

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**

**MAPA DE ESTIMATIVA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS**  
**DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para obtenção do Título de mestre em engenharia civil.

**HAMILTON COSTA JUNIOR**

**Florianópolis, Agosto de 2001**

**MAPA DE ESTIMATIVA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DE SÃO  
JOSÉ DOS PINHAIS - PR**

**HAMILTON COSTA JUNIOR**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina..

---

PROF. DR<sup>a</sup>.GLACI TREVISAN SANTOS (ORIENTADORA)

---

PROF. DR. JUCILEI CORDINI (COORDENADOR DO CURSO)

**Comissão Examinadora:**

---

PROF. DR<sup>a</sup> REGINA DAVISON DIAS

---

PROF. DR. ANTONIO FORTUNATO MARCON

---

PROF. DR. DONIZETI ANTONIO GIUSTI

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Hamilton e Josephine pelo carinho, amor e educação; à Prof<sup>a</sup> Glaci Trevisan pela compreensão e confiança a mim depositada; à minha grande amiga Lúcia Montanhini pela paciência, presteza e fraternidade, ao Eng<sup>o</sup> Roberto Montanhini, Prof. Ney Augusto do Nascimento e Prof. Donizeti Antonio Giusti pela amizade, contribuição e disponibilização de dados utilizados neste trabalho.

A Deus pela vida.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vi
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	vii
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
3.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	8
3.1.1 <i>Metodologias Internacionais</i> .....	14
3.1.2 <i>Mapeamento Geotécnico no Brasil</i> .....	16
3.1.3 <i>Metodologia de Zuquette</i> .....	18
3.2 ARGILO-MINERAIS PREDOMINANTES A FORAÇÃO GUABIROTUBA E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	19
3.2.1 <i>Minerais primários</i> .....	20
3.2.2 <i>Minerais secundários</i> .....	20
3.2.3 <i>Colóides</i> .....	22
3.2.4 <i>Matéria orgânica- húmus</i> .....	23
3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA .....	23
3.3.1 <i>MCT – Método das Pastilhas</i> .....	23
3.3.2 <i>Ensaio da adsorção do azul de metileno</i> .....	27
3.3.3 <i>Ensaio de erodibilidade</i> .....	35
3.3.4 <i>Ensaio de permeabilidade</i> .....	37
3.3.5 <i>Ensaio de penetração - sondagem a percussão – spt</i> .....	38
3.4 PEDOLOGIA .....	39
3.4.1 <i>Perfil do solo</i> .....	39
3.4.2 <i>Classificação pedológica</i> .....	41

3.4.3	<i>Atributos diagnósticos principais</i> .....	45
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
<b>5.</b>	<b>GEOLOGIA DO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	<b>51</b>
5.1	BACIA DO PARANÁ .....	54
5.2	GEOLOGIA DO ESCUDO .....	54
5.2.1	<i>Origem e ambiente de deposição da bacia de Curitiba</i> .....	55
<b>6.</b>	<b>UNIDADES GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>62</b>
6.1	ALUVIÕES RECENTES .....	62
6.2	TERRAÇOS ALUVIONARES.....	62
6.3	FORMAÇÃO GUABIROTUBA .....	64
6.3.1	<i>Tipos litológicos da Formação Guabirota</i> .....	65
6.3.2	<i>Geologia estrutural na Formação Guabirota</i> .....	68
6.4	INTRUSIVAS BÁSICAS .....	69
6.5	COMPLEXO GNAISSE-MIGMATITO.....	69
<b>7.</b>	<b>MATERIAS INCONSOLIDADOS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>71</b>
7.1	DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....	72
7.1.1	<i>Solos Hidromórficos sobre aluviões</i> .....	72
7.1.2	<i>Solos hidromórficos sobre terraços</i> .....	73
7.1.3	<i>Solos residuais da Formação Guabirota</i> .....	73
7.1.4	<i>Solos transportados</i> .....	76
7.1.5	<i>Solos residuais sobre gnaisses e migmatitos</i> .....	77
7.1.6	<i>Solos com matações aflorantes sobre gnaisses-migmatitos</i> .....	78
<b>8.</b>	<b>PEDOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO</b> .....	<b>85</b>
8.1	PRINCIPAIS UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	85
8.1.1	<i>Latossolo vermelho-amarelo</i> .....	85
8.1.2	<i>Solos orgânicos distróficos</i> .....	85
8.2	CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA ÁREA EM ESTUDO.....	87
8.2.1	<i>Latossolo Vermelho-Amarelo</i> .....	87
8.2.2	<i>Solos orgânicos</i> .....	89
<b>9.</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>92</b>

