabric) may be very useful to answer to many of the correlations problems, considering that it is attributed to the soil struration a great part of the resistance to efforts which this material can bear.

INTRODUÇÃO

GENERALIDADES

O interesse por materiais de construção tem sido cada vez maior devido ao ritmo imposto pelas construções em geral, e nesse particular os produtos de alteração de rochas têm despertado interesse por apresentarem facilidade de extração.

Em regiões de clima tropical, o manto de alteração de rochas se reveste de grande importância porque ocorre em grandes extensões e sua espessura pode alcançar várias dezenas de metros, tornando-se, assim, uma vasta fonte de matéria prima.

O manto de alteração, para o meio geotécnico e, mais especialmente, para a mecânica de solos, pode ser dividido em dois tipos principais de materiais: os solos lateríticos e os solos saprolíticos.

Esses solos constituem um importante campo de pesquisa da geologia aplicada à engenharia, pois grande parte das obras civis como estradas, pequenas barragens, aeroportos, aterros, etc., são construídas sobre e/ou com esses materiais. A sua frequência, no estado de São Paulo, é apreciável, pois formam um manto bem desenvolvido e de grandes extensões sobre os diferentes tipos de rochas.

Na caracterização geotécnica de materiais para uso em construção de rodovias, em regiões de clima tropical, são normalmente usados métodos empíricos desenvolvidos em países de clima temperado, cuja aplicação tem causado problemas na definição e execução de projetos.

As previsões de comportamento fornecidas pelos ensaios utilizados por esses métodos geralmente não correspondem ao comportamento encontrado quando da efetiva utilização dos solos nas obras.

Tendo em vista as dificuldades de aplicação dos métodos estrangeiros, algumas tentativas têm sido feitas, nos últimos anos, para sanar esse problema, utilizando outros parâmetros. Entre essas tentativas, a que tem apresentado melhores

resultados, e que já começa a ser adotada por algumas entidades ligadas à engenharia rodoviária, como por exemplo: CIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, é a sistemática de ensaios desenvolvida por Nogami & Villibor (1980 e 1981), utilizando corpos de prova de dimensões reduzidas. Essa classificação contempla as duas classes principais de solos: os lateríticos e os saprolíticos.

Essa proposta, segundo os autores acima, veio preencher uma lacuna relativamente significativa na área de pavimentação, mas não tem cunho definitivo; portanto, outros trabalhos deverão ser desenvolvidos como complementares para um melhor conhecimento dos nossos solos. Inclusive para esclarecer a abrangência dos termos lateríticos e saprolíticos, pois, atualmente existem divergências nos seus usos.

Serão enfatizados, neste trabalho, os materiais geotecnicamente conhecidos como solos saprolíticos por serem os mais problemáticos na área de pavimentação e os de maior representatividade na área do embasamento cristalino paulista.

Os perfis de alteração a serem estudados são de granitos e gnaisses, próximos às cidades de Barueri, Itu, Itatiba, Bragança Paulista e Atibaia. Esses dois tipos de rochas foram escolhidos por serem os mais representativos na área do embasamento em São Paulo.

Dentro desse contexto, o presente trabalho apresenta:

- revisão bibliográfica das metodologias mais usuais de classificações de solos, e dos conceitos mais utilizados no meio geotécnico e na pedologia/geologia;
- materiais e métodos utilizados;
- caracterizações geológicas e geotécnicas dos perfis de alteração;
- considerações sobre as correlações dos resultados.

OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são, em primeiro lugar, caracterizar geológica e geotécnicamente os perfis de alteração sobre granitos e gnaisses, procurando-se ressaltar as diferenças entre essas rochas e entre os solos lateríticos e os saprolíticos. Em segundo lugar, é procurado o estabelecimento de relações entre as características geológicas e as geotécnicas dos materiais em estudo.

São enfatizados os seguintes pontos:

- 1) Caracterização macroscópica;
- 2) Caracterização granulométrica;
- 3) Caracterização mineralógica e micromorfológica;
- 4) Caracterização geotécnica;
- 5) Considerações sobre as relações entre os resultados.

ASPECTOS TERMINOLÓGICOS

Apresenta-se a seguir uma relação de termos e seus significados utilizados neste trabalho.

Solo: material de um perfil de alteração, abrange desde o horizonte A até a rocha fresca.

Solo laterítico: corresponde aos horizontes A e B e, eventualmente, parte do C. (Nogami, 1978).

Solo saprolítico: abrange o horizonte C e mais a rocha alterada, e devem apresentar, necessariamente, uma conservação das feições estruturais da rocha de origem. (Nogami, 1978).

Solum: conjunto dos horizontes A e B de um perfil de solo.

Alterita: conjunto que abrange desde o horizonte B até a rocha fresca.

Argila: fração menor que 0,002 mm.

Silte: fração entre 0,002 e 0,075 mm.

Areia: fração entre 0,075 e 2 mm.

1ª PARTE

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
DE SOLOS**

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E MATERIAIS E MÉTODOS

I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A quantidade de conceitos de solo é tão ampla quanto as atividades humanas que se relacionam com o uso desse material. Cada conceito está formulado em função do interesse particular de cada área. Há, portanto, divergências entre a pedologia/geologia e a engenharia, quanto ao uso de termos e conceitos.

Alguns dos termos, de uso comum, têm sua origem na pedologia e, portanto, de utilização já consagrada. A engenharia tomando emprestado alguns desses termos, os emprega de maneira muitas vezes inadequada. Por outro lado, mesmo dentro da própria engenharia há divergência de opiniões sobre o uso de certos termos por eles mesmos criados.

A esse respeito Gamon (1983) faz um estudo dos principais trabalhos, publicados nos últimos 30 anos, de caracterização de rochas alteradas e as suas propriedades geotécnicas, em diversas partes do globo. Comenta que, como houve pouco ou nenhum estabelecimento de terminologia descritiva padrão, o uso dos dados publicados nesses últimos anos, para a previsão do comportamento geotécnico, ao longo de uma área específica de estudo é limitado. Visto que cada autor usou terminologia específica para a sua área inviabiliza, praticamente, o seu uso em outras áreas.

Levando-se em conta os aspectos acima referidos, serão tratados, neste capítulo, em dois itens distintos, por um lado os solos do ponto de vista da engenharia e por outro o da geologia/pedologia.

I.1 - A ENGENHARIA E OS SOLOS

Uma das conceituações de solos mais difundidas na engenharia civil, e mais especialmente na mecânica dos solos, é a de Vargas (1977), onde solo é todo material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível à escavação

por meio de pá, picareta, escavadeiras, etc, e que perde toda resistência quando em contato prolongado com a água.

Na engenharia, os solos são considerados como suportes de uma obra ou como materiais de construção, sendo empregados em aterros, barragens, pavimentos de rodovias e aeroportos, etc.

Os solos ao serem usados como material de construção, devem apresentar certas características geotécnicas, capazes de conferir estabilidade e resistência mecânica aos esforços e cargas aos quais, muitas vezes, serão submetidos nas obras.

Quando os materiais encontrados no local não apresentam as características exigidas, duas opções são possíveis: a substituição desses solos ou tentar melhorar as suas propriedades geotécnicas através de métodos de estabilização, como por exemplo a adição de cal ou cimento.

Para se obter maior resistência (capacidade de suporte) e estabilidade, os solos são compactados, procurando-se alcançar a maior densidade possível, levando-se em conta o contexto custo-benefício.

I.1.1 - Caracterização e classificação dos solos

Os métodos de caracterização e classificação geral de solos para pavimentação, normalmente usados no Brasil, foram desenvolvidos nos países de clima temperado.

Desde o início da utilização dos métodos estrangeiros, há mais de 50 anos, poucas tentativas de adaptação ou desenvolvimento de novas técnicas têm sido feitas. Somente nos últimos 20 anos alguns trabalhos foram desenvolvidos a fim de apresentar alguma solução para a caracterização e classificação dos solos tropicais.

Dentro desse contexto serão tratados, no presente item, separadamente, concepções tradicionais e as atuais (genéticas) de caracterização e classificação.

I.1.1.1 - Concepções tradicionais

Os métodos tradicionais de caracterização e classificação de solos para fins de pavimentação baseiam-se nas determinações da granulometria, teor de umidade natural, densidade aparente, limites de Atterberg (que determinam os estados de consistência do solo: limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade) e a permeabilidade.

Contudo, as classificações de solos mais comuns baseiam-se essencialmente na granulometria e nos limites de Atterberg para a definição das classes. Uma das classificações mais usadas é a HRB (Highway Research Board-americano). O quadro 1 apresenta o sistema de classificação HRB, utilizado no setor de estradas, inclusive no Brasil e em outras regiões tropicais.

QUADRO 1-SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DO H.R.B.(Bueno & Villar,1980)

Classificação geral	Solos granulares ($P_{200} < 35\%$)							Solos silto- -argilosos ($P_{200} > 35\%$)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos											
Subgrupos	A1a	A1b		A24	A25	A26	A27				A75 A76
P_{10}	<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{40}	<30	<50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{200}	<15	<25	<10	<35	<35	<35	>35	>35	>35	>35	>35
LL	-	-	-	<40	>40	<40	>40	<40	>40	<40	>40
IP	<6	<6	NP	<10	<10	>10	>10	<10	<10	>10	>10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16	<20
Tipo de material	Fragmentos de pedra, fina pedregulho e areia			Pedregulhos e areias siltsas ou argilosas				solos siltsos		solos argilosos	
classificação como subleito	excelente a bom						regular a mau				

Algumas pesquisas, entre as quais as de Nogami (1976, 1978) e Nogami & Villibor (1979, 1980, 1981, 1983), mostram as dificuldades da aplicação dos procedimentos baseados na experiência e literatura estrangeiras, principalmente das regiões temperadas, no campo dos problemas geotécnicos rodoviários de regiões tropicais.

Nogami e Villibor (1980) apontam os principais problemas do método tradicional de caracterização e classificação gerais de solos para finalidades rodoviárias:

- 1) falta de correlação dos resultados obtidos pelos ensaios tradicionais com os diversos aspectos do comportamento dos solos nas obras;

- 2) demasiada dispersão dos resultados dos ensaios básicos.

Geralmente, as especificações da prospecção de solos nas diversas obras de engenharia civil, em destaque aquelas de desenvolvimento linear, estabelecem esquemas de espaçamento uniforme, sem uma orientação apoiada nas condições naturais do terreno em estudo. Tal procedimento tanto pode falhar por excesso como por falta, ocasionando, assim, problemas na amostragem e caracterização do material a ser usado, (Barroso et al., 1981).

Com referência à definição da granulometria para finalidades rodoviárias, consideram-se geralmente os valores obtidos pelo simples peneiramento por via úmida. O método contempla somente 2 classes de solos: os granulares e os siltosos e argilosos. (Quadro 1).

A percentagem da fração argila ($< 0,002$ mm) apesar de ser considerada de maior significado científico, é determinada apenas em casos especiais, através do método de sedimentação, usando como dispersante o hexametáfosfato de sódio, tamponado com carbonato de sódio. (Nogami & Villibor, 1980).

Os autores acima salientam que, de uma maneira geral, os solos granulares (menos de 35% da fração passando na peneira 0,075 mm), são considerados de melhor qualidade na construção de pavimentos. Contudo, apontam uma variável a ser levada em consideração que é a mineralogia desses solos. A partir de ensaios laboratoriais constataram que os solos granulares

constituídos somente por quartzo, apresentam características do ponto de vista de suporte, resiliência e expansão superiores às dos solos granulares, onde há predominância de minerais micáceos.

De forma geral, à medida que a percentagem da fração areia diminui nos solos, as incertezas sobre a previsão de suas propriedades e comportamento aumentam consideravelmente.

A dispersão dos resultados de ensaios de consistência é um assunto abundantemente tratado na literatura tanto nacional como estrangeira, principalmente quando se refere a solos de regiões tropicais. Entre os autores se destacam: Franciss & Carvalho (1969), Carvalho (1970), Gidigas (1976), Samara (1981), Nogami (1976), Nogami & Villibor (1980). Estes últimos autores, trabalhando dados sobre limite de liquidez e índice de plasticidade, fornecidos pelo IPT ("Programa Interlaboratorial Brasileiro") concluem que dificilmente entre nós, esses índices têm condições de serem decisivos para rejeição ou aprovação de solos para execução de pavimentos.

I.1.1.2 - Concepções genéticas

A engenharia rodoviária brasileira reconhece, há alguns anos, dois tipos principais de solos, sendo que esses tipos têm grande representatividade no território nacional:

- 1) Os solos superficiais, conhecidos como maduros;
- 2) Os solos inferiores, também conhecidos como jovens ou saprolíticos.

Esta diferenciação é genética e baseia-se, essencialmente, na grande variação de propriedades mecânicas e hidráulicas de cada tipo.

Segundo Nogami (1976), a diferenciação é acentuada nas condições prevalecentes em grande parte do território paulista, onde o mecanismo de alteração das rochas teve uma atuação considerável, favorecendo o desenvolvimento de um manto de alteração bastante espesso.

Os solos superficiais correspondem à parte pedologicamente transformada de um perfil de solo. Inclui os horizontes A e B e eventualmente parte do C, segundo os

conceitos da pedologia clássica, enquanto que, os solos inferiores compreendem a camada residual de rocha alterada.

Nogami (1978) denomina os solos superficiais de solos de comportamento laterítico ou simplesmente solos lateríticos; os solos inferiores de solos saprolíticos.

Os solos lateríticos, segundo o autor acima, são resultantes de processos pedológicos, em condições bem drenadas e clima úmido tropical. E apresentam como principais características geotécnicas: valores de suporte elevados, baixa expansibilidade, possibilidade de densidade aparente maior que a dos solos saprolíticos. Enfatiza ainda que tal denominação (solos lateríticos) tem caráter essencialmente geotécnico, e não deve ser confundida com a designação usada na pedologia.

Os métodos correntes de caracterização e classificação que usam índices físicos apresentam, para os solos lateríticos, comportamento geotécnico de baixa qualidade para aplicação em obras de pavimentação, porém esses solos, quando da sua efetiva utilização, têm comportamento de boa qualidade. Segundo Santana (1970), isto se deve à micro e macro estrutura peculiar e à mineralogia rica em óxidos de ferro e alumínio.

Por outro lado, as peculiaridades dos solos saprolíticos, principalmente os associados às rochas ácidas, tendem a resultar em comportamento inferior ao previsto pelos índices físicos. (Nogami, 1976; Barroso et al., 1981).

Observa-se, portanto, uma inadequação dos métodos tradicionais de caracterização e classificação quando se considera os tipos lateríticos e saprolíticos de solos.

Para Nogami & Villibor (1980) esses tipos de solos são indubitavelmente os mais importantes para finalidades rodoviárias em vastas áreas do território brasileiro, onde prevalece clima úmido e quente.

Estes autores concluem que o número de parâmetros geralmente considerados no estudo de solos para pavimentação é muito reduzido, impossibilitando, assim, de certa forma, um julgamento mais apropriado para aplicação na construção de pavimentos. Em consequência, propõem estudo e determinação de novos parâmetros para um conhecimento geotécnico mais aprofundado. Apresentam, no trabalho acima referido, os

fundamentos de uma nova sistemática de caracterização e classificação gerais de solos para pavimentos, tendo em vista, principalmente, os solos lateríticos e saprolíticos.

Esta sistemática baseia-se na determinação de várias características de interesse tecnológico (densidade aparente seca, umidade ótima de compactação, ordem de grandeza da permeabilidade, etc), em corpos de prova de dimensões reduzidas; e consiste, principalmente, na realização do ensaio Mini-MCV (Moisture Condition Value).

Além disso, sugerem outros ensaios, como suplementares, através da utilização dos mesmos corpos de prova, porém que avaliem propriedades dos solos mais diretamente correlacionáveis com o seu comportamento no campo. Alguns destes ensaios sugeridos seriam: contração, expansão, coeficiente de penetração de água, penetração da pintura betuminosa. Esses visam fornecer dados que auxiliem a sistemática proposta, além de elementos para elaboração de projetos.

Nogami & Villibor (1981), apresentam uma nova classificação que utiliza resultados da sistemática simplificada de ensaios, acima referida. Um dos pontos significativos dessa proposta é a não utilização de dados de análises granulométricas, por os considerarem relativamente difíceis de serem obtidos e muito dispersivos.

Essa classificação separa os solos em duas grandes classes, os solos de comportamento laterítico e os solos de comportamento não laterítico. Essas classes subdividem-se em 7 grupos.

O quadro 2 apresenta o gráfico para a classificação, e o quadro 3 traz as principais propriedades típicas dos grupos de solos.

Na parte superior do gráfico de classificação situam-se os solos de comportamento não laterítico, de símbolo "N", e na parte inferior os de comportamento laterítico "L".

As designações dos grupos significam:

- A - areia;
- A' - arenosos;
- S' - siltoso;
- G' - argiloso.

Quadro 2 - Gráfico para classificação de solos
(Nogami & Villibor, 1981)

Quadro 3 - Principais propriedades típicas dos grupos de solos (Nogami & Villibor, 1981)

CLASSES				N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"			
GRUPOS				NA AREIAS	NA' ARENOSOS	NS' SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS	
GRANULOMETRIAS TÍPICAS (minerais (1))				areias, areias siltosas siltos (q)	areias siltosas areias argilosas	siltos (k, m) siltos arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas	
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI.CBR sem imersão (%)	m.alto	>30	alto a médio	alto	médio a alto	alto	alto	alto a muito alto	alto	
		alto	12-30								
		médio	4-12								
	PERDA DE SUPORTE POR IMERSÃO (%)	baixo	<4	médio a baixa	baixa	alta	alta	baixa	baixa	baixa	
		alta	>70								
		média	40-70								
		baixa	<40								
	EXPANSÃO (%) (2)		alta	>3	baixa a média	baixa a média	média	alta a média	baixa	baixa a média	baixa a alta
			média	0.5-3							
CONTRAÇÃO (%) (2)		baixa	<0.5								
PERMEABILIDADE log(K(cm/s)) (2)		alta	>(-3)	média a alta	baixa	média a baixa	baixa a média	média a baixa	baixa	baixa	
		média	a (-3)								
			(-6)								
		baixa	<(-6)								
PLASTICIDADE	(%)	Ip	L1	baixa a NP	média a NP	média a alta	alta	NP a baixa	baixa a média	média a alta	
		alta	>50								>70
		média	7-30								30-70
		baixa	<7								<30

(1) q = quartzo, m = micas, k = caulinita; (2) Corpos de prova compactados na unidade ótima da energia "Normal", com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Outra informação que pode ser extraída do gráfico é que, no lado direito, situam-se os solos coesivos, e no lado esquerdo os solos não coesivos.

I.1.2 - Os solos saprolíticos

O termo saprolito tem sua origem no grego (*sapros* - podre, *lithos* - pedra), e foi usado primeiramente por Becker, (1895), citado por NOGAMI ET AL., (1985):

"Uma rocha completamente decomposta, friável, grosseira (terrosa), tipicamente rica em argilas, formada *in situ* por intemperização química das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Frequentemente forma uma camada ou cobertura de dezenas de metros de espessura, especialmente em clima tropical ou subtropical úmidos; a cor é comumente de tonalidade vermelha ou marron, mas pode ser branca ou cinza. O saprolito é caracterizado pela preservação da estrutura da rocha original".

Solo saprolítico ou saprolito são terminologias usadas na engenharia rodoviária brasileira, já faz muitos anos. No entanto, alguma controvérsia tem surgido quanto ao uso do termo. Outras designações para esses solos são: "solos residuais jovens", "solos de alterações de rochas", "saibros" ou ainda "piçarras".

Dos termos acima Nogami (1978) e Nogami et al. (1985), sugerem a adoção do termo solo saprolítico e o consequente abandono dos demais termos, e para a sua caracterização, do ponto de vista geotécnico, devem apresentar, necessariamente, uma conservação da macroestrutura da rocha que lhe deu origem.

Os solos saprolíticos, frequentemente, apresentam problemas na sua utilização para a construção de estradas, tendo um comportamento mecânico peculiar. Nogami (1976) aponta que a peculiaridade se acentua quando esses solos são derivados de rochas feldspático-micáceas.

As principais características geotécnicas dos solos saprolíticos estão relacionadas a seguir: geralmente são difíceis de compactar, apresentam baixa capacidade de suporte, alta expansibilidade, elevada erodibilidade, elevada ascensão

capilar, formam pó em excesso, curvas de compactação (densidade X umidade) mal definidas. (Nóbrega, 1988; Pastore, 1982; Nogami, 1985).

Nogami & Villibor (1981) em sua classificação de solos, constata grandes dispersões dos resultados dos ensaios geotécnicos, no que se refere aos solos saprolíticos constituídos essencialmente de silte caolínico ou silte micáceo. Deste modo, os solos saprolíticos constituídos desses materiais, tornam-se inapropriados para utilização como base de pavimentos, embora satisfaçam integralmente as características índices (índices de consistência).

A granulometria dos solos saprolíticos pode ser bastante variada, sendo que há predominância das frações silte e/ou areia relativamente à argila. O tipo de rocha e o grau de alteração são os dois principais fatores que condicionarão a distribuição granulométrica. As rochas quartzo-feldspáticas tenderiam a fornecer solos mais grosseiros, em oposição às rochas básicas que forneceria uma granulometria mais fina. (Nogami, 1985; Cunha et al. 1984).

Quanto às características macroscópicas, os solos saprolíticos apresentam conservação da estrutura da rocha de origem. Os vestígios dessas estruturas, tais como, veios, foliações, bandamentos, falhas, podem conferir ao material uma anisotropia acentuada. Segundo Nogami & Villibor (1983) muitas feições, contudo, podem desenvolver-se pela atuação diferenciada do processo de intemperismo, inclusive com preservação de partes relativamente inalteradas, como por exemplo a existência de blocos.

As cores dos solos saprolíticos podem ser as mais diversas, destacando-se, entretanto, as tonalidades branca, cinza, rósea, roxa, esverdeada e azulada. Segundo os autores acima, é constante a presença de manchas e mosqueamentos, juntamente com feições herdadas da rocha matriz ou desenvolvidas no processo de alteração.

Para Barroso et al. (1981), quanto maior for a complexidade mineralógica e estrutural da rocha matriz, tanto maior será a heterogeneidade dos solos saprolíticos, por exemplo, quando esses materiais originam-se de rochas quartzo-

feldspáticas e micáceas do Pré-Cambriano brasileiro, apresentam, de modo geral, anisotropia acentuada.

A composição mineralógica segundo Nogami & Villibor (1980), é muito variada, sendo típicos os casos em que a mineralogia é complexa em todas as frações granulométricas. Na fração areia podem ocorrer minerais como micas e feldspatos além do quartzo, e na fração argila minerais como caulinita e os expansivos das famílias das smectitas, os quais estão sob a forma de cristais ou pacotes de cristais isolados. Na fração silte destacam-se os argilo-minerais (caulinita), as micas, o quartzo, a magnetita e a ilmenita, etc.

A caulinita, na fração silte, segundo Pastore (1982) apresenta-se mais comumente sob a forma alongada, sendo formada pela superposição de vários pacotes de placas de contorno regular. Entre esses pacotes, percebe-se quase sempre um espaçamento, dando ao mineral a forma de uma "sanfona".

Segundo Melfi et al. (1985) os constituintes dos solos saprolíticos apresentam uma organização herdada da rocha de origem (vestígios de textura petrográfica e estruturas litológicas), além de uma organização ainda não bem definida (relação dos minerais secundários, vazios, etc), o contrário acontece com os solos lateríticos, onde os minerais constituintes estão intimamente associados e organizados em unidades estruturadas.

Os autores acima relacionam, inclusive, as características necessárias para a identificação dos solos saprolíticos, entre as quais se destacam: textura, estrutura, mineralogia e a sua posição no perfil.

I.2 - OS SOLOS E A GEOLOGIA / PEDOLOGIA

Convencionalmente, se tem separado processos de intemperismo, que agem sobre as rochas, dos processos de formação do *solum*. Oliveira (1972) considera que é difícil separar os dois processos, e conseqüentemente a definição do ponto inicial de formação do *solum* fica prejudicada. Atribui a

dificuldade ao fato de que os fenômenos de hidrólise, dissolução, síntese e outros se superpõem nos dois processos.

Para Delvigne (1981) o manto de alteração da crosta pode ser considerado como uma superposição de dois conjuntos de materiais, caracterizados, cada um, por propriedades mineralógicas e estruturais nitidamente distintas. O limite que separa os dois conjuntos é bastante claro, e pode ser reconhecido no campo. (figura 1).

Fig. 1 - Esquema teórico de um perfil de alteração (Pedro & Delmas, 1980).

Um primeiro conjunto -superior- designado também como **solum**, constitui-se dos horizontes A e B (pedologia clássica). Nesse conjunto ocorrem numerosas modificações minerais e estruturais, causadas pelos fatores superficiais: relevo, clima, organismos e tempo; é o domínio da pedogênese.

A ação conjunta desses fatores promoverá o aparecimento de características específicas do **solum**. Dentre essas características se destaca o desaparecimento progressivo das

feições herdadas da rocha de origem, por reorganizações dos constituintes. Essas reorganizações acarretarão o aparecimento de um sistema fissural, aberto e anastomosado, o qual é fundamental para a atuação dos processos pedogenéticos na evolução do solum.

O conjunto inferior corresponde ao horizonte C do perfil e está em contato com a rocha de origem; também recebe o nome de material parental ou alterita. Este conjunto é resultante da alteração da rocha subjacente, sendo esta alteração progressiva e frequentemente irregular. Uma das características importantes é a preservação, ao menos parcial e provisoriamente, de feições mineralógicas e estruturais da rocha de origem.

Este conjunto, com relação ao superior, apresenta-se, normalmente, com maiores espessuras, e parece, de modo geral, mais homogêneo na escala do perfil e mais heterôgeneo no detalhe do que aquele.

Segundo Delvigne (1981) a alterita pode ser subdividida, a partir de observações detalhadas, em níveis distintos, com características texturais, estruturais e mineralógicas bem diferentes.

Chatelin (1974) reconhece, através da observação macroscópica, dois níveis distintos de alterita: a isalterita e a aloterita. Esta diferenciação fundamenta-se na preservação ou desaparecimento das estruturas litológicas e texturas petrográficas originais, próprias da rocha de origem.

A isalterita seria, então, o termo usado para designar o nível que conserva, ao menos parcialmente, as características acima referidas. Este nível é formado nas primeiras fases da alteração da rocha, onde os minerais primários poderão ser substituídos, total ou parcialmente, e progressivamente por minerais secundários ou por volumes porosos. Haverá de maneira geral, a conservação da forma exterior, do volume e das relações espaciais existentes entre os minerais originais.

As isalteritas podem apresentar-se com espessuras de vários metros e estão quase sempre localizadas, num perfil de alteração, em contato com a rocha original.

O termo aloterita é usado para designar o conjunto no qual não se distingue mais, a olho nú, as estruturas originais herdadas da rocha mãe. Na aloterita, uma nova estrutura se superimpõe à estrutura da rocha de origem, e a substitui quase totalmente. Este fenômeno de evolução é determinado principalmente por remanejamentos internos, lixiviações preferenciais, concentrações sucessivas, etc.

Para Delvigne (1981) em regra geral, as estruturas petrográficas originais se conservam relativamente bem quando da transformação dos minerais primários em secundários, mas elas tendem a desaparecer quando da transformação posterior destes últimos.

O autor acima conclui que a distinção entre isalterita e aloterita, na escala do perfil, é delicada. Entretanto, é útil, no campo, tentar fazer tal diferenciação, com o objetivo de agrupar materiais com características semelhantes.

As alteritas de granitos e de gnaisses apresentam perfis muito semelhantes, com a mesma constituição mineralógica básica, sendo que a principal diferença está em que a anisotropia apresenta-se mais acentuada na alterita de gnaiss. (Nóbrega, 1988).

No Brasil, as alteritas de granito são melhor estudadas que as dos gnaisses. Quanto ao estudo das alteritas de granito se destacam os trabalhos de Melfi (1967), Cerri (1974 e 1979) e Toledo Groke (1981). Carvalho et al. (1975) caracterizam alterita de gnaiss na região de Atibaia.

Cerri (1974) caracteriza um perfil clássico de alteração de granitos da seguinte maneira: Na base do perfil, logo acima da rocha fresca, encontra-se um material incoerente, grosseiro, de tonalidade esbranquiçada ou bege. Pode ser observada uma conservação da estrutura da rocha, a qual irá perdendo progressivamente as suas características à medida que se sobe no perfil, até perdê-las totalmente quando se atinge o horizonte B do solum. O material que abrange desde a rocha sã até o horizonte B foi designado de arena granítica. Quanto à textura, na arena pode ser observado que o teor da fração argila cresce da base para o topo e que as frações areias decrescem no mesmo sentido.

As características das frações argila e areia dos granitos, acima descritas, também podem ser observadas, de modo geral, nas alteritas de gnaisses descritas por Carvalho et al. (1975).

A mineralogia das alteritas dos granitos e dos gnaisses é muito semelhante e relativamente simples. Os minerais residuais estão representados principalmente pelo quartzo, minerais micáceos, feldspatos potássicos, e outros minerais variando em função da natureza da rocha. Os minerais secundários estão representados principalmente por minerais do grupo da caulinita, gibbsita e goethita.

Nóbrega (1988) através de estudos micromorfológicos dos materiais do manto de alteração identifica que é notável nas alteritas a segregação que existe entre os minerais de caulinita e gibbsita, de um lado, e de ferro, de outro; ao contrário do solum (horizontes A e B) onde esses minerais ocorrem intimamente associados.

Quanto a origem dos minerais filossilicáticos encontrados nos materiais de alteração podem ser dos seguintes tipos, segundo Melfi & Pedro (1977):

- Neoformados: minerais formados a partir da reorganização dos elementos que saem da estrutura dos minerais primários; a destruição da estrutura ocorrerá primeiramente nos tectossilicatos por terem estruturas fechadas;

- Herdadas: onde a estrutura micácea (2/1) relativamente resistente, do tipo moscovita, ficam preservadas;

- Transformadas: aqueles em que ocorre substituições dos espaços interfoliares, e que a estrutura 2/1 é destruída.

O mecanismo essencial de alteração superficial das rochas do território brasileiro é a hidrólise (Melfi & Pedro 1977), pelo fato do Brasil localizar-se na zona climática tropical e subtropical do globo. Segundo Melfi & Pedro (1978) 97% do território brasileiro está sob o domínio da hidrólise.

Podem ocorrer diferentes graus de hidrólise, de acordo com as condições termodinâmicas reinantes. Assim, a hidrólise conduz à individualização de minerais secundários característicos, que possuem estruturas em folhas e que se apresentam sob a forma de partículas de pequenas dimensões.

I.3 - CONCLUSÕES

De um modo geral, os mesmos autores que relatam a ineficácia dos métodos tradicionais de caracterização e classificação de solos tropicais para uso em pavimentos, ao mesmo tempo, propõem como solução, uma integração da geologia, pedologia e a geotécnica no estudo desses materiais.

Nogami (1978) exemplifica que são quase rotineiros os procedimentos de reconhecimento e amostragem de solos que não retratam a realidade devido a desconsideração das leis geológicas e pedológicas mais elementares; a mesma opinião tem Barroso et al. (1981). Alguns trabalhos têm sido feitos com o intuito de caracterizar melhor os nossos solos. Entre eles se destacam Nogami (1967, 1976, 1978). Este autor, nesses trabalhos, tem insistido no uso do conceito genético para o estudo dos solos, realçando a importância do estudo das estruturas peculiares de cada tipo de solo e a constituição mineralógica das diversas frações. O conceito genético inclui tanto o aspecto geológico como o pedológico.

Para Nogami & Villibor (1980) considerações genéticas, mineralógicas e microestruturais, são muito promissoras para distinguir os diversos tipos de solos, porém sua utilização na prática esbarra com dificuldades relacionadas com a quantificação de fatores envolvidos e com a necessidade de utilização de mão de obra mais qualificada para trabalhos de campo e laboratório. Acrescentam que: "a utilização de conceitos essencialmente científicos, de natureza pedológica ou geológica, sem necessária adaptação para o estudo de solos para pavimentação, podem levar a conclusões de reduzido valor prático".

Além disso, abordam que essas considerações são de fundamental importância para fins de planejamento geral, de ssjazidas e caixas de empréstimo, programação de sondagens e amostragens, etc.

Nogami & Villibor, com a classificação de 1981, estabelecem que uma das metas próximas de investigação seria um relacionamento mais completo da origem geológica e pedológica dos solos tropicais e os grupos de classificação proposta, uma

vez que as sistemáticas de classificação usadas, no trabalho acima referido, já possibilitam um aproveitamento mais adequado dos conhecimentos e métodos geológicos e pedológicos.

A utilização de alguns conceitos geológicos/pedológicos têm conduzido a resultados satisfatórios na utilização dos solos como material de construção. O conceito genético do solo (Nogami, 1967) tem, por exemplo, extendido a utilização ou rejeição sistemática de um ou outro tipo de solo; o que de certa forma já é um progresso.

Verifica-se que os termos solos lateríticos e solos saprolíticos correspondem, a grosso modo, aos termos *solum* e *alterita*, respectivamente.

Nota-se que a quantidade de trabalhos de caracterização de solos tropicais com vistas a aplicação na engenharia é muito pequena, principalmente aqueles que tratam dos níveis inferiores de um perfil de solo (solo saprolítico). Torna-se, portanto, de fundamental importância abundantes trabalhos geológicos / pedológicos de conhecimentos das características dos nossos solos, para que, assim, se possa fazer estudos de correlação com o comportamento geotécnico e posteriores classificações.

II - MATERIAIS E MÉTODOS

II.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE AMOSTRAGEM

II.1.1 - Área de estudo.

A área de estudo abrange parte do embasamento cristalino do estado de São Paulo; área esta próxima à cidade de São Paulo. (figura 2 e quadro 4).

O primeiro passo constou de estudo para reconhecer as litologias que representam o embasamento cristalino, e a expressão espacial de cada rocha dentro do contexto. Isto foi realizado com o auxílio de mapas geológicos. (IPT - Bistrichi et al., 1981 e Projeto Radam-Brasil, 1983).

Foram selecionadas dois tipos de rocha para o estudo: granitos e gnaisses, por serem as mais representativas do embasamento paulista. (cerca de 60%). Na sequência, foi traçado um caminhamento otimizado, que cortasse alguns corpos de rochas graníticas e gnáissicas, objetivando o levantamento e reconhecimento dos perfis de alteração sobre essas rochas. O trajeto definido seguiu as principais rodovias e algumas estradas secundárias, próximas à cidade de São Paulo.

O objetivo principal desta etapa foi localizar perfis de alteração típicos e representativos de cada rocha em estudo. Perfis esses que apresentassem o nível pedológico mais o nível da alteração (alterita) até a rocha sã, ou os de maiores profundidades.

Foram identificados e coletados materiais de 5 perfis, sendo 2 de granito e os outros 3 de gnaisses.

Fig. 2 - Mapas de localização dos perfis estudados.

QUADRO 4 - Localização, rocha de origem e espessura dos perfis estudados.

PERFIL	LOCALIZAÇÃO	ROCHA	ESPESSURA (m)
1	km 91,5 SP - 300 (Itu-Jundiaí)	Batólito granítico de Itu.	8
2	km 39,5 BR-381 (Fernão Dias)	Gnaisse Complexo Amparo.	9
3	km 45,5 SP - 63 (Itatiba-Bragança)	Gnaisse Complexo Amparo.(?)	14
4	km 29,3 SP 280 (Castelo Branco)	Batólito granítico Itaqui.	11
5	km 22 SP 63 (trevo p/ Itatiba)	Gnaisse Complexo Amparo.	15

II.1.2 - Aspectos geológicos

As descrições petrográficas, constantes na literatura, das rochas que deram origem aos perfis de alteração em estudo, em alguns casos são escassas, não permitindo saber qual o tipo de rocha e a sua composição mais detalhadas. Assim acontece com as rochas do perfil 2, 3 e 5, onde os perfis estão localizados em unidades de mapeamentos que abrangem vários tipos de rochas.

Por outro lado, pode existir agravantes como, por exemplo, quando o mapa caracteriza a rocha como sendo de um tipo diferente daquele que mostra o material alterado, como acontece com o perfil 3.

Na seqüência, serão apresentadas as descrições petrográficas, distintivamente, por perfil.

Perfil 1

O perfil 1 situa-se no batólito granítico de Itu. Este granito é composto de feldspato potássico, plagioclásios, quartzo e alguns minerais acessórios, tais como micas, fluorita, apatita, etc.

O batólito granítico de Itu é um maciço circunscrito, discordante, pós-cinemático e de acordo com a sua mineralogia constitui um Oligoclásio-granito. Segundo Hasui (1969), esta rocha sofreu deformação de pequena intensidade, apresentando quartzo fraturado.

Perfil 2

O perfil 2 está localizado no Complexo Amparo, em uma unidade de mapeamento descrita por Oliveira et al. (1985). Nessa unidade, composicionalmente, destacam-se gnaisses, como os quartzo-feldspáticos e granada-biotita-gnaisses; podem ocorrer nesses gnaisses intercalações ou bandas de outros tipos de rochas, tais como, micaxistos, quartzitos, anfibolitos, entre outros.

Perfil 3

O perfil 3 localiza-se sobre uma Suíte granítica indiferenciada (Bistrichi et al., 1981), composta de granitos e granitóides polidiapíricos com termos porfiríticos com granulação variada. No entanto, o material de alteração mostra ser derivado, mais provavelmente, de uma rocha gnáissica, podendo ser equiparada com aquela que deu origem ao perfil 2.

Perfil 4

O perfil 4 encontra-se sobre o Batólito granítico de Itaqui, sobre a zona de falhamento Taxaquara (Coutinho, 1991 - comunicação verbal), conferindo as rochas dessa zona uma microgranulação dos minerais, que são típicas feições cataclásticas.

O Batólito é constituído de granitos porfiríticos de granulação grossa, exibindo cristais maiores de microclínio róseo, creme ou branco, imersos em matriz quartzo-feldspática-biotítica.

Perfil 5

O perfil 5 está situado no Complexo Amparo, em uma unidade composta de migmatitos, granulitos, anatexitos e subordinadamente biotita-gnaisses e quartzitos. (Bistrichi et al., 1981).

O material de alteração mostra características mais próximas de um biotita-gnaiss como rocha de origem.

II.1.3 - Coleta de amostras

Após a identificação do nível pedológico e dos diversos níveis da alterita, foi feita a coleta de materiais, segundo dois tipos de amostragem:

1) coleta de 10 a 15 Kg de material de cada nível identificado, para análises mineralógica-granulométricas e para ensaios geotécnicos.

2) coleta de amostras indeformadas e orientadas, para confecção de lâminas delgadas. Foi usado para a coleta um recipiente de plástico de 8 x 6 x 3 cm (saboneteira).

Do nível pedológico, coletou-se apenas o horizonte B, por ser o horizonte mais espesso e, portanto, mais representativo, e corresponder, também, ao material geralmente trabalhado pela engenharia, uma vez que nas operações de construção rodoviária, o horizonte A é normalmente desprezado.

Na coleta de amostras de alteritas foi feita a separação de níveis seguindo-se um critério geométrico, isto é, determinação de espaçamentos iguais a partir do horizonte B até a base do perfil. Foram coletadas amostras do topo, base e dos outros níveis intermediários dos perfis em estudo; a quantidade de níveis definidos e coletados variava em função da espessura dos perfis.

A delimitação dos níveis geometricamente se justifica devido as alteritas apresentarem-se, à grosso modo, homogêneas, e porque o objetivo era o de se estudar as possíveis diferenças de características dos diversos níveis.

Na figura 3 encontra-se esquema no qual os perfis foram separados em níveis.

Fig. 3 - Esquema das divisões dos perfis em níveis.

II.2 - TÉCNICAS DE ANÁLISE

Foram efetuados ensaios e análises em diferentes laboratórios.

- análises granulométricas, mineralógicas e micromorfológicas: laboratórios de geoquímica, impregnação e de microscopia ótica do Instituto de Geociências - USP. No quadro 5 encontra-se um roteiro de todas essas análises realizadas.

- ensaios mecânicos no laboratório de Tecnologia de Pavimentação - Dpto. Eng. Transportes - Escola Politécnica - USP. Encontra-se, no quadro 6, um roteiro dos ensaios e análises.

II.2.1 - Preparação do material

Houve dois tipos básicos de preparação dos materiais, em função dos tipos de amostragens.

a) Os materiais coletados sem a conservação das estruturas (10 a 15 Kg) foram secos ao ar e peneirados (peneira de 2 mm de abertura).

O material retido na peneira foi pesado para quantificação da fração maior que 2 mm.

Quadro 5 - Roteiro de análises dos solos em seu estado natural.

Quadro 6 - Roteiro de ensaios e análises dos solos compactados.

O material que passa na peneira de 2 mm foi denominado de Terra Fina Seca ao Ar - TFSA; esse foi o material utilizado na maioria das análises e ensaios.

Foram preservados cerca de 1 Kg de material natural de cada nível.

b) as amostras naturais indeformadas e orientadas foram impregnadas com uma resina acrílica. As amostras foram previamente secas em estufa a mais ou menos 40° C.

Utilizou-se uma resina polylite (T-200), pré-acelerada, diluída com monômero de estireno (+ - 35 ml por 100 ml de resina) e com algumas gotas de catalizador (de 3 a 4 gotas de peróxido de metil-etil-cetona, para essas proporções).

A impregnação foi feita em dessecador, sob vácuo, adicionando-se a resina em pequenas quantidades, várias vezes, até que se completasse o processo.

Depois da impregnação, as amostras foram cortadas em fatias, cujas superfícies a serem laminadas foram novamente impregnadas. A reimpregnação foi feita com uma solução de resina e acetona (1 : 1) e catalizador (2 gotas / 50 ml de solução).

Essa técnica de impregnação foi desenvolvida por Verbeke (1969), e foi usada neste trabalho com algumas modificações.

II.2.2 - Análises e separações granulométricas.

A análise granulométrica compreendeu a quantificação, em peso, das diversas frações, enquanto a separação granulométrica consistiu na separação das diferentes frações, a fim de se obter uma quantidade mínima de material para as análises subsequentes.

A escala granulométrica utilizada é a internacional adaptada, que apresenta as seguintes classes (em mm):

Argila	< 0,002
Silte fino	0,002 - 0,020
Silte grosso	0,020 - 0,053
Areia fina	0,053 - 0,210
Areia grossa	0,210 - 2,000

As amostras de TFSA foram quarteadas para a separação de cerca de 100 gramas de material, sendo que 10 gramas foram usadas para a análise granulométrica, e o restante para a separação granulométrica.

As amostras primeiramente foram tratadas com H_2O_2 , para eliminação da matéria orgânica. Para a dispersão das argilas foi usado Pirofosfato de sódio.

Algumas análises foram efetuadas sem uso de pré-tratamento e dispersantes, para a caracterização do efeito desses produtos nos materiais. (análise da argila natural).

O método de análise granulométrica utilizado foi o da decantação (Lei de Stokes). Nesta análise utilizou-se a pipetagem (pipeta de Robson) para a separação das frações argila e silte fino; na separação granulométrica foi utilizada a sifonagem, sendo as frações maiores que 0.020 mm separadas por peneiramento. Essas técnicas, que são rotina no laboratório de geoquímica do Instituto de Geociências-USP, foram compendiadas por Locati (1984).

As diversas frações separadas foram acondicionadas em frascos para futuras análises mineralógicas.

Também foram executadas análises granulométricas do material compactado (na energia de 12 golpes) de alguns níveis dos perfis estudados, para análise da possível quebra dos grãos minerais com o esforço de compactação.

II.2.3 - Mineralogia e micromorfologia.

A identificação mineralógica foi realizada nos materiais naturais por difração de Raios X, e também por microscopia ótica em lâminas delgadas.

O difratômetro de Raios X utilizado foi o Rigaku - geiger-flex, pertencente ao Instituto Astronômico e Geofísico - USP. Apresentando as seguintes especificações de utilização: voltagem de 35 KV; amperagem de 15 mA; velocidade angular de $1^\circ/\text{min.}$; velocidade do papel de 10 mm/min; radiação $k\alpha - \text{Cu}$.

Procedeu-se à identificação mineralógica das frações argila e amostras totais em todos os níveis dos perfis em estudo. Utilizou-se para a fração argila o método de lâmina orientada, e para a amostra total o método do pó.

A análise micromorfológica desses materiais foi feita através da microscopia ótica. Foram analisadas lâminas delgadas de todos os níveis dos perfis estudados. Por outro lado, a microscopia eletrônica de varredura somente foi utilizada em algumas frações específicas.

II.2.4 - Ensaaios geotécnicos

Com o objetivo de se determinar propriedades mecânicas e hidráulicas, os materiais foram ensaiados, seguindo-se a sistemática sugerida por Nogami & Villibor (1980 e 1981), com algumas modificações.

Os ensaios executados segundo essa sistemática foram: Mini-MCV, Mini-CBR, expansão e comportamento à imersão.

Com os dados dos ensaios de Mini-MCV e comportamento à imersão, foi possível classificar os solos estudados segundo proposta de Nogami & Villibor (1981).

As técnicas adotadas na execução dos ensaios serão descritas sumariamente a seguir.

Os corpos de prova de dimensões reduzidas (5 cm de diâmetro por 5 cm de altura), foram moldados em equipamento miniatura, com soquete de 2,27 Kg.

O equipamento miniatura apresenta a possibilidade de se aproveitar os corpos de prova resultantes do ensaio M-MCV para execução dos demais ensaios. Outras vantagens são: menor quantidade de material para os ensaios; maior rapidez, esforço físico menor e maior facilidade de transporte do equipamento ao campo.

O material ensaiado é a Terra Fina Seca ao Ar, em quantidades padrão (200 g); esta quantidade é utilizada para cada corpo de prova moldado.

II.2.4.1 - Ensaio Mini-MCV (M-MCV)

Este ensaio é resultado de uma adaptação feita por Soria & Fabri (1980) e Nogami & Villibor (1980), do MCV (Moisture Condition Value), apresentado por Parsons (1976). E pode ser considerado como um tipo especial de ensaio de compactação

O M-MCV é um valor empírico que varia em função de numerosas variáveis, entre as quais se destacam: o tipo de solo; o teor de umidade de compactação; a quantidade de solo utilizado, etc.

Esse valor corresponde a $10 \log N$, sendo N o número de golpes a partir do qual um corpo de prova submetido a números crescentes de golpes de soquete, não sofre praticamente aumento de densidade.

Algumas das principais vantagens do ensaio M-MCV são a determinação rápida da umidade de camadas de compactação na obra e a obtenção de família de curvas de compactação com várias intensidades de energia de compactação. (quadro 7).

O ensaio M-MCV consiste na moldagem de 5 corpos de prova, com teores diferentes de umidade de compactação, distribuídos uniformemente dentro da faixa de umidade compatível para sua compactação pelos processos usuais.

Além disso, foram compactados, paralelamente, mais 5 corpos de prova de cada nível coletado, com o objetivo de se obter corpos de prova para os demais ensaios, e também para controle dos possíveis desvios de densidades obtidas, ocasionadas pelo equipamento.

II.2.4.2 - Ensaio Mini-CBR (M-CBR)

O ensaio M-CBR é utilizado para a determinação da capacidade de suporte dos solos compactados. Este ensaio é resultante de uma adaptação do CBR (Califórnia Bearing Ratio) Lafleur et al. (1960) e modificado por Nogami (1972).

O M-CBR é um número positivo, expresso em percentagem, atribuído ao corpo de prova ensaiado, em função da sua

QUADRO 7 - Representação gráfica dos ensaios M-MCV

resistência à penetração de um pistão de 16 mm de diâmetro, com uma velocidade de penetração determinada.

Os corpos de prova utilizados para os ensaios foram os resultantes do M-MCV.

Foram efetuadas determinações do M-CBR para duas diferentes condições.

1) penetração com sobrecarga padrão (490 g), logo após a compactação do M-MCV;

2) penetração após imersão de 24 horas (imersão e penetração com sobrecarga padrão).

II.2.4.3 - Ensaio de Expansão

Ensaio que procura determinar as características expansivas dos materiais que compõem o corpo de prova. O valor obtido é expresso em percentagem.

Para essa determinação, foram aproveitados os corpos de prova submetidos à imersão no ensaio M-CBR. O cálculo da expansão foi feito dividindo-se a diferença entre a leitura inicial e a leitura após 24 horas de imersão, pela altura do corpo de prova. Foi usado extensômetro com precisão de 0,01 mm.

II.2.4.4 - Ensaio de Comportamento à Imersão (Pi)

Através desse ensaio pode ser determinado, segundo os seus idealizadores (Nogami & Villibor, 1980), o comportamento do solo compactado sob condição de imersão total em água, com confinamento parcial. Características essas de expansibilidade e coesão.

Os corpos de prova são extraídos parcialmente dos respectivos cilindros - exposição de 10 mm. Assim, esses cilindros, contendo os corpos de prova, são imersos em água, e em posição horizontal. O material eventualmente desprendido é recolhido para a determinação de seu peso.

A partir desse ensaio é obtido o parâmetro designado de "perda por imersão" $-(P_i)$, através da fórmula:

$$P_i = 100 \times P_s / P_p$$

onde, P_s = peso seco da parte desprendida, e

P_p = peso seco da parte saliente inicial.

II.3 - CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

Para a classificação geotécnica dos solos -aplicação em pavimentos-, segundo Nogami & Villibor (1981), são necessárias as definições dos seguintes parâmetros: c' , e' , d' e P_i .

onde,

c' - corresponde à inclinação da curva de M-MCV igual a 10; (quadro 7-A).

$$e' = 20 / d' + P_i / 100$$

$$d' = 1.000 \times \Delta \text{ das} / \Delta H$$

em que,

$\Delta \text{ das}$ é a diferença de densidade aparente seca correspondente a uma variação de teor de umidade ΔH , para o ramo seco da curva de 12 golpes (relacionada com a energia normal). (quadro 7-C).

P_i - Perda por imersão, usado na classificação, é extraído do quadro 7-A e B, e representa a P_i para um nível considerado.

2ª PARTE

RESULTADOS E DISCUSSÃO

III - CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DOS PERFIS ESTUDADOS.

Quanto às caracterizações macroscópicas, os perfis em estudo, apresentam peculiaridades, que serão descritas a seguir.

Os níveis do **solum**, normalmente, se caracterizam por apresentarem uma espessura de alguns poucos metros; textura argilosa; cores vermelho-amarelado ou vermelho-escuro. Os constituintes estão coesos, e o aspecto geral dos níveis é isótropo e homogêneo.

Por outro lado, as alteritas têm espessuras maiores que os níveis do **solum** (6 a 12 m.), a textura varia de argilo-siltosa a arenosa, e tem ampla variedade de cores. Conservam, ao menos parcialmente, características estruturais da rocha de origem e apresentam alta friabilidade dos constituintes. Essas duas últimas características são distintivas para as alteritas.

As alteritas, na escala de afloramento, têm, normalmente, aparência homogênea, porém em detalhe podem aparecer heterogeneidades acentuadas, que estão principalmente relacionadas às cores e vestígios de feições da rocha de origem.

A rocha fresca somente foi encontrada na base dos perfis 1 e 4. Nos demais perfis, o manto de alteração espesso não permitiu, nos cortes amostrados, exposições da rocha.

De modo geral, tanto os materiais dos níveis do **solum** como os das alteritas, são muito fáceis de serem extraídos, com auxílio de pá carregadeira ou mesmo enxadas.

A seguir os perfis serão descritos separadamente.

Os níveis 10, 20, 30, 40 e 50, correspondem aos níveis do **solum** -horizonte B-, dos perfis 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Os demais níveis referem-se às alteritas.

PERFIL 1

O perfil 1 foi coletado em uma jazida de material de reparação de estradas vicinais; esta jazida está situada à meia encosta, e a 100 metros da estrada, na propriedade chamada de "Camping das pedras".

O nível do solum foi classificado como "Podzólico vermelho-amarelo com cascalho".

O nível do solum tem 2,4 m de espessura, enquanto os níveis da alterita somam 5,6 m.

Os níveis da alterita têm aspecto de fração grosseira (areia e cascalho), os constituintes se desegregam facilmente à penetração do martelo, podendo ser considerados materiais friáveis, existindo, porém, uma pequena coesão que é relativamente mais acentuada na base do que no topo da alterita.

As cores predominantes são o róseo e o branco, com pintas pretas dispersas; cores estas dos próprios minerais (feldspatos, caolinitas e biotitas), é também visível o aspecto vítreo do quartzo. (foto 1). São relativamente comuns blocos de rocha inalterada ou pouco alterada preservados no perfil. Um exemplo pode ser visto na foto 2.

O material desse perfil é fortemente isotrópico, não sendo observadas estruturas tais como veios, falhas, etc.

FOTO 1

Granito de Itu, perfil 1.
Detalhe das tonalidades
da alterita, nível 14.

Foto 2

Granito de Itu, perfil 1.
Bloco de rocha preservado
nível 13.

PERFIL 2

Este perfil situa-se num corte de estrada, que inclusive serviu como caixa de empréstimo de material.

O Solum -"Latossolo vermelho-amarelo"- teve origem de material alóctone, que segundo Carvalho et al. (1975) são sedimentos modernos (pedissedimentos). A transição para a alterita é ondulada e abrupta; sendo identificada uma linha de seixos no contato, constituídos por fragmentos de laterita e quartzo.

Nos níveis da alterita, podem ser observados, vestígios de foliações (pequenos bandamentos) que lembram rocha gnáissica, além de veios de quartzo centimétricos, porções de material caolinizado e pequenas diáclases que tornam o material bastante anisotrópico e heterogêneo. (foto 3).

As tonalidades são pardo-avermelhadas com algumas manchas brancas. A textura dos constituintes é argilo-siltosa.

FOTO 3

Gnaiss de Atibaia,
perfil 2. Detalhe do
aspecto anisotrópico da
alterita, nível 23.

PERFIL 3

O perfil 3 localiza-se num talude de estrada que tem inclinação de 60° , aproximadamente.

O solum -"Latossolo vermelho-escuro"- é o mais espesso entre todos os perfis, com 4 metros, e a transição é gradual para os níveis da alterita.

Nos níveis da alterita são observadas algumas feições de erosão, porém de pequena intensidade, indicando uma boa coesão do material. (foto 4). Nessa foto o solum aparece recoberto por vegetação.

Os níveis da alterita apresentam, no detalhe, aspecto bastante heterogêneo e anisotrópico. Podem ser identificados veios de quartzo centimétricos, faixas de materiais caolinizados e vestígios de foliações realçadas pelos minerais de ferro. (foto 5). As cores são as mais variadas, como o branco, bege, amarelo, marron e preto.

FOTO 4

Gnaiss de Bragança, perfil 3. Aspecto geral do perfil, com feições de erosão.

FOTO 5

Gnaiss de Bragança, perfil 3. Detalhe do aspecto anisotrópico da alterita, nível 34.

PERFIL 4

Este perfil faz parte de um terreno que estava sofrendo terraplanagem no período da coleta.

A transição do **solum** -"Podzólico vermelho-amarelo"- para a alterita é gradual.

Nos níveis da alterita são comuns linhas concêntricas indicando decomposição esferoidal da rocha. Podem ser encontrados blocos de rocha semi-alterados nesses níveis. O material apresenta uma textura essencialmente siltosa, aspecto mosqueado com tonalidades variando de pardo a avermelhadas.

É evidente o alto grau de erosão que atinge esse material, pois no perfil e adjacências são comuns voçorocas, como pode ser observado na foto 6.

Em algumas partes do perfil podem ser identificadas lineações verticais realçadas pelos minerais de ferro. Quanto à estrutura, com exceção dessas lineações verticais, é caracterizada como isotrópica.

FOTO 6

Granito Itaqui, perfil 4.
Aspecto geral do perfil.

PERFIL 5

Este perfil situa-se numa jazida de material em extração.

O solo - "Latosolo vermelho-amarelo" - apresenta uma transição gradual com os níveis da alterita.

A alterita é arenosa, porém sem cascalho, apresentando tonalidades bege-acinzentada, com presença de manchas marrons. (fotos 7 e 8). Os grãos de quartzo e de feldspatos potássicos alterados são os únicos minerais identificados.

Estruturalmente, vestígios incipientes de foliações podem ser identificados.

FOTO 7

Gnaiss Itatiba, perfil 5.
Aspecto geral do perfil.

FOTO 8

Gnaiss Itatiba, perfil 5.
Detalhe da cor e textura
da alterita, nível 55.

IV - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

As formas de representação dos resultados das análises granulométricas são diversas, e no presente trabalho fez-se a opção por algumas delas, visto que cada uma apresenta aspectos particulares que realçam alguma característica.

Na tabela 1, encontram-se os resultados das análises granulométricas do material natural.

A sequência de exposição dos resultados obtidos durante a caracterização granulométrica e sua discussão foram estabelecidas, principalmente, com fins de aplicação na engenharia.

IV.1 - FRAÇÃO MAIOR QUE 2 MM - CASCALHO.

Considerando-se a fração maior que 2 mm, observa-se na figura 4 que a maior expressão dessa fração corresponde ao perfil 1, onde os valores variam de 29 a 38%. Nos demais perfis os valores não ultrapassam 15 %.

Os valores da fração cascalho do perfil 1, são semelhantes àqueles observados por Cerri (1974) para o manto de alteração do mesmo corpo granítico que deu origem a esse perfil. O autor acima, denominou o material de alteração desse corpo granítico de Arena granítica, justamente por apresentar altas percentagens de fração cascalho.

As variações de concentração da fração cascalho entre os perfis, podem estar relacionadas às diferentes características das rochas de origem, tais como: textura, estrutura, mineralogia e grau de fraturamento. No que se refere às variações ao longo dos níveis dos perfis ocorre um comportamento particular para cada perfil, no entanto, 3 classes podem ser definidas.

Uma primeira classe representada pelo perfil 1, onde a fração cascalho aumenta do topo (nível 11) em direção à base do perfil (nível 16).

Tabela 1 : Resultados das análises granulométricas. (dados em %)

PERFIS	NÍVEIS	ARGILA	SILTE FINO	SILTE GROSSO	AREIA FINA	AREIA GROSSA *	CASCALHO
1	10	28,2	20,1	7,3	18,1	26,3	33,1
	11	6,2	21,8	5,9	18,8	47,3	28,8
	12	7,3	18	5,9	17,5	51,3	32,4
	13	7,5	15,5	5,3	15,2	56,5	33,5
	14	6,8	17,8	4,7	14,5	56,2	36,5
	15	5	17,2	4,2	14,4	59,2	36
	16	5,4	17,9	4,1	13,8	58,8	37,7
2	20	40,0	10,6	4,2	19,7	24,6	1,4
	21	44,5	16,1	5,2	14,6	19,6	0,2
	22	30,4	21,9	5,7	14	28	1,2
	23	29,6	25,1	6,1	16,1	23,1	1
	24	23	19,8	5,3	12,8	39,1	1,2
3	30	39,1	13,7	4,7	21,5	21	2,5
	31	25,3	34,1	2,1	5,1	33,4	14,3
	32	26,9	37,7	4,3	7,7	23,4	4,8
	33	25,4	40	2,3	4,3	28	13,3
	34	21,4	28,6	8,7	17,5	23,8	1,6
4	40	51,2	17,8	3,2	6,4	21,4	2,4
	41	20,6	41,5	14,3	9,4	14,2	3,6
	42	8,5	44,3	14,5	18,3	14,3	3,3
	43	4,9	36,9	16,3	17	24,9	3
	44	7,6	39,3	12,3	11,5	29,3	3,1
5	50	23,6	21	6,7	19,9	28,8	1,9
	51	13,2	9,1	8,5	17,2	52	7
	52	2	17,5	8,6	15,4	56,5	0,8
	53	7,8	6,8	9,1	16,3	60	12
	54	7,1	13	7,3	17,4	55,2	8
	55	5,8	11,2	6,9	24,3	51,8	1,9
	56	6	2,7	7,4	20,3	63,6	8

OBS. * as porcentagens das frações menores que 2 mm somam 100 %, enquanto a porcentagem de cascalho corresponde ao solo total.

Fig. 4 -Distribuições da fração cascalho.

A intensidade da alteração crescendo da base em direção ao topo do perfil, faz com que na base os minerais estejam melhor preservados, apresentando, portanto, grãos maiores.

Por outro lado, no nível 10, a concentração da fração cascalho representa 33 %, observando-se, portanto, um enriquecimento relativo dessa fração, em relação aos demais níveis do perfil 1. Isto é devido, segundo Cerri (1974), a uma acumulação residual dos grãos de quartzo, que é o mineral preponderante da fração cascalho.

Em uma segunda classe se enquadrariam os perfis 2 e 4, onde a variação de concentração do cascalho é praticamente imperceptível, devido principalmente à pequena concentração dessa fração ao longo dos perfis.

Uma terceira classe é constituída pelos perfis 3 e 5, onde a variação de concentração do cascalho entre os níveis, é acentuada. Essas variações podem estar relacionadas diretamente com a estrutura da rocha de origem, que no caso são rochas gnáissicas.

IV.2 - FRAÇÕES MENORES QUE 2 MM.

As frações menores que 2 mm, subdivididas em argila, silte (fino e grosso) e areia (fina e grossa), serão apresentadas e discutidas com maiores detalhes, uma vez que, foram essas as frações utilizadas nos ensaios geotécnicos.

A figura 5, mostra a distribuição destas frações nos 5 perfis estudados. Também as figuras 23 a 28 - anexo, que foram elaboradas a título de ilustração, realçam a distribuição das frações entre os níveis de cada perfil.

Além dos resultados de análises granulométricas convencionais do material natural, serão apresentados e discutidos resultados de análises granulométricas da argila natural e do material compactado.

Fig. 5 -Distribuições das frações menores que 2 mm.

legenda

perfil 2

perfil 4

perfil 1

perfil 3

perfil 5

IV.2.1 - Fração argila

IV.2.1.1 - Fração argila obtida com uso de pré-tratamento e dispersantes.

A fração argila está representada em todos os perfis, com concentrações que variam de perfil para perfil. Com referência a essa concentração, os valores médios estão assim distribuídos;

perfil 1	6,4 %,
perfil 2	32 %,
perfil 3	25 %,
perfil 4	10,4%,
perfil 5	7 %.

A quantidade média relativamente maior da fração argila nos perfis 2 e 3 pode refletir um diferente grau de alteração sofrido pela rocha de origem.

Por outro lado, a fração argila apresenta-se com valores maiores nos níveis superficiais (10, 30, 40 e 50) como era de se esperar, pois, estes níveis correspondem aos níveis de maior alteração (horizontes "B" dos perfis estudados).

Entretanto o nível 20, perfil 2, constitui uma exceção, onde o valor da fração argila é de 41 %; portanto menor que o nível imediatamente inferior do mesmo perfil - nível 21.- onde essa fração corresponde a 44,5 %, tratando-se provavelmente de material alóctone (coberturas recentes), conforme Carvalho et al. (1975), na mesma localidade desse perfil 2.

Porém, considerando-se o nível 21, relativamente aos níveis inferiores do mesmo perfil, a fração argila tem nesse nível a sua maior expressão. Portanto, continua válida a relação de que nos níveis superiores a quantidade da fração argila é significativamente maior.

No que diz respeito à concentração da fração argila nos níveis das alteritas, verifica-se que essa concentração pode variar entre os níveis de cada perfil, apresentando uma tendência de decrescer do topo em direção à base dos perfis.

IV.2.1.2 - fração argila no estado natural.

Na figura 6 pode ser observado o comportamento comparado da fração argila e demais frações granulométricas com e sem uso de pré-tratamento e dispersantes. A análise se restringiu a 8 níveis distintos.

Nas análises efetuadas, o fato que mais se destaca é o da total ausência da fração argila sem o uso de tratamento. Para os pedólogos essa argila é designada de argila natural. Isso indica que o material analisado apresenta um grau de floculação de 100 %, denotando que os constituintes estão fortemente agregados.

A ausência de tratamento produziu efeitos distintos nos níveis da alterita e no solum. No solum, a argila floculada se concentrou na fração areia fina e grossa. No nível 50, além da argila, ocorreu a floculação de uma pequena parte do silte fino.

Nos níveis da alterita (níveis 23, 32, 42 e 53), toda a argila e parte do silte fino flocularam, concentrando-se também na fração areia fina e grossa.

O comportamento floculante da fração argila e parte do silte, concentrando-se nas frações mais grosseiras, sob a forma de micropartículas e como um filme que recobre os grãos maiores, pode ter um significado especial na interpretação das correlações da granulometria com o comportamento mecânico, posto que os tratamentos analíticos convencionais de análise granulométrica destroem as formas naturais (por ex. agregações) de apresentação dessas frações.

IV.2.2 - Fração silte

Considerando-se a separação silte fino e grosso, segundo as classes granulométricas compreendidas na escala adotada, tem-se que o silte fino será sempre preponderante em relação ao silte grosso, constituindo uma exceção os níveis 53 e 56 do perfil 5 (figura 5). A relação silte fino / silte grosso pode variar de 1/1 a 10/1.

Como a escala granulométrica acima referida é muito detalhada para o objetivo a que se propõe o presente trabalho, adotou-se também uma outra escala mais simplificada, onde: argila < 0,002 mm; silte 0,002-0,075mm; e a areia 0,075-2,0 mm. (fig. 7). De qualquer forma, as alterações sofridas pelas frações nas percentagens, com essa mudança de escala, são relativamente pequenas, da ordem de alguns pontos percentuais. Para a obtenção dos valores de 0,075 mm, foi usada a interpolação a partir das curvas granulométricas. (fig. 24 a 28 - anexo).

De um modo geral, a fração silte divide com a fração areia a importância, quanto à quantidade, nos perfis estudados, sendo que o silte tem presença em todos os níveis de todos os perfis, e o valor mínimo é de 15 % (Nível 20).

Enquanto a fração argila tem sua maior expressão nos níveis do solum, o silte se destaca nos níveis da alterita. Nesses níveis dos perfis 3 e 4, a fração silte é a preponderante, sendo que a média é de 39 e 55%, respectivamente. Nos demais perfis a média está por volta de 23 %.

A relação silte/argila mostra que a fração argila é maior que o silte somente nos níveis 20, 21, 30 e 40, e a razão silte/argila média dos perfis pode variar de 1 a 6. Os resultados dessa relação mostram que nas rochas estudadas, ocorre uma clara tendência de formação de silte em detrimento da argila. Pode ser observada uma tendência de acréscimo da razão silte/argila do topo em direção à base dos perfis.

As variações de concentração da fração silte ao longo dos níveis são menos acentuadas que nas frações argila e areia.

IV.2.3 - Fração areia

A partir da análise da figura 7, nota-se de um modo geral, que a fração areia, considerada isoladamente, é a fração que tem melhor representatividade entre os perfis estudados, tendo expressão significativa nos perfis 1 e 5, onde essa fração corresponde a uma média de 65 %. Nos demais perfis a média está em torno de 35 %. Também observa-se que há uma tendência dessa fração crescer do topo em direção à base dos perfis.

Fig. 7 - Distribuições das frações menores que 2 mm.

legenda

IV.2.4 - Análises dos materiais compactados.

Nas figuras 8a e 8b estão representados os resultados comparativos das análises granulométricas, de 12 diferentes níveis, entre materiais naturais e os compactados (na energia equivalente à normal e umidade ótima).

Observa-se, no entanto, que somente 6 dos 12 casos analisados, as frações mais grosseiras (areias fina e grossa), sofreram diminuição nos seus tamanhos. Os decréscimos, em percentagens, estão assim distribuídos, por níveis:

nível	%
44	6;
24 e 56	10;
34	14;
20	28;
51	34.

Por outro lado, as frações que ganharam com a quebra das areias foram as do silte, sendo o silte fino o mais favorecido. Entretanto, no nível 51, a areia fina foi a que teve maior contribuição com a quebra da areia grossa, aumentando cerca de 57 %, vindo em segundo lugar os siltes com ganhos menores. A fração argila, praticamente, não teve a sua quantidade modificada.

As análises granulométricas dos materiais compactados foram realizadas com o objetivo de se caracterizar o grau de destruição das frações mais grosseiras (areias), com o esforço de compactação. Essa destruição, segundo Nogami (1991, comunicação verbal), teria importância, porque seria um agravante na compreensão da correlação entre as diversas classes granulométricas e o comportamento mecânico, e que de modo geral, esperava-se que o grau de destruição fosse alto, produzindo assim uma diminuição considerável da fração grosseira.

No entanto, como foi observado nos níveis analisados, praticamente só a metade dos materiais teve uma diminuição das areias, o que contrasta com a expectativa do autor acima citado.

V - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E MICROMORFOLÓGICA

V.1 - AS FASES MINERAIS PRESENTES

O elenco de minerais que compõem os produtos de alteração, nos perfis estudados, é relativamente simples. Podem ocorrer pequenas variações na composição mineralógica de perfil para perfil, relacionadas aos diferentes graus de alteração a que cada perfil foi submetido.

Os minerais primários encontrados foram o quartzo, feldspato e micas (moscovita e/ou biotita). Enquanto o quartzo e a micas estão presentes em todos os perfis, os feldspatos são encontrados somente nos perfis 1 e 5.

Os minerais secundários estão representados pelos argilo-minerais do grupo da caolinita, hidróxidos de ferro e alumínio (goethita e gibbsita) além de amorfos. As caolinitas, como o quartzo e as micas, estão presentes em todos os perfis, sendo que as caolinitas e o quartzo são os mais abundantes, enquanto as micas estão presentes em pequena quantidade.

A goethita, gibbsita e os amorfos, normalmente, são acessórios ou ausentes. No entanto, em alguns níveis de determinados perfis, estes minerais podem estar bem representados.

Os diferentes níveis de um perfil não apresentam diferenças significativas na composição mineralógica. No entanto, a proporção entre os diferentes minerais presentes é variada.

No perfil, a partir da rocha sã, os minerais primários alteráveis, irão, progressivamente, perdendo suas características originais, evidenciando, assim, um aumento no grau de alteração da base em direção ao topo. Como consequência, a quantidade de argilo-minerais e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio crescem no mesmo sentido.

A diferença mais significativa de proporção de minerais entre os níveis foi encontrada na passagem da alterita para o nível do solum (horizonte B), onde a concentração de minerais secundários tem sua expressão máxima.

Os minerais presentes nos perfis foram identificados através de microscópio ótico, difração de Raios X (DRX) e para alguns minerais específicos foi usado o microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Durante estes estudos buscou-se definir as características que mais diretamente influenciariam o comportamento mecânico, tais como: proporção relativa de cada mineral, sua distribuição, grau de fraturamento e corrosões.

Foram realizados DRX de todos os níveis dos 5 perfis, nas amostras totais e fração argila. Serão apresentados apenas alguns difratogramas, pois, devido à semelhança entre muitos deles, foram feitos diversos agrupamentos de modo a simplificar a apresentação dos resultados. (fig. 9 a 14).

QUARTZO

O quartzo é facilmente identificado através dos DRX em amostras totais, e através do microscópio ótico em lâminas delgadas.

Como pode ser observado nos difratogramas de DRX em amostras totais, os picos de quartzo são os que, normalmente, apresentam maiores intensidades. (figuras 9, 10 e 11).

Os grãos de quartzo foram analisados ao microscópio ótico quanto ao tamanho, distribuição, forma, grau de fraturamento e índice de corrosões.

Em uma avaliação preliminar, a quantidade de quartzo foi estimada entre 20 e 40 %.

Os tamanhos dos grãos são muito variáveis, tendo representação a partir da fração maior que 0,002 mm, variando normalmente até 2 mm. O perfil 1 constitui uma exceção, onde a maioria dos grãos de quartzo têm um diâmetro superior a 0,5 mm.

A forma dos grãos tem pequena variação. São sub-angulares a angulares, e os grãos maiores apresentam a tendência de serem menos esféricos que os grãos menores.

FIG. 9 -Difratogramas de Raios X (amostra total) perfil 1
 C -caolinita; Q -quartz; M -micas; F -feldspatos; Gi -gibbsita

FIG. 10 -Difratogramas de Raios X (amostra total) perfil 2
 C -caolinita; Q -quartzito; M -micas; Gi -gibbsita

FIG. 11 -Difratogramas de Raios X (amostra total) perfis 3 e 4
 C -caolinita; Q -quartzo; M -micas; Gi-gibbsita; Go -goethita.

FIG. 12 -Difratogramas de Raios X (fração argila) perfil 1
C -caolinita; M -micas; Gi -gibbsita

FIG. 13 -Difratogramas de Raios X (fracção argila) perfil 2
C -caolinita; M -micas; Go -goethita.

FIG. 14 -Difratogramas de Raios X (fração argila) perfil 4 C -caolinita; M -micas; Go -goethita; Gi -gibbsita

O grau de fraturamento é menos perceptível no perfil 1 que nos demais, sendo que nestes podem aparecer feições indicativas de que a rocha de origem sofreu um grau de deformação apreciável. As feições mais notáveis deste fato são os grãos que se apresentam em assembléia. (foto 9). Estas feições são relativamente comuns no perfil 4, indicativas de zona de falhamentos.

As fraturas afetam principalmente os grãos maiores que 0,5 mm, e podem provocar disjunções e posterior deslocamento das partes dos grãos, assim diminuindo os seus tamanhos. A esse respeito, foi constatado por Cerri (1974), que microfissuras dos grãos de quartzo, no granito de Itu (perfil 1), podem se desenvolver e evoluir da base para o topo do perfil, resultando na diminuição dos tamanhos dos grãos.

De um modo geral, as feições de dissolução dos quartzos estão pobremente desenvolvidas, e se localizam principalmente nas bordas dos grãos.

FOTO 9

Granito Itaqui, perfil 4,
nível 44. Detalhe de grão
de quartzo em assembléia.

M.O., Luz Pol., 125 X.

0.2 mm

FELDSPATOS

A presença de feldspatos foi constatada somente nos perfis 1 e 5.

Nos difratogramas os feldspatos foram caracterizados, porém com o debilitamento e supressão de picos não foi possível identificar as variedades. (fig 9).

A análise petrográfica permitiu a identificação de Microclínios, que apresentam maclas típicas -polissintética mais periclina. Os Ortoclásios pertíticos são relativamente comuns, apresentando, muitas vezes, uma alteração típica. Alguns poucos plagioclásios também foram identificados, porém se restringindo aos níveis inferiores da alteração.

A proporção relativa dos feldspatos é difícil de ser estimada. Observou-se, entretanto, que os plagioclásios se caolinizam logo nos primeiros estágios da alteração, enquanto os feldspatos potássicos vão, progressivamente, se caolinizando, a partir da base ao topo do perfil. No entanto, nos dois perfis que contém feldspatos, houve conservação, mesmo no *solum*, de algumas características, tais como maclas e forma dos grãos.

A distribuição dos feldspatos ao longo das classes granulométricas relaciona-se com o grau de fraturamento e progressão da alteração. Assim, nos níveis superiores dos perfis, encontram-se grãos melhores distribuídos, compreendidos entre 0,002 mm e 2 mm, enquanto nos níveis inferiores, os grãos de feldspatos se concentram nas classes mais grosseiras, e chegam a alcançar vários milímetros de diâmetro.

Além dos grãos de feldspatos, são relativamente comuns a presença de suas pseudomorfoses, total ou parcialmente, em caolinitas e/ou em uma fase intermediária, identificada no microscópio ótico como um gel -que é amorfo e incolor. Por outro lado, nos perfis 2, 3 e 4, foram encontradas pseudomorfoses de feldspatos, algumas inclusive com a forma do cristal bem conservada. Estes arcabouços encontram-se, normalmente, preenchidos por caolinitas.

MICAS

As micas foram identificadas nos DRX pelos seus dois principais picos, em todos os perfis, e mesmo em todas as classes granulométricas, ocorrendo, no entanto, variações nas intensidades e tipos de picos.

Nos perfis 1 e 5 (fig. 9) ocorrem bandas próximas a 10 Angstrons, sendo que no perfil 5 são de menor intensidade do que no 1. Essas bandas parecem indicar um baixo grau de cristalinidade das micas.

Ao microscópio ótico, a biotita aparece sempre com sinais de alteração, mas ainda com características, ao menos, parcialmente, preservadas. As que mais se destacam são as clivagens e o pleocroísmo. A alteração observada nas biotitas justificaria, ao menos em parte, o alargamento das reflexões nos difratogramas.

As biotitas, normalmente, aparecem com feições de alteração típicas, designadas de espanador ou leque por Delvigne (1981). Esta feição seria consequência de um alargamento dos espaços de clivagens provocados pela alteração. Devido ao pronunciamento dos alargamentos dos espaços de clivagens nas bordas do cristal, aparece a forma de espanador ou leque. Estes traços são realçados pela concentração de ferro nas clivagens.

A ausência de moscovita no perfil 1, e presença no perfil 5, poderia explicar a diferença de definições dos picos das micas nos DRX, ainda mais porque a moscovita aparece menos alterada do que a biotita.

Apesar de não ter sido identificada, neste trabalho, variedades de biotita nas alterações, Cerri (1974), identificou a hidrobiotita como fase intermediária para a caolinização.

Nos perfis 2 e 4 foram observadas feições de alteração particulares, que provavelmente derivam da biotita, como pode ser observado na foto 10. Estas feições poderiam ser pseudomorfozes de biotita, com arcobouço externo e clivagens preenchidas por ferro, configurando uma feição do tipo "box-work".

Quanto ao tamanho, as biotitas e moscovitas centimétricas, são raras e restritas a um ou outro nível. De um modo geral, há predominância de tamanhos menores que 0,2 mm. Na fração argila (<0,002 mm) as micas estão sempre presentes. (fig 12, 13 e 14).

É comum a presença da moscovita nos tamanhos menores que 0,1 mm, e sob forma de pequenas palhetas disseminadas na matriz; essas moscovitas também são conhecidas como sericitas. Delvigne (1981) caracteriza essas pequenas palhetas como fase intermediária da caolinização.

Estima-se que a quantidade relativa de micas não ultrapasse 5%, sendo muito comuns a presença de micas caolinizadas. Este assunto será tratado, com maiores detalhes, ao serem enfocadas as caolinitas.

FOTO 10

Granito Itaqui, perfil 4,
nível 44. Estruturas em
"box-work". M.O., Luz Nat
125 X.

0.2 mm

CAOLINITAS

As caolinitas serão consideradas aqui como grupo, uma vez que não foram feitas diferenciações pormenorizadas das suas variedades.*

Os difratogramas mostraram, normalmente, picos da caolinita que sobressairam dos demais minerais, e os difratogramas com picos mais acentuados são os da fração argila. (fig 12 a 14).

Ao microscópio, foram identificadas, com certa facilidade, caolinitas sob a forma vermicular ou acordeon. Essas formas se restringem aos níveis da alterita. No entanto, a presença mais comum da caolinita se faz notar na forma de cristais de pequenas dimensões (micra), constituindo a matriz.

Os acordeons de caolinita apresentam-se no microscópio ótico (fotos 11 e 12) na forma de empilhamentos mais ou menos regulares, frequentemente curvos e de contornos nítidos. Os cristais que os compõem são incolores, o relevo é fraco, as cores de interferência são cinza-clara, e a extinção reta em relação à lineação interfoliar. O tamanho desses acordeons podem chegar a 2 mm. Os mais comuns, entretanto, têm de 0,1 a 0,5 mm.

No Microscópio Eletrônico de Varredura, os acordeons de caolinita (fotos 13 e 14) foram facilmente identificados, e quanto a forma são semelhantes àqueles observados no microscópio ótico.

Os acordeons de maiores tamanhos podem ser relacionados às transformações das micas (caolinização), onde são preservadas, ao menos parcialmente, os contornos e as formas do mineral original.

Estes acordeons derivados das micas se diferenciam daqueles formados às expensas dos feldspatos, onde os cristais são menores e dificilmente identificados no microscópio ótico. Os minerais de ferro aparecem recobrando os acordeons de caolinita, conferindo-lhes uma tonalidade bruno-avermelhada. Este ferro não entraria na rede cristalina da caolinita, mas se localiza entre os seus cristais e bordas. Estas mesmas feições foram observadas por Delvigne (1981).

FOTO 11

Granito Itu, perfil 1,
nível 15. Acorçons de
caolinita. M.O., Luz Pol.
79 X.

0.2 mm

FOTO 12

Gnaiss Atibaia, perfil 2,
nível 24. Acorçons de
caolinita. M.O., Luz Pol.
312 X.

0.053 mm

FOTO 13

Gnaiss Bragança, per-
fil 3, nível 34. Fração
silte. Acorção de
caolinita. MEV, 1.000 X.

20 μ m

FOTO 14

Gnaiss Atibaia, perfil 2,
nível 23. Fração silte.
Detalhe do acordeon de
caolinita. MEV, 5.000 X.

4 μ m

GIBBSITA

A gibbsita, nos difratogramas, se apresenta com pequena expressão, e normalmente, se restringe ao nível do solum. Porém, no perfil 4, distribuem-se por todo o perfil, variando a intensidade das reflexões nos DRX. As reflexões, nesse perfil, aumentam de intensidade em direção à base. (fig. 14). E, a quantidade relativa da gibbsita aumenta em detrimento da caolinita.

No microscópio ótico, os cristais de gibbsita foram observados com certa dificuldade nos níveis da alterita. A melhor identificação desse mineral se deu no nível 44, perfil 4, utilizando-se os maiores aumentos (500 X). Esses cristais apresentaram aspecto tabular.

No nível do solum, a gibbsita, evidenciada através dos difratogramas, não foi observada no microscópio ótico, isto se deve provavelmente aos tamanhos diminutos dos cristais, além de estarem misturados com outros minerais e/ou porque estão mascarados pelos hidróxidos de ferro.

Os difratogramas do perfil 4 (fig. 11 e 14), apresentam picos com maiores intensidades para as gibbsitas nas amostras totais do que na fração argila, provavelmente porque nessa fração os cristais tenham uma menor cristalinidade. Os picos de maior intensidade, nas amostras totais, estariam relacionadas com a concentração da gibbsita na fração silte (0,002-0,075 mm), que é a fração predominante no perfil.

GOETHITA

A identificação dos minerais de ferro se restringiu à goethita, através da DRX, e essa identificação se limita aos perfis 2, 3 e 4. (fig. 11, 13 e 14).

A hematita, por outro lado, não foi identificada, porém foi encontrada em alteração de granitos da região por Nóbrega (1988).

O microscópio ótico não propiciou a identificação da goethita e da hematita, porém supõe-se que as tonalidades pardo-avermelhadas são consequência da concentração desses minerais. Ocorre, entretanto, que esses minerais apresentam-se associados, em mistura íntima, na alterita e no solum.

Nos perfis 1 e 5, os minerais de ferro, praticamente, se concentram no nível do solum. Nos níveis da alterita esses minerais são encontrados apenas associados às biotitas em alteração, portanto, em pequena concentração.

Nos perfis 2 e 4, esses minerais encontram-se melhores distribuídos por todo o perfil, com a característica de que aumenta a concentração da base em direção ao topo.

O perfil 3 apresenta-se diferentemente dos demais. O nível do solum apresenta uma concentração de minerais de ferro aparentemente maior que os níveis correspondentes dos outros perfis. Na alterita, o nível 31 apresenta uma pequena quantidade de ferro, disperso na matriz. No nível 32, a proporção diminui sensivelmente e, no nível 33, o ferro está ausente. Já no nível 34 aparece alguns amorfos em forma de pequenas massas globulares; os quais estão orientados segundo as lineações existentes.

No nível do solum do perfil 3 as organizações se caracterizam por apresentarem nódulos, em forma de micropartículas (foto 15), semelhantes àquelas descritas por Nóbrega (1988) em solos lateríticos (latossolo roxo).

FOTO 15

Gnaiss Bragança, perfil 3, nível 30. Detalhe dos Microagregados. M.O., Luz Nat. 125 X. Q - quartzo; M - microagregados.

0.2 mm

Quanto à quantificação dos minerais de ferro, que não foi feita neste trabalho, estima-se, no entanto, que a sua quantidade é muito pequena, principalmente, nos perfis 1 e 5. Já nos demais perfis a quantidade não deve passar de 9% de óxidos, como constatado por Carvalho et al. (1975) para o perfil 2.

As formas dos minerais de ferro observadas estão relacionadas com a sua concentração. No caso do *solum* dos perfis 1 e 5, onde a concentração é menor, o ferro aparece disperso na matriz.

Nos perfis 2 e 4, a maior concentração de ferro proporciona a sua individualização em pequenos nódulos e ou lentes, além da dispersão na matriz.

AMORFOS

A observação dos componentes amorfos se restringiu às análises através da microscopia ótica, os quais se apresentaram como uma "massa" dispersa pela matriz, nas mais diversas cores, principalmente nas tonalidades esbranquiçadas a avermelhadas.

Pôde ser constatado que a frequência desses materiais será maior quanto maior for o grau de alteração sofrida pela rocha de origem.

V.2 - ORGANIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Quanto à organização dos diferentes minerais do manto de alteração poderia ser diferenciadas duas grandes classes, uma primeira formada pelos níveis superficiais ou *solum*; e a segunda compreende os níveis inferiores ou *alterita*.

A diferença mais notável entre essas classes é a ausência, no *solum*, de texturas petrográficas e estruturas litológicas da rocha de origem, enquanto na *alterita*, há uma conservação ao menos parcial dessas feições.

V.2.1 - Solum

No **solum**, de modo geral, os grãos de esqueleto estão imersos em uma matriz argilosa a argilo-siltosa, com os minerais de ferro tendo maior ou menor expressão na constituição dessa matriz.

Poderia ser estabelecida uma diferenciação entre os níveis do **solum** dos 5 perfis quanto às características da matriz e do esqueleto. Esta diferenciação baseia-se em uma gradação no tamanho dos componentes da matriz, além de variações na quantidade aparente de ferro e no elenco de minerais primários presentes. Foram diferenciadas 3 classes: a, b e c.

a) Perfis 1 e 5 (Níveis 10 e 50).

Os níveis do **solum**, desses perfis, estão constituídos por uma matriz argilo-siltosa, onde as caolinitas aparecem melhor cristalizadas, sendo possível sua identificação ao microscópio ótico. O ferro encontra-se disperso, porém em quantidade que não impede a visualização dos demais componentes da matriz.

Os grãos de esqueleto estão representados pelos grãos de quartzo, feldspatos e micas como acessórios. Esses grãos aparecem distribuídos aleatoriamente na matriz.

b) Perfis 2 e 4 (Níveis 20 e 40).

Nos níveis 20 e 40 a matriz é mais argilosa e a quantidade de ferro é maior que os níveis 10 e 50, no entanto é possível a identificação de cristais nos maiores aumentos do microscópio ótico (500 X). O ferro apresenta-se disperso, mas também forma alguns nódulos de 1 a 2 mm de diâmetro. Os grãos de esqueleto são formados por quartzo, e micas como acessórios.

c) Perfil 3 (Nível 30)

Nesse nível, a matriz caracteriza-se por ser argilo-férrica. O ferro apresenta, aparentemente, a sua maior expressão, conferindo ao nível tonalidades de vermelho bastante acentuadas. Os grãos de esqueleto são formados por quartzo, e raros cristais de micas.

A estrutura do material é contínua em microagregados granulares, que podem ser formados por caolinita, gibbsita, ferro, com ou sem quartzo (muito pequenos) e micas. Os tamanhos dos microagregados variam em torno de 0,5 mm, e são semelhantes aos outros grãos de esqueleto formados por quartzo.

Esses microagregados são correspondentes àqueles descritos por Nóbrega (1988) em latossolo roxo, no entanto, esses se diferenciam por conterem apenas 5 % de quartzo.

O quartzo, como grãos de esqueleto, ocorrem isolados, e perfazem cerca de 40 % de material.

V.2.2 - alteritas

As alteritas dos 5 perfis apresentam algumas diferenças que permite separá-las em classes. Esta divisão segue, ao menos em parte, os níveis do ~~solum~~ quanto a separação dos perfis em 3 classes: a, b e c.

As diferenças que mais se destacam referem-se a presença ou ausência de feldspatos e ferro, e, diretamente ligado a presença dos feldspatos, está a proporção de argilo-minerais.

Quanto à organização dos minerais residuais, as alteritas têm em comum a preservação de feições da rocha de origem.

a) alteritas dos perfis 1 e 5.

A matriz é essencialmente siltosa, e os grãos de esqueleto são formados por quartzo, feldspatos e micas, inclusive esses grãos representam mais de 60 % do material.

Os grãos de esqueleto aparecem relativamente deslocados uns dos outros (tendo-se como referência a união dos minerais na rocha de origem), e os espaços deixados por esses deslocamentos estão vazios ou preenchidos por caolinitas. Os vazios são perceptíveis mesmo nos primeiros estágios da alteração (base do perfil) e o seu número tende a crescer da base em direção ao topo.

O aparecimento desses vazios não modifica, substancialmente, a textura e a estrutura da rocha de origem. Assim, até mesmo nos níveis superiores da alterita ocorre uma preservação dessas feições.

Desta forma, no perfil 1, podem ser observados que os grãos de quartzo, feldspatos e micas estão organizados de tal forma a lembrar uma textura hipidiomófica granular.

Já no perfil 5 a feição reliquiar melhor preservada é uma textura grano-nematoblástica, característica de rocha gnáissica.

b) alteritas dos perfis 2 e 3.

Nessas alteritas, a matriz apresenta-se com características argilo-siltosas. Os grãos de esqueleto são constituídos essencialmente por quartzo, tendo micas como acessórios, perfazendo cerca de 30 % do total.

Os minerais de ferro e amorfos, que tem maior expressão no perfil 2 do que no 3, estão disperso pela matriz, mascarando muitas vezes a cristalinidade dos minerais componentes da matriz. As evidências de conservação de feições da rocha de origem são marcadas pela presença de pseudomorfoses de feldspatos e biotitas, e principalmente pela presença de quartzo em assembléias. Além disso, no nível 22 (perfil 2) são observadas algumas lineações horizontais, definidas por uma maior concentração de moscovitas em faixas milimétricas, indicando assim a conservação de vestígios de foliações da rocha de origem.

c) alterita do perfil 4

Essa alterita apresenta algumas características peculiares. A matriz é essencialmente siltosa, correspondendo a cerca de 60 % do material. Os grãos de quartzo e algumas moscovitas constituem o esqueleto.

Os grãos de esqueleto estão dispersos na matriz que apresenta-se, na base do perfil, essencialmente gibsítica. Em direção ao topo ocorre uma diminuição de sua quantidade, aparecendo a caolonita em seu lugar.

São comuns, no perfil, lineações verticais realçadas pela presença do ferro e assembléias de grãos de quartzo milonitizados. As feições de milonitização foram observadas no nível 41, indicando uma boa preservação das características da rocha de origem.

As lineações verticais e as assembléias de quartzo indicam que o perfil está dentro de uma faixa de falhamentos. (Taxaquara).

V.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO DOS PERFIS.

Numa análise conjunta dos materiais, verificou-se que os minerais componentes da rocha de origem, apresentam resistências diferenciadas à alteração hidrolítica, resistências estas que correspondem à seqüência estabelecida por Goldich.

Além deste fato, constatou-se que o fenômeno de hidrólise teve atuação distinta entre os perfis, e mesmo entre o topo e base de cada perfil, produzindo, desta forma, diferenças no elenco mineralógico entre os níveis e entre perfis.

Poderia ser aplicado o "grau de alteração" de Melfi & Pedro (1977) aos materiais estudados. Assim, haveria uma diferenciação de graus de alteração entre níveis e entre os perfis, que podem ser distribuídos em dois conjuntos:

1*) O grau de alteração é igual a 100.

Corresponde aos níveis do solum dos perfis 2, 3 e 4, onde a alteração dos minerais primários alteráveis é praticamente completa (presença de resquícios de moscovita), e a constituição é "argilosa". É o caso da ferralitização (Pedro, 1969), onde todos os minerais alteráveis foram transformados em caolinita associada à gibbsita.

2º) O grau de alteração é inferior a 100.

Os níveis de alteração dos perfis contém minerais passíveis de serem alterados, constituindo uma reserva mineral. Nesse caso, as condições não permitiram uma hidrólise rápida.

A textura varia de argilo-siltosa a arenosa.

A reserva mineral é variável de perfil para perfil, o que possibilitou a divisão em três grupos quanto ao grau de alteração inferior a 100, que seriam os seguintes, em ordem crescente:

2º.a) Mais próximo do 100. Constituído pelos níveis da alterita dos perfis 2, 3 e 4. A textura é argilo-siltosa nos perfis 2 e 3 e siltosa no 4. A reserva mineral, nesse caso, é pequena.

2º.b) Formado pelos níveis 10 e 50 (perfis 1 e 5). Há presença de feldspatos, com quantidade considerável. A textura é argilo-siltosa.

2º.c) Formado pelas alteritas dos perfis 1 e 5. Além da presença dos feldspatos, a textura é essencialmente arenosa, em torno de 70 %.

VI - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Os materiais estudados foram submetidos a diversos ensaios geotécnicos (M-MCV, M-CBR, P_i e Expansão), e os resultados são apresentados na tabela 2 e figuras 29 a 49 - anexo. Cada figura dessas é composta por esses quatro ensaios, realizados em cada nível.

Foram ensaiados todos os níveis do perfil 1 e 2, no entanto, nos perfis 3, 4 e 5, os ensaios se restringem ao nível do *solum*, topo e base da alterita.

VI.1 - ENSAIO M-MCV

Este ensaio propiciou a confecção de gráficos que são compostos de uma família de curvas, as quais expressam a variação da densidade pela umidade para diferentes energias de compactação. (fig. 29 a 49 - anexo).

A curva de 12 golpes apresenta-se, no gráfico, pontilhada para se destacar das demais. Esta é a curva que representa a energia equivalente à normal.

Em cada gráfico observa-se que o formato das curvas acima de 12 golpes são semelhantes, traduzindo um comportamento similar, em relação à umidade, nas diversas energias de compactação.

De modo geral, há uma diferença significativa na forma das curvas do nível do *solum* comparadas com as dos níveis das alteritas. Enquanto essas são pouco sensíveis às variações de umidade, aquelas são relativamente sensíveis, produzindo curvas com coeficientes angulares altos.

Este fenômeno está realçado nas figuras 15 e 16, onde foram plotadas as curvas de 12 golpes de todos os níveis ensaiados, sendo que na figura 15 estão representados os níveis do *solum*, e na 16 os níveis das alteritas.

Através da análise dessas figuras verifica-se que a umidade ótima de compactação fica melhor definida nos materiais correspondentes ao nível do *solum*, enquanto nos níveis da

TABELA 2 : Resultados dos ensaios geotécnicos realizados: M-CBR (MINI-CBR), Pi (PERDA DE MASSA POR IMERSÃO), EXPANSÃO e respectivas UNIDADES. (dados em %).

	NÍVEIS		UMIDADES				M-CBR S/IMERSÃO					M-CBR IMERSO					Pi				EXPANSÃO					
perfil 1	10	11.7	14.4	18.2	20.5	23.2	81	111	37	6.8	1.8	6.2	43	23	5.7	2.3	-	271	130	129	151	-	0.3	0.1	0.1	0
	11	14.1	18	22.1	26.1	30	94	47	11	3	0.7	58	31	8.5	2.3	1	-	117	108	156	127	-	0	0.1	0.1	0
	12	9.8	14	18	22	25.7	58	88	24	6	2.4	18	68	17	4	1.8	-	122	97	139	151	-	0.1	0.2	0.1	0.1
	13	11.8	15	18.1	21	23.8	81	60	14	7.1	3.5	46	39	9.2	4.3	3.5	-	85	93	108	114	-	0.1	0.1	0	0
	14	12.1	15.1	18	21	24	83	48	30	7.1	4	38	50	14	5.7	3.6	-	123	125	128	148	-	0.2	0.1	0.2	0
	15	12.1	15.2	18.1	21.1	23.8	80	58	25	6.8	4.5	31	50	21	6.4	4.5	-	83	108	100	129	-	0.3	0	0.1	0
	16	11.8	14.8	17.7	20.8	23.9	64	40	14	3	1.8	21	37	11	3.1	1.8	-	132	134	162	171	-	0.4	0.1	0	0
perfil 2	20	23.7	27.7	30.7	33.7	36.7	63	16	4.4	3.1	1.8	46	13	4.4	2.3	1.1	-	0	90	129	127	-	0.5	0	0	0
	21	19.7	22.8	25.8	28.9	32.1	75	73	27	7.8	5	11	30	18	6.8	1	-	106	0	0	76	-	2.5	0	0	0
	22	19.4	22.4	25.1	28.2	31.4	51	40	16	4.6	3.6	10	25	11	4.6	3.1	-	151	72	91	96	-	0.5	0.6	0.3	0
	23	20.1	24.1	28.1	32.4	36.2	41	27	11	4.6	2.1	8.5	11	6.4	3.6	2.1	-	195	116	86	98	-	1.2	0.1	0.3	0
	24	17.5	21.6	25.6	30.1	33.5	46	41	16	3.8	2.3	7.1	18	9.2	3.4	2.3	-	220	111	85	85	-	1.3	0.4	0.3	0
perfil 3	30	17.1	19.2	21.2	23.2	25.2	68	40	13	7.1	3.3	65	37	11	4.6	2.3	-	0	0	65	119	-	0.5	0.8	0.2	0.2
	31	15.1	19	23	26.9	31	58	68	24	8.8	2.2	4.3	5.7	9.2	6.3	2.2	-	256	232	138	127	-	3.2	1.6	0.3	0
	34	18	22	26.1	30.1	34.3	50	41	12	2.3	1.1	3.4	7.8	7.8	2.3	1	-	249	113	159	147	-	1.5	0.3	0	0
perfil 4	40	22.2	25.4	28.2	31.2	34.2	64	20	11	5.4	4.3	17	15.6	10.7	5.4	4.3	-	0	0	101	123	-	0.8	0.8	0.5	0
	41	16.1	20	24.3	28.6	32.4	40	44	19	6.8	4	2.8	11.4	8.5	3.4	2.4	-	250	278	292	245	-	1.7	1	0.6	0
	44	19.1	22.7	27.3	31.2	35.6	64	80	14	4.4	2.3	57	28.4	8.5	3.1	1.8	-	104	155	260	196	-	0.7	0.2	0.2	0
perfil 5	50	11.6	14.6	17.5	20.5	23.5	132	24	9	2.3	1.8	43	19	6.8	2.3	1.2	-	83	105	121	109	-	0.8	0.5	0.5	0
	51	9.5	13.4	17.8	21.5	25.2	64	68	11	2.3	0.5	31	54	10	2.3	0.5	-	133	111	176	174	-	0.5	0.2	0	0
	56	7.5	10.6	13.7	16.8	19.4	83	114	29	9.2	4.8	31	82	23	7.1	3.6	-	98	131	140	160	-	0.6	0.9	0.2	0.2

Fig. 15 -Curvas de 12 golpes correspondentes aos níveis do solum.

Fig. 16 -Curvas de 12 golpes correspondentes aos níveis da alterita.

alterita a umidade ótima abrange um determinado campo de variação da umidade. Constitui uma exceção o nível 21, onde a forma da curva se assemelha à do nível do *solum*. (fig.16).

As diferenças de comportamento hídrico, entre os níveis do *solum* e as alteritas, refletido na forma das curvas, podem ser interpretadas como resultantes do tipo de organização dos minerais. Nos níveis do *solum*, a organização dos materiais é do tipo "associativa", isto é, os constituintes mineralógicos, principalmente os da fração argila, atuam como um agente agregador entre si e entre os demais constituintes (esqueleto).

Já, nas alteritas, a organização não é associativa, onde os grãos do esqueleto estão simplesmente justapostos, e a fração argila aparece normalmente ocupando espaços deixados pelos minerais pré-existentes, não estando, portanto, a fração argila agindo como cimento.

A partir dessas considerações ressalta-se a importância da fração argila que, organizada de determinada maneira, teria, na compactação, um papel de agente lubrificante das partículas, como expressou Faure (1980).

Em termos práticos, como interessa considerar a densidade máxima atingida na umidade ótima, com a aplicação da energia de 12 golpes, foi confeccionada a figura 17, na qual nota-se que há uma grande dispersão dos resultados, variando de 1,45 a 1,85 g/cm³. No entanto, é possível separar-se dois grupos de materiais que podem ser diferenciados quanto às densidades alcançadas.

Um primeiro grupo, com densidades entre 1,59 - 1,82 g/cm³, é constituído por todos os níveis dos perfis 1 e 5 e mais o nível 30. Apresenta maior dispersão dos valores, e o fato das densidades, dos níveis da alterita, apresentarem uma tendência de aumentar do topo para a base do perfil.

Quanto ao nível do *solum*, a sua densidade tem um valor intermediário do topo / base da alterita. A posição intermediária da densidade do *solum* ressalta a diferença que existe entre esse nível e a alterita. Pois, em um perfil de alteração com todos os níveis originados *in situ*, era de se

Fig. 17 -Níveis representados pelos pontos de maior densidade das curvas de 12 golpes.

esperar que a densidade do nível do *solum* tivesse a menor densidade do perfil, como observado no topo da alterita.

No grupo 2, representado pelos perfis 2, 3 e 4, as densidades entre os níveis estão menos dispersas, os valores de densidade entre 1,45 a 1,54 g/cm³. Assim, nota-se que as densidades dos níveis de cada perfil ocorrem muito próximas uma das outras; este fato traduz -ao menos quanto ao aspecto de resistência que é a densidade- uma certa homogeneidade do perfil em termos de constituição e organização dos minerais.

O nível 30, constitui uma exceção à regra acima, porque possui uma densidade maior que os demais níveis do perfil 3 - grupo 2. Este fato deve estar relacionado à organização dos materiais, no caso microagregados, como visto no item de micromorfologia.

As diferenças de densidades entre os grupos podem ser atribuídas à constituição granulométrica e ou mineralógica de cada perfil. Assim, os materiais do grupo 1, que são constituídos essencialmente pela fração areia (quartzo + feldspatos), e o nível 30 devido ao tipo de organização, apresentam maiores densidades. Por outro lado, nos perfis do grupo 2, têm maiores concentrações as frações argila e silte (minerais secundários e quartzo), logo, menores densidades.

Desta forma, pode ser estabelecida uma relação diretamente proporcional da densidade alcançada com a granulometria/mineralogia, como mostra a figura 18. Quanto maior a proporção das frações argila e silte, (minerais secundários, principalmente) menores serão as densidades alcançadas. Deve ter-se em conta, evidentemente, que a organização do material pode modificar esse comportamento, como nos casos dos níveis do *solum*.

Por outro lado, às vezes, um ou outro fator condicionante pode ser decisivo quanto a densidade alcançada. É o que acontece com o nível 44 (menor densidade alcançada), que é o único nível onde a gibsita e a goethita são os minerais preponderantes, apesar da granulometria ser semelhante aos demais níveis do perfil 4.

Fig.18 -Comparações entre as frações argila / silte e densidade máxima alcançada em 12 golpes, por cada nível.

legenda

Como o ensaio M-MCV realiza a compactação dos materiais até o máximo de densidade, através de energias de 192 ou 256 golpes, foi confeccionada a figura 19, onde estão plotadas as densidades máximas alcançadas nas energias máximas. Energias estas a partir das quais o corpo de prova tinha a sua altura invariável.

A comparação entre a figura 17 e a figura 19 mostra que na aplicação da máxima energia as densidades aumentaram em média 10 %. Não houve mudanças significativas quanto a disposição dos pontos, indicando, desta forma, uma certa homogeneidade no comportamento quanto à organização. Somente 3 níveis, 14, 44 e 56, apresentaram valores de acréscimo de densidade acima da média, ou seja, 12 %, 14,5 % e 13,2 %, respectivamente.

O comportamento relativamente homogêneo dos materiais pode significar que o padrão de organização definido com 12 golpes não mudará, ou mudará muito pouco, quando da aplicação de máximas energias. Desta forma, considerando-se, por exemplo, numa organização vértice vs face, predominante em um material rico em minerais filossilicáticos, compactados na energia de 12 golpes, essa organização não mudaria com aplicação de máxima energia (192 ou 256 golpes), pois em um material essencialmente granular (quartzo + feldspatos) o acréscimo de densidade com a aplicação de máxima energia seria semelhante.

Os ensaios de (M-CBR, Pi e Expansão) apresentam o condicionante de terem sido realizados com corpos de prova resultantes do ensaio M-MCV. Desta forma, esses corpos de prova foram compactados até o máximo de densidade em cada uma das 5 umidades. Os resultados desses ensaios estão plotados na tabela 2 e nas figuras de 29 a 49 -anexo.

Para os ensaios de Pi e expansão não foram considerados o ponto extremo (menos úmido) do ramo seco da curva de compactação, porque nessa condição de menor umidade dificilmente se daria na prática.

Fig.19 -Níveis representados pelos pontos de maior densidade na aplicação das maiores energias

VI.2 - ENSAIO M-CBR

Os resultados dos ensaios M-CBR apresentam-se dentro de uma ampla gama de variações, tanto nas umidades de compactação, como entre os perfis, e mesmo entre os próprios níveis de cada perfil.

Uma das diferenças mais notáveis nos gráficos do M-CBR refere-se aos valores alcançados pelo M-CBR sem imersão, que são sempre maiores que o M-CBR imerso. Inclusive, essa diferença, normalmente, é acentuada nas umidades mais baixas (ramo seco da curva de compactação).

As diferenças de resultados entre M-CBR imerso e sem imersão indicam que quando o material compactado está em meio saturado a sua resistência decresce, como já houvera sido constatado por muitos autores, entre os quais Gidigasú (1975), Vargas (1977), Caputo (1973). Também é reconhecido que o solo compactado na umidade ótima apresenta uma resistência apreciável mesmo depois da saturação.

Verifica-se ainda que os valores de M-CBR sem imersão estão mais correlacionados com a umidade de compactação do que com a energia empregada. Assim, os valores do M-CBR sem imersão crescem da maior para a menor umidade. Este fenômeno ressalta a importância na definição e controle da umidade de compactação.

O emprego de maiores energias na compactação não traduz, necessariamente, num ganho substancial de resistência, ao menos em termos de M-CBR.

Na figura 20 estão situados valores de M-CBR imersos e sem imersão, correspondentes à umidade ótima de compactação para 12 golpes. Esses valores foram obtidos por interpolação gráfica nos gráficos de M-CBR das figuras de 29 a 49 -anexo. Observa-se na figura 20 que os valores são baixos, não ultrapassando 30 %, sendo que o valor mais alto corresponde ao nível 30, com M-CBR de 30 % sem imersão e 26 % imerso.

Fig. 20 -Valores de M-CBR correspondentes à umidade ótima da curva de 12 golpes.

legenda

- imerso
+ — + s/ imersão

Considerando-se os valores de M-CBR sem imersão (tabela 2) para os corpos de provas com maiores densidades, verifica-se que eles estão muito dispersos, sendo que a maioria deles estão situados entre 27 e 100 %.

No perfil 1, observa-se que os valores tendem a diminuir do topo em direção à base. (110 % - nível 10 à 40 % - nível 16). Nesse caso, os valores de M-CBR são inversamente proporcionais às densidades máximas alcançadas. Nos demais perfis esses valores não seguem, aparentemente, nenhuma ordem.

Os valores de M-CBR imersos são menores do que os sem imersão, com as razões M-CBR sem imersão/ imersos, variando de 1,3 até 12; estes dados evidenciam, uma vez mais, a grande variação (dispersão) dos resultados desse ensaio. As razões mais altas, 11 e 12, referem-se, respectivamente, aos níveis 31 e 34. Nos demais níveis as razões giram em torno de 2,5. A menor razão entre esses ensaios é a do nível 30, onde a razão é de 1,05 para as três unidades mais baixas. Estes resultados traduzem um comportamento, praticamente invariável do material do nível 30, em meio saturado.

Esses mesmos resultados divergem daqueles de Nogami (1985), onde os valores de perda de suporte são muito maiores nos solos saprolíticos do que nos solos lateríticos.

VI.3 - PERDA DE MASSA POR IMERSÃO - PI

Os valores encontrados são normalmente altos, indicando que, de um modo geral, os materiais são pouco coesivos. Porém, existem níveis onde a P_i é nulo para determinadas unidades de compactação (Tabela 2), como acontece com os níveis 20, 21, 30 e 40, para determinadas unidades. Inclusive, como pode ser observado nas figuras 36, 37, 41 e 44 -anexo, esse comportamento está relacionado à unidade ótima de compactação da curva de 12 golpes.

Quanto às variações dos valores de P_i , os perfis poderiam ser diferenciados em 2 grupos. No 1º grupo, situam-se os perfis 1 e 5, os valores são sempre altos e estão compreendidos entre 80 e 171 %. Com exceção do nível 10, onde, na menor umidade, o valor de P_i é de 271 %.

As variações de P_i para as diferentes umidades e mesmo entre os níveis de cada perfil são pequenas. Desta forma, não há diferenças entre os níveis da alterita e os níveis do *solum*.

No 2º grupo, composto pelos perfis 2, 3 e 4, podem existir valores de P_i nulos e podem variar até 300 %. Outra característica é a de que ocorre diferenciação de P_i entre os níveis do *solum* e os da alterita.

VI.4 - EXPANSÃO

Os valores da expansão (tabela 2), de modo geral, são muitos pequenos, somente 6 níveis, nas menores umidades, apresentaram valores acima de 1 %.

Há uma tendência dos valores da expansão dos perfis 1 e 5 serem menores do que nos perfis 2, 3 e 4. Portanto, poderia ser seguida a divisão em grupos adotada acima. Assim, no grupo 1, (perfis 1 e 5), os valores da expansão são menores do que no grupo 2 (perfis 2, 3 e 4).

Na consideração de que os corpos de prova fossem compactados na umidade ótima com energia normal, supõe-se, pelo exame das figuras de 29 a 49, que somente o nível 31 apresentaria uma expansão acima de 1%, ou seja cerca de 1,5%.

A condição de umidade ótima na energia normal corresponde ao ponto em que a densidade seria máxima e a expansão menor.

VI.5 - GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO.

O quadro 8 apresenta o gráfico de classificação, no qual estão plotados todos os níveis ensaiados. Nesse quadro os níveis do *solum* ficaram separados dos níveis da alterita. Esta disposição dos níveis pertencentes aos grupos LA' e LG', corresponde na classificação, a materiais de comportamento "laterítico", enquanto os níveis da alterita situaram-se nos grupos NA', NS' e NG', portanto com comportamento "não laterítico".

Quadro 8 -Classificação dos níveis dos perfis estudados, segundo gráfico de classificação de Nogami & Villibor (1981).

VII - CORRELAÇÕES GEOLOGIA x GEOTECNIA.

É próprio, no meio geotécnico, a utilização de classificações de solos objetivando predizer os seus comportamentos, contudo, como já apontado anteriormente, existem dificuldades na aplicação de classificações usuais, pois estas baseiam-se, muitas vezes, somente em dados fornecidos pelos ensaios geotécnicos.

Esta dificuldade de aplicação pode ser justificada porque a consideração isolada de qualquer um dos ensaios geotécnicos não definem o comportamento mecânico de um material, torna-se necessário, desta forma, a conjugação de muitos deles, inclusive com a participação dos dados geológicos.

Muitos autores têm postulado que um conhecimento mais adequado dos nossos solos, para aplicação na engenharia, envolve, necessariamente, uma integração dos dados geotécnicos com os geológicos.

Entre os próprios aspectos geológicos estudados, surgem algumas correlações que podem ajudar na simplificação da caracterização dos materiais de alteração.

A partir dos resultados das descrições macroscópicas, granulométricas, mineralógicas e micromorfológicas, foram feitas as seguintes considerações:

Primeiramente, para os materiais estudados, poderia ser estabelecida uma relação entre a granulometria e o elenco de minerais que compõem cada perfil. As maiores quantidades de fração areia e cascalho, perfis 1 e 5, estão diretamente relacionadas com uma maior quantidade de minerais primários (quartzo e feldspatos). Por outro lado, a presença de uma maior percentagem da fração menor que 0,075 mm é reflexo de uma maior presença de minerais secundários (caolinita principalmente) perfis 2, 3 e 4.

Outra constatação diz respeito à influência do grau de deformação sofrida pelas rochas, que deram origem aos materiais de alteração estudados, na sua distribuição granulométrica. Assim, uma rocha que, praticamente, não sofreu ações deformacionais, como no caso do perfil 1, origina materiais de alteração com granulometria mais grosseira (predominância da fração maior que 0,075 mm). Por outro lado, os perfis desenvolvidos a partir de gnaisses, cujos minerais apresentam fortes sinais de deformação, são constituídos, de modo geral, por materiais de granulação mais fina.

Entretanto o perfil 4, originado de rocha granítica, apresenta uma granulometria siltico-argilosa. Esta granulometria é resultado da milonitização que a rocha sofreu, reduzindo o tamanho dos minerais primários, e consequentemente, facilidade na sua alteração.

Por outro lado, entre os perfis originados de gnaisses, o perfil 5 apresenta uma granulometria mais arenosa que os outros 2 perfis, o que poderia indicar, um menor grau de deformação, ou uma textura mais grosseira da rocha de origem.

Sabe-se que a granulometria do material de alteração será o resultado de uma conjugação de vários fatores. Entre eles se destacam o grau de deformação, a textura e mineralogia da rocha de origem, regime hídrico da região e posição na vertente.

Nos perfis estudados, verifica-se que dentre os fatores acima, os que têm maior importância são o grau de deformação e a textura das rochas de origem. Os demais fatores parecem não ter expressão significativa. Assim, a mineralogia básica das rochas de origem é a mesma - rochas compostas essencialmente de quartzo, feldspatos e micas, em proporções semelhantes entre os diferentes tipos de rochas.

O regime hídrico, para os diferentes perfis, é o mesmo, portanto não propiciando diferenciações.

A posição na vertente dos diversos perfis, parece não traduzir mudanças significativas, como constatou Cerri (1974) no estudo de uma topossequência no granito de Itu.

Nos perfis estudados, pôde ser verificado que as interpretações baseadas somente nas caracterizações

macroscópicas do material *in loco* podem ser enganosas, quanto à previsão da granulometria e mineralogia.

Por outro lado, as descrições macroscópicas proporcionaram, com relativa facilidade, a separação entre os níveis do *solum* dos níveis da alterita.

Com referência aos níveis da alterita, derivados de rochas gnáissicas, as interpretações são difíceis. Pois, como foi descrito no capítulo de caracterizações macroscópicas, dos três perfis somente o 2 e o 3 foram caracterizados, numa primeira abordagem, como derivados de rochas gnáissicas, por apresentarem anisotropia aparentemente acentuada. Enquanto, o perfil 5 somente foi caracterizado, como de origem gnáissica, posteriormente, com auxílio da microscopia.

A anisotropia verificada nos perfis não traduziram heterogeneidade mineralógica entre os diversos níveis de cada perfil. Porém houve pequenas variações na granulometria. No entanto, essas variações na granulometria, aparentemente, não refletiram nos resultados dos ensaios geotécnicos.

As considerações acima discordam de alguns autores, entre eles Barroso et al (1981), que atribuem às rochas gnáissicas uma maior complexidade na caracterização geológica e geotécnica dos seus materiais de alteração.

Os granitos, por outro lado, deram origem a perfis de alteração relativamenete isotrópicos, com a granulometria e mineralogia apresentando um comportamento homogêneo.

Essas constatações podem colaborar na definição de parâmetros de amostragens. Seria necessário, entretanto, uma ampliação do número de perfis analisados e do universo de rochas amostradas, para que considerações mais seguras possam ser feitas.

Um dos objetivos do presente trabalho foi o de tentar estabelecer a correlação da geologia com o comportamento mecânico. Apesar das dificuldades já bem conhecidas no estudo, algumas correlações puderam ser estabelecidas a partir dos resultados obtidos.

A primeira diz respeito à correlação entre a granulometria e as densidades alcançadas. Assim, materiais cuja granulometria é essencialmente composta de areia, como é o caso dos perfis 1 e 5, apresentam maiores densidades, nas diversas energias de compactação. Observa-se uma tendência da densidade aumentar do topo em direção à base do perfil.

O nível 30 constitui uma exceção, pois esse nível é composto essencialmente de grãos menores que 0,075 mm, mas a organização diferenciada do material pode justificar esse comportamento. O mesmo acontece com os níveis 10 e 50, porém em menor escala.

Em termos de densidade alcançada (12 golpes), não ocorre uma diferenciação pela maior ou menor presença do silte em relação à argila. Os níveis dos perfis 2, 3 e 4, localizam-se muito próximos, apesar do perfil 4 ter uma quantidade preponderante de silte.

Desta forma, a figura 21, poderia ser correlacionada com as densidades alcançadas, onde os perfis 2, 3 e 4, por conterem maiores quantidades da fração menor que 0,075 mm, se correlacionam com as menores densidades alcançadas.

Com referência às densidades máximas alcançadas, com a aplicação do máximo de número de golpes, podem ser admitidas as mesmas considerações acima.

Os valores do M-CBR parecem, de modo geral, não ter relação com a granulometria/mineralogia. Na figura 20 (M-CBR - 12 golpes), verifica-se que não ocorre uma diferenciação acentuada de valores entre os perfis, portanto, parece não haver correlação com a granulometria.

Considerando-se os valores de M-CBR obtidos a partir dos corpos de prova nas densidades máximas, pode deduzir-se que, aparentemente, não há relação com a granulometria. O grau de dispersão dos resultados é muito grande. Apenas o perfil 1 apresenta uma certa ordem de valores, mas inversamente proporcional à densidade alcançada. Do exposto, conclui-se que tornam-se restritas as correlações dos valores de M-CBR com a granulometria/mineralogia.

Fig. 21 - Fração menor que
0,075 mm.

Já os valores de Perda de Massa por Imersão -Pi. mostram uma certa correlação com a granulometria.

Os perfis mais arenosos (perfis 1 e 5) apresentam valores de Pi altos, porém dentro de uma faixa mais estreita de variação (80 a 171 %).

Por outro lado, nos demais perfis, os valores têm uma variação mais ampla, desde nulos até 300 %.

As diferenças dos valores de Pi entre o *solum* e os níveis da alterita, nos perfis 2,3 e 4, parecem estar relacionados com a organização dos materiais, pois nos níveis do *solum* os materiais apresentam-se com valores nulos na umidade ótima de compactação, indicando com isto que o material está coeso, ao contrário do que acontece com as alteritas.

No que diz respeito aos valores da expansão parece existir uma relação com a granulometria, sendo que os valores abaixo de 1% representam os materiais arenosos, enquanto os valores acima, os materiais argilo-siltosos.

Os materiais mais expansivos são os do grupo das esmectitas, os quais estão ausentes dos perfis estudados. No entanto, a expansão dos materiais estudados poderia ser justificada, provavelmente, pela presença da caolinita. A caolinita, que apesar de ser mineral de constituição foliar 1:1, de caráter não expansiva, podendo apresentar expansão da ordem de 50 %, como constatou Lietard (1979), citado por TESSIER (1980).

Pode ser verificado do exposto que, para o estabelecimento de correlações mais estreitas, entre as características geológicas e as geotécnicas, faz-se necessário precisar, por um lado, quais são os minerais, as quantidades relativas, as formas (tamanho, geometria) e organização desses minerais; por outro lado, os ensaios geotécnicos, para que possam realmente representar o comportamento do solo na compactação na obra.

Muitos são os fatores que em conjunto influenciam as propriedades geotécnicas de solos naturais. Entre esses, a mineralogia, forma e o tamanho de partículas são provavelmente os mais problemáticos.

Muitos estudos têm sido realizados para correlacionar os aspectos geológicos com o comportamento geotécnico dos materiais de alteração; esses estudos, em grande número, baseiam-se em materiais artificiais.

As misturas artificiais, por sua própria natureza, não são representativas de solos naturais, como salientaram Harritz et al. (1984). Assim, a aplicabilidade de informações adquiridas da correlação com o comportamento mecânico, de misturas artificiais para solos naturais é incerta.

Um dos principais problemas dentro de um sistema natural é o de que as variáveis são incontrolláveis e são sujeitas à influências imprevistas. Nesse aspecto é conveniente lembrar o que diz Seed, citado por VARGAS (1977), "as condições que produzem as máximas resistências variam enormemente com a natureza do solo e só podem ser determinadas através de um programa de ensaios levados a efeito com o próprio solo envolvido no problema."

Dentro deste contexto, serão abordados a seguir os principais problemas relativos à identificação dos aspectos geológicos dos materiais que compõem o manto de alteração.

Um dos problemas mais salientes diz respeito a caracterização dos minerais da fração argila e silte ($<0,075$ mm). Isto é devido aos seus tamanhos diminutos, e para a sua caracterização mineralógica faz-se necessário a aplicação de várias técnicas de análises, entre as quais se destacam a DRX, ATP, ATD, espectros infravermelhos, MET e MEV.

No entanto, existem algumas dificuldades nessa caracterização, relacionadas principalmente a quantificação e a cristalinidade.

De um lado existem variações de elementos dentro de uma série polimorfa, e como acontece, por exemplo, com o grupo da

caolinita, onde é comum a coexistência das haloisitas com as caolinitas. De outro lado, as variações de tamanhos dos cristais, existindo uma gradação desde criptocristalinos até macrocristais (com dezenas de micra de diâmetro), como acontece com as caolinitas.

O tamanho dos cristais tem grande importância na organização, porque os de tamanho coloidal poderão atuar como cimento, enquanto que, os macrocristais poderão formar o esqueleto. Inclusive se a cristalinidade dos macrocristais for bem desenvolvida, poderão formar um empacotamento de vários cristais, como é o caso das sanfonas de caolinitas.

Ao lado da identificação dos minerais aparece o problema de suas quantificações, inclusive é esta uma das principais barreiras nas tentativas de correlações dos aspectos geológicos, de materiais naturais, com o seu comportamento geotécnico.

O método mais difundido e utilizado para se quantificar os minerais menores que 0,075 mm é a DRX. No entanto, o método apresenta muitas restrições, principalmente quando se analisa materiais naturais. A dificuldade mais acentuada é aquela relacionada com a cristalinidade dos minerais que pode ser muito variável.

Uma das razões dessa variação na cristalinidade é a coexistência de várias gerações de minerais secundários, num perfil de alteração, como pode acontecer, por exemplo, com as caolinitas. (Lucas, 1989).

Mesmo no caso de minerais maiores que 0,075 mm (por exemplo, feldspatos), a quantificação fica prejudicada, pois os minerais alteráveis perdem progressivamente suas características, a partir da rocha sã, dando lugar aos minerais secundários. Muitas vezes, esta passagem se faz por uma fase intermediária designada de gel, sendo sua identificação e quantificação de grande dificuldade.

Quanto a forma dos minerais, que parecem ter influência decisiva no comportamento geotécnico dos materiais, pode-se afirmar que o seu estudo se restringe aos microscópios

eletrônicos. Porém, no microscópio ótico, algumas feições podem ser identificadas, e são aquelas relacionadas com os grãos maiores do que dezenas de micra (como os quartzos, feldspatos, micas e macrocaolinitas).

O estudo dos materiais do manto de alteração, quanto à sua organização, tem se tornado um dos assuntos de maior interesse para pesquisadores, tanto na área da geologia com na geotécnica; e é a micromorfologia que responde por essa área.

Normalmente, é utilizado o termo "estrutura" para designar o estado de organização de um material de alteração. Para Brewer (1976) e Mitchell (1976) corresponde ao termo "fabric", e quer significar o arranjo de partículas, de grupos de partículas e dos poros do solo.

A estrutura de um material de alteração será um dos fatores primordiais na definição da resistência de um solo. Assim, mudanças na estrutura acarretarão mudanças nas propriedades físicas e reológicas dos materiais.

Os fenômenos de coesão, que definirão o tipo de estrutura, têm como agentes principais as partículas coloidais. Essas partículas poderão atuar como agentes cimentantes. Os minerais de ferro parecem ter uma importância bastante grande, principalmente por sua pequena superfície específica.

Acrescenta-se ao exposto mais alguns agravantes na caracterização geológica dos materiais.

As estradas, devido a sua extensão linear, que normalmente são de dezenas de km, podem cortar os mais diversos tipos de rochas e nas mais diversas situações.

Devido as grandes extensões das estradas, a engenharia rodoviária necessita de respostas rápidas nos ensaios de caracterizações (geológica e/ou geotécnica). Mas, devido a esse fato e à diversidade de rochas cortadas, as amostragens tornam-se precárias, e muitas vezes, não representativas de materiais.

Por outro lado, atualmente, no Brasil, existem poucos estudos de caracterização de materiais de alteração e os mapas de solos existentes são de caráter geral, com classes de

materiais muito amplas, que podem abranger os mais diversos tipos de solos, do ponto de vista geotécnico, além do que a escala desses mapas são normalmente muito pequenas. Portanto, os profissionais da área de geotecnia não encontram subsídios para desenvolverem um trabalho de correlação mais aperfeiçoado.

Quanto aos ensaios geotécnicos, vários autores, têm ressaltado a inadequação dos ensaios geotécnicos desenvolvidos e utilizados em regiões de clima temperado, quando aplicados para solos tropicais. E muitos deles propõem o desenvolvimento de novos ensaios ou adaptação dos já existentes.

Foi com este intuito que Nogami & Villibor (1979 e 1981) propõem a utilização de novos ensaios por eles desenvolvidos, inclusive dentro de uma nova metodologia, designada de MCT - Miniatura de Compactação Tropical. Alguns dos ensaios propostos pelos autores acima foram utilizados no presente trabalho.

Dentro desse contexto cita-se os trabalhos de Merighi (1990) e Fortes (1990). Esses trabalhos têm a particularidade de desenvolverem ensaios expeditos, procurando assim fornecer respostas mais rápidas e adequadas para os materiais de alteração tropical.

Outra metodologia que está ganhando espaço é a determinação do módulo de resiliência, ou deformabilidade elástica dos solos. Este parâmetro pode ser determinado através do "ensaio triaxial de carga repetida" (Franzoi, 1990). Este ensaio de laboratório visa estudar materiais de pavimentação sob condições similares aquelas encontradas no campo.

Em síntese, um dos grandes problemas dos ensaios geotécnicos é a da reprodutibilidade, nos laboratórios, das condições de compactação e uso do material na obra.

Para uma melhor compreensão das implicações das estruturas dos solos no comportamento mecânico e hídrico, mais especificamente, para aplicação às obras rodoviárias, seria

necessário considerar quatro estados de estrutura dos materiais, que estão relacionadas a seguir:

- natural - indeformado;
- desagregado;
- na compactação;
- compactado no decorrer do tempo.

No que se refere à estrutura do material natural, pode-se considerar que para o *solum* as partículas de areia, silte e argila podem encontrar-se, em condições naturais, agregadas em partículas compostas, que são os agregados ou torrões.

A agregação das partículas podem ser provocadas por substâncias orgânicas e/ou minerais. Após o ajuntamento das partículas, a umidade e ressecamento alternados ajudarão no condicionamento do tipo de estrutura.

Segundo Lepsch (1980) os tipos de estrutura do *solum* podem ser: prismática, colunar, blocos subangulares, laminar e granular.

Para as alteritas, a estrutura poderia ser definida como uma justaposição de grãos, conservando, ao menos parcialmente, a estrutura da rocha de origem.

No que diz respeito à estrutura do material desagregado, os materiais de alteração, ao serem retirados do seu local de origem, podem perder completamente a sua estrutura original. É o que normalmente acontece com as alteritas, onde os materiais não tendo coesão tornam-se altamente friáveis ao serem removidos.

No *solum* a desestruturação é menos significativa.

Quanto à estrutura do material na compactação, os fenômenos de estruturação, de um dado solo, na compactação, têm como base a umidade do material e a energia empregada nessa compactação; e que variações dessas condições acarretarão mudanças importantes nas propriedades geotécnicas dos materiais.

Desta forma, é de grande importância a definição do teor em minerais argilosos dos materiais que serão compactados; porque esses minerais possuindo uma grande superfície específica condicionarão em grande parte a reatividade do material face a água.

Interessa também considerar a natureza dos minerais argilosos e o tipo de interação com outras frações granulométricas. Nesse âmbito é de fundamental importância identificar a presença dos minerais expansivos. Esses minerais determinarão um comportamento todo particular para os materiais compactados. Para Nogami (1991, comunicação verbal), os solos saprolíticos podem alcançar até 10 % de expansão, apesar de serem, muitas vezes, constituídos de minerais caoliníticos.

Os esforços de compactação podem provocar quebras do grãos maiores (principalmente areias) reduzindo os seus tamanhos, e também podem provocar destruições parciais de microagregados, pseudomorfoses e assembléias de grãos de quartzo. Ocorre também, em alguns tipos de solos, o desenvolvimento de um sistema de microfissuras paralelas entre si. Essas feições foram identificadas por Nóbrega (1988) e Pastore (1982).

Outro problema a ser avaliado é a influência do estado hídrico na resistência dos materiais compactados. Sendo que, uma das principais questões no estudo do comportamento geotécnico das alteritas é a acentuada perda de resistência em meio saturado.

Uma vez que o estado hídrico influencia na estruturação dos solos, Tessier (1980) propõe o estudo do arranjo dos constituintes de um material nos diversos estados de umidade. Para tanto, recorre a técnicas de porosimetria, MEV e MET.

O método de Tessier, descrito acima, poderia também ser aplicado no estudo da organização dos materiais compactados em diversas umidades -curva de compactação (densidade x umidade).

Estas proposições estão de acordo com o que afirma Vargas (1977): "para se interpretar o comportamento de um solo compactado e prever a variabilidade de suas características geotécnicas será necessário, além de levar em conta a sua

densidade, umidade e grau de saturação, também as diferenças de estrutura adquiridas pelo solo durante a compactação."

O autor acima e muitos outros, admitem a hipótese da estrutura de solos compactados formulada por Lambe. (figura 22).

Fig. 22 -Estrutura dos solos compactados (Lambe, citado por VARGAS, 1977).

No entanto, a hipótese de Lambe tem sido contestada, como por exemplo, Barden (1971 e 1974), que apresenta dados que destoam dos resultados de Lambe. Esse autor afirma, inclusive que, nos solos compactados, a macroestrutura teria maior influência no comportamento mecânico que a microestrutura.

Finalmente, no que se refere à estrutura do material compactado no decorrer do tempo.

Este é um assunto que está despertando, cada vez mais, um maior interesse, principalmente na área de aditivos -tais como cal e cimento- para estabilização dos materiais.

Alguns trabalhos têm mostrado que a cal adicionada nos solos pode ter reações a longo prazo, modificando, desta forma, a estrutura do material, como tem constatado Nóbrega (comunicação verbal, 1991).

Por outro lado, poderia ocorrer, em condições naturais, quando da dessecação (ou uma rehidratação) excepcional, mudanças no comportamento de um solo; e estas mudanças podem ser de

carácter temporário ou permanente. Este fato é devido a uma modificação irreversível do material. (Tessier, 1980).

O estudo de Tessier acima poderia ser extendido aos materiais compactados, uma vez que, não estão isentos de variações hídricas, mais ou menos intensas.

Outro fator que pode colaborar na modificação da estrutura do material compactado é a aplicação constante de esforços. Por exemplo, como poderia ocorrer em uma rodovia com tráfego intenso de veículos.

VIII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito a 5 perfis de alteração de granitos e gnaisses, sendo que os de granitos foram diferenciados dos de gnaisses pelas características macroscópicas, com exceção do perfil 5 que, apesar de apresentar-se macroscopicamente isótropo, ao microscópio ótico revelou sua origem gnáissica.

VIII.1 - CARACTERIZAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS.

As caracterizações geológicas e geotécnicas realizadas nos materiais estudados forneceram subsídios para a separação, em primeiro lugar, entre os solos lateríticos (*solum*) e os saprolíticos (*alteritas*), e em segundo lugar, separar os perfis em dois grandes grupos.

VIII.1.1 - Solos lateríticos vs solos saprolíticos.

Macroscopicamente, os níveis do *solum* apresentam menores espessuras (2,4 a 4 m); textura argilosa, agregados mais consistentes e cores vermelho amarelado ou vermelho escuro. As *alteritas*, com espessuras de 5,4 a 12 m(+), são materiais muito friáveis, com textura siltico-arenosa e cores diversas como branco, róseo, amarelo, marron, preto e outras, além do que, as *alteritas* conservam, ao menos parcialmente, as texturas petrográficas e as estruturas litológicas da rocha de origem.

Quanto à granulometria, os níveis do *solum*, normalmente, tem uma maior percentagem de fração argila.

O elenco mineralógico do *solum* é basicamente o mesmo das *alteritas*, apresentando, entretanto, uma quantidade substancialmente maior de minerais secundários. A organização dos minerais, no *solum*, é do tipo associativa, onde os minerais secundários atuam como cimento.

Os resultados dos ensaios geotécnicos não foram unânimes na diferenciação entre os níveis do solum e o das alteritas. Enquanto as curvas de compactação, P_i e Expansão, de modo geral, contribuíram com a diferenciação, os valores de M-CBR não auxiliaram, pois estão muito dispersos.

VIII.1.2 - Agrupamento dos perfis.

Entre os perfis ocorrem semelhanças de características que permitem separá-los em dois grandes grupos.

O grupo 1 é composto dos perfis 1 e 5, e o grupo 2 dos perfis 2, 3 e 4.

No grupo 1, a classe granulométrica, predominante, menor que 2 mm, é a da areia, com cerca de 70 %, enquanto a razão silte/argila está por volta de 3. Já, no grupo 2, ocorre preponderância da fração silte e a razão silte/argila varia de 1 a 10.

O elenco mineralógico do grupo 1 está composto de quartzo, feldspatos, micas, caolinita, goethita e gibbsita, O grupo 2 difere do 1 pela ausência de feldspatos e uma maior quantidade de minerais secundários.

Os resultados dos ensaios M-MCV, P_i e Expansão corroboram com a divisão em grupos. Assim, as densidades alcançadas pelos níveis são maiores no grupo 1, os valores de P_i apresentam-se entre 80 e 271 %, enquanto no grupo 2 os valores podem ser nulos ou variar até o extremo de 300 %; a Expansão apresenta valores menores para o grupo 1 do que para o 2. Por outro lado, os valores de M-CBR, por estarem muito dispersos, não contribuíram com a separação em grupos.

Esta divisão em grupos é decorrência da atuação diferenciada da alteração que, por sua vez, tem como principal condicionante o grau de deformação (fraturamento) sofrido pelas rochas.

VIII.2 - RELAÇÕES ENTRE AS DIVERSAS CARACTERÍSTICAS.

Quanto às relações emergentes entre as diversas características observa-se que a maior quantidade de minerais primários (quartzo + feldspatos) fornece uma granulometria mais grosseira, materiais com densidades maiores na compactação, menor faixa de variação da P_i e menores valores de Expansão. Por outro lado, correlações mais estreitas tornam-se difíceis de serem estabelecidas, pois, atualmente, existem obstáculos na determinação da quantidade, tamanho e forma dos minerais menores que 0,075 mm ou de seus agregados.

Finalmente, os resultados obtidos mostram que estudos da organização (estrutura) dos materiais podem ser muito úteis para fornecer respostas para muitos dos problemas de correlações, uma vez que, é atribuída à estruturação do solo boa parte da resistência a esforços que esse material pode suportar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARDEN, L. (1971) Example of clay structure and its influence on engeneering behavior stress-strain of soils. Proceedings Roscoe Memorial Symposium. March, 1971.p. 195 - 205.
- BARDEN, L. (1974) Consolidation of clays compacted "dry" and "wet" of optimum water content. Geotechnique, 24 (4): 605 - 625.
- BARROSO, J.A., ANTUNES, F.S., CABRAL, S., POLIANOV, H. (1981) Correlações de características genéticas de solos e as suas propriedades geotécnicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981, Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ-CNPq-ABMS, p.187 - 198.
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; CREMONINI, O.A.; HASUY, Y.; ALMEIDA, F.F.M. (1981) Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. Escala 1 : 500.000. (Monografia, 6).
- BREWER, R. (1976) Fabric and mineral analysis of soils. 2nd ed. New York, Krieger, 482 p.
- BUENO, B.S. & VILLAR, O.M. (1980) Mecânica dos solos. Vicosá, Universidade Federal de Vicosá, 131 p.

CAPUTO, H.P. (1973) Mecânica dos solos e suas aplicações. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e científicos. 2 V. 697 p.

CARVALHO, A.; LEPSCH, I.F.; OLIVEIRA, J.B.; VALADARES, J.; ROTTA, C.L. (1975) Levantamento pedológico semidetalhado do Município de Atibaia, SP. Bragantia, 34 (1): 1 -59.

CARVALHO, J.P.P. (1970) Limite de Liquidez de solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 4. Rio de Janeiro, 1970. Anais Rio de Janeiro, ABMS. p 104 - 135.

CERRI, C.C. 1974 Contribuição ao estudo das arenas graníticas (caracterização mineralógica e química de uma topossequência da região de Itú, SP). São Paulo. 130 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - USP).

----- 1979 Alteração e pedogênese em áreas graníticas situadas sob diferentes condições bioclimáticas encontradas no Brasil. São Paulo. 241 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP).

CHATELIN, Y. (1974) Les Sols Ferrallitiques. 3: L'alteration. ORSTOM. Initiation Doc. Techniques, (24). 1 - 144.

CUNHA, M.A., PASTORE, E.L., AUGUSTO JR., F. (1986) Importance of local natural material resources in earth roads maintenance. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 5. Buenos Aires, 1986. Anais. Rotterdam, IAEG. p.1639 - 1644.

- DELVIGNE, J. (1981) Curso de Micromorfologia das alterações minerais. São Paulo, Instituto de Geociências, USP. 149 p. (inédito).
- FAURE, A. (1980) Comportamento mecânico das argilas em função de sua natureza: formulação de uma nova concepção de plasticidade e liquidez. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL, 4. São Paulo, 1979, Anais. São Paulo, ABPC, p. 60 - 69. (boletim 12).
- FORTES, R.M. (1990) Método expedito de identificação MCT de solos tropicais, para finalidades rodoviárias, utilizando-se anéis de PVC rígido. São Paulo, 196 p. (Dissertação de Mestrado -Escola Politécnica da USP).
- FRANCISS, F.O. & CARVALHO, A. (1969) Tratamento estatístico de resultados de ensaios de solos da região Centro-Sul. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 1. São Paulo, 1969, Anais. São Paulo, APGA. p 110 - 125.
- FRANZOI, S. (1990) Algumas peculiaridades resilientes de solos lateríticos e saprolíticos. São Paulo, 187 p. (Dissertação de Mestrado -Escola Politécnica da USP).
- GAMON, T.J. (1983) A comparison of existing... Bulletin of the International Association of Engineering Geology, (28): 225 - 232.
- GIDIGASU, M.D. (1976) Laterite Soil Engineering. Amsterdam. Elsevier. 554 p.

- HARRIS, W.G.; ZELAZNY, L.W.; PARKER, J.C.; BAKER, J.C.; WEBER, R.; ELDER, J.H. (1984) Engineering properties of soils as related to mineralogy and particle-size distribution. Soil Science Society American Journal, (48): 978 - 982.
- HASUI, Y.; PENALVA, F.; HENNIES, W.T. (1969) Geologia do Grupo São Roque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, Salvador, Anais. Salvador, SBG. p.101 - 134.
- LAFLEUR, J.D.; DAVIDSON, D.T.; KATTI, R.T.; GURLAND, J. (1960) Relationship between the California Bearing Ratio and Iowa Bearing Value - Progress Report, 1956. In: IOWA STATE UNIVERSITY. Methods for testing engineering soils. Ames p. 257 - 288.
- LEPSCH, I.F. (1980) Solos - formação e conservação. 3ª ed. São Paulo, Melhoramentos. 158 p.
- LOCATI, S. (1984) Principais análises utilizadas no laboratório de geoquímica - DGG. São Paulo. Instituto de Geociências - USP. 104 p. (inédito).
- LUCAS, Y. (1989) Systemes Pedologiques en Amazonie Bresilienne. Equilibres, Desequilibres et Transformations. Poitiers, 180 p (Thèse de doctorat de L'Université de Poitiers).
- MELFI, A.J. (1967) Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, estado de São Paulo. São Paulo. 166 p. (Tese de Doutorado - FFCL -USP).

MELFI, A.J. & PEDRO, G. (1977) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1. Caracterização dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. Revista Brasileira de Geociências. (7): 271 - 286.

----- (1978) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos no Brasil. Revista Brasileira de Geociências. (8): 11 - 22.

MELFI, A.J.; CARVALHO, A.; CHAUVEL, A.; RODRIGUES E SILVA, F.B.; NÓBREGA, M.T.; NETTERBERG, F.; BANERJI, P.K.; SCHELLMANN, W. (1985) Characterization, identification and classification of tropical lateritic and saprolitic soils for geotechnical purposes. In: COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE. São Paulo, 1985. Progress Report. São Paulo, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. p. 9 - 20.

MERIGHI, J.V. (1990) Classificação MCT através do ensaio S-MCV rápido. São Paulo, 163 p. (Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da USP).

MITCHELL, J.K. (1976) Fundamentals of soil behavior. New York, John Wiley, 422 p.

NÓBREGA, M.T. (1988) Contribuição ao estudo da estabilização de solos tropicais com adição de cal para fins rodoviários. São Paulo, 189 p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).

NOGAMI, J.S. (1967) Os solos residuais do Estado de São Paulo - sua caracterização em bases geológicas para fins rodoviários. São Paulo, 89 p. (Tese de doutoramento - Escola Politécnica da USP).

----- (1972) Determinação do índice de Suporte Califórnia com equipamento de dimensões reduzidas (Ensaio Mini-CBR). In: REUNIÃO DAS ORGANIZAÇÕES RODOVIÁRIAS, II. Brasília, ABMS. p. 1 - 44.

----- (1976) Necessidade de adequada caracterização genética dos solos para finalidades rodoviárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1. Rio de Janeiro, 1976. Anais. Rio de Janeiro, ABGE. p. 19 - 26.

----- (1978) A tecnologia rodoviária e as peculiaridades dos nossos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2. São Paulo, 1978. Anais. São Paulo, ABGE. p. 95 - 104.

----- (1985) Características dos solos tropicais. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL, 5. São Paulo, 1985. Anais São Paulo, ABPC. p. 47 - 53. (Bol. APBC, n. 13).

NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. (1979) Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. IAEG (19) 196 - 199

----- (1980) Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: limitação do método tradicional. Apresentação de uma nova sistemática. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15. Belo Horizonte, ABPv. p. 1 - 38.

- (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. Rio de Janeiro, 1981, Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ - CNPq - ABMS, p. 30 - 41.
- (1983) Os solos tropicais lateríticos e saprolíticos e a pavimentação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 18. Porto Alegre, 1983. Anais. Porto Alegre, ABPv. p 466 - 484.
- NOGAMI, J.S.; BANERJI, P.K.; NETTERBERG, F.; SCHELLMANN, W.
(1985) Characterization, identification and classification of tropical lateritic and saprolitic soils for geotechnical purposes. In: COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE, São Paulo, 1985. Progress Report. São Paulo, Associação Brasileira de Mecânica de Solos. p. 1 - 5.
- OLIVEIRA, J.B. (1972) Processos Pedogenéticos. In: MONIZ, A.C. (coord.) Elementos de Pedologia. São Paulo, Polígono / EdUSP. p. 325 - 334.
- OLIVEIRA, M.A.F.; MORALES, N.; FULFARO, V.J.; CAMPOS, E.G.
(1985) Geologia da Folha Atibaia. Escala 1:50.000. Relatório final, Convênio IGCE-UNESP/PRÓ-MINÉRIO. V.1. 177 p.(inédito).
- PARSONS, A.W. (1976) The rapid measurement of the moisture condition of earth moving material. Crowthorne (UK), Transport and Road Research Laboratory (LR.750).

- PASTORE, E.L. (1982) Contribuição ao estudo dos solos saprolíticos compactados derivados de rochas ácidas, com destaque às obras viárias. São Carlos, SP. 193 p. (Dissertação de Mestrado - Dpto de Geotecnia - USP, São Carlos, SP)
- PEDRO, G. (1969) A alteração das rochas em condições superficiais. Notícia Geomorfológica, 9 (17): 3 - 14.
- PEDRO, G. & DELMAS, A. B. (1980) Regards actuels sur les phénomènes d'altération hydrolytique, Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 18 (3-4): 217 - 234.
- PROJETO RADAMBRASIL. (1983) Folhas SF. 23 / 24. Rio de Janeiro / Vitória. Rio de Janeiro, M.M.E. / D.N.P.M. 780 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- SAMARA, V. (1981) Diferenças de características entre camadas de solos lateríticos e saprolíticos de uma área de Bed-Rock sedimentar do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1. Rio de Janeiro, 1981. Anais. Rio de Janeiro, COOPE/UFRJ - CNPq - ABMS. p.53 -65
- SANTANA, H. (1970) Os solos lateríticos e a pavimentação. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. (Boletim interno). 20 p.
- SECRETARIA DOS TRANSPORTES (1989) Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo. São Paulo, DER. Escala: 1 : 1.300.000.

- SORIA, M.H.A. & FABRI, G.T. (1980) O ensaio Mini-MCV - um ensaio de MCV, Moisture Condition Value, com corpos de prova de dimensões reduzidas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15. Belo Horizonte, ABPv. p. 1 - 21.
- TESSIER, D. (1980) Papel e influência das condições físico-químicas do meio sobre o comportamento hídrico e a organização dos materiais argilosos. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL. 4. São Paulo, 1979, Anais. São Paulo, ABPC, p.60 - 99. (boletim 12).
- TODELO-GROKE, M. C. (1981) Evolução geoquímica, mineralógica e micromorfológica no processo de bauxitização. São Paulo. 106 p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).
- VARGAS, M. (1977) Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, MacGraw-Hill, Ed. USP, 509 p.
- VERBEKE, M. (1969) Sur un procede de fabrication de lames minces dans roches peu cimentees et des sols. Bulletin de la Societe Geologique de France, série 7, 11 (3) 426 - 433.

ANEXOS

FIG. 23 - Diagramas triangulares de classificação textural.

FIGURA 24 : CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 1

FIGURA 25 : CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 2

FIGURA 26 : CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 3

FIGURA 27 : CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 4

FIGURA 28 : CURVAS GRANULOMÉTRICAS - PERFIL 5

FIGURA 29 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 10

FIGURA 30 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 11

FIGURA 31 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 12

FIGURA 32 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 13

FIGURA 33 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 14

FIGURA 34 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 15

FIGURA 35 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 1 - NÍVEL 16

FIGURA 36 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 2 - NÍVEL 20

FIGURA 37 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 2 - NÍVEL 21

FIGURA 38 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 2 - NÍVEL 22

FIGURA 39 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 2 - NÍVEL 23

FIGURA 40 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 2 - NÍVEL 24

FIGURA 41 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 3 - NÍVEL 30

FIGURA 42 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 3 - NÍVEL 31

FIGURA 43 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 3 - NÍVEL 34

FIGURA 44 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 4 - NÍVEL 40

FIGURA 45 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 4 - NÍVEL 41

FIGURA 46 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 4 - NÍVEL 44

FIGURA 47 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 5 - NÍVEL 50

FIGURA 48 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 5 - NÍVEL 51

FIGURA 49 : RESULTADOS DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS
PERFIL 5 - NÍVEL 56