<b>10. ESTIMATIVA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS .....</b>	<b>103</b>
10.1 UNIDADE HOAL .....	103
10.2 UNIDADE AT .....	104
10.3 UNIDADE LVFG1 .....	104
10.4 UNIDADE LVGN, MG1 .....	106
10.5 UNIDADE LVFG3 .....	106
10.6 UNIDADE LVGN, MG3 .....	107
<b>11. CONCLUSÕES .....</b>	<b>109</b>
<b>12. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS .....</b>	<b>112</b>
<b>13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Município de São José dos Pinhais (figura ilustrativa com projeção do município) .....	4
<b>Figura 2</b> - Localização da Prancha A 139 – São José dos Pinhais/Região Metropolitana de Curitiba .....	6
<b>Figura 3</b> – Mapa Político do Estado do Paraná .....	7
<b>Figura 4</b> - Algumas Interrelações entre Geologia e Geomorfologia de Engenharia. ....	10
<b>Figura 5</b> - Esquema da pastilha e do Mini Penetrômetro .....	24
<b>Figura 6</b> - Tabela de Classificação Geotécnica MCT pelo "Método das Pastilhas" .....	26
<b>Figura 7</b> – Organograma da Metodologia utilizada na elaboração de Estimativas de Unidades Geotécnicas .....	48
<b>Figura 8</b> - Mapa Geológico do Estado do Paraná .....	51
<b>Figura 9</b> - Principais Unidades Geológicas do Estado do Paraná .....	53
<b>Figura 10</b> - Unidades Geológicas do Escudo .....	55
<b>Figura 11</b> – Superfícies aplainadas e terraços na região de Curitiba .....	61
<b>Figura 12</b> - Mapa Geológico da Prancha A-139 .....	63
<b>Figura 13</b> - Mapa Geológico da Bacia Sedimentar de Curitiba .....	70
<b>Figura 14</b> – Mapa dos Materiais Inconsolidados da Prancha A-139 .....	79
<b>Figura 15</b> - Perfil genérico da Formação Guabirota .....	80
<b>Figura 16</b> – Aspectos das Argilas cinza esverdeadas da Formação Guabirota .....	81
<b>Figura 17</b> – Solo residual maduro, vermelho arroxeadado recobrindo solo residual da Formação Guabirota .....	81
<b>Figura 18</b> – Solo residual maduro, recobrindo lentes de arcósio da Formação Guabirota .....	82
<b>Figura 19</b> – Aspecto de sedimentos arenosos de paleoterraços depositados sobre saprólito de gnaisses-migmatitos. ....	82

<b>Figura 20</b> – Ravinamento nas argilas da Formação Guabirota. ....	83
<b>Figura 21</b> – Erosão laminar com início de ravinação no solo residual jovem (cor amarelo), depois da retirada do solo residual maduro (cor vermelha). Formação Guabirota. ....	83
<b>Figura 22</b> – Aspecto de ravinação desenvolvido sobre saprólito de gnaiss- migmatito em área com grande declividade, junto a BR-376. ....	84
<b>Figura 23</b> – Solo hidromórfico, aluvião. Aspecto do contacto entre a areia (parte inferior) com argila cinza esbranquiçada caulínica e argila orgânica negra. Rio Iguaçu. ....	84
<b>Figura 24</b> – Mapa Pedológico da Prancha A-139. ....	86
<b>Figura 25</b> – Perfil de sondagem da unidade geotécnica LVgn,mg3 (FCP-42). ....	97
<b>Figura 26</b> – Perfil de sondagem da unidade geotécnica LVfg1 (SP139/02) ....	99
<b>Figura 27</b> – Perfil de sondagem da unidade geotécnica HOal (SP139/01). ....	100
<b>Figura 28</b> – Perfil longitudinal em área de aluvião. ....	101
<b>Figura 29</b> – Localização das pontos de coleta de amostras pra o MCT e dos perfis de solo na Prancha A-139. ....	102
<b>Figura 30</b> - Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas da Prancha A-139 .....	108

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> – Características dos grupos de solos da classificação MCT.....	25
<b>Quadro 2</b> – Capacidade de troca de cátions de diferentes tipos de argilas, obtida por métodos tradicionais.....	31
<b>Quadro 3</b> – Atividade das argilas pelo método do azul de metileno.....	32
<b>Quadro 4</b> – Grau de permeabilidade de solos residuais brasileiros compactados .....	38
<b>Quadro 5</b> – Estados de compacidade e de consistência (NBR 6484) .....	39
<b>Quadro 6</b> – Classes de solos.....	43
<b>Quadro 7</b> – Relações estratigráficas da Bacia de Curitiba .....	63
<b>Quadro 8</b> – Nível do lençol freático do Alto Iguaçu.....	68
<b>Quadro 9</b> – Resultados de Ensaios Ac <sub>b</sub> , V <sub>b</sub> , Se, CTC, SPT, k.....	94
<b>Quadro 10</b> – Resultados de Ensaio - Método das pastilhas MCT.....	955
<b>Quadro 11</b> – Resultados de Ensaio - Métodos das pastilhas MCT.....	956
<b>Quadro 12</b> – Estimativas de unidades geotécnicas. ....	102

## SIMBOLOGIA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Acb	Índice de atividade de fração argilosa
APA	Área de Proteção Ambiental
COMEC	Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
CTC	Capacidade de troca de cátions
E	Erosividade
EIA	Estudo de Impactos Ambientais
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geográfico
IP	Índice de plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MCT	Miniatura Compactado Tropical
MINEROPAR	Minerais do Paraná S. A.
NA	Nível de água
PDI	Plano de Desenvolvimento Integrado
PUCE	Padrão, Unidade, Componente, Avaliação
RIMA	Relatório de Impacto do Meio Ambiente
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
Se	Superfície específica
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UT	Unidade de terreno
UTP	Unidades Territoriais de Planejamento
Vb	valor de azul de metileno adsorvido

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na área Noroeste de São José dos Pinhais (sudeste de Curitiba), município pertencente à Região Metropolitana de Curitiba, distante 15 km desta capital o qual apresentou nos últimos dez anos o maior crescimento populacional e de indústrias instaladas no Estado do Paraná.

A área estudada, encontra-se na folha A139 do Convênio COMEC (Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba)-MINEROPAR (Minerais do Paraná S.A) região na qual está localizado o Aeroporto Internacional Afonso Pena e a Rodovia do Contorno Leste.

O objetivo deste estudo é apresentar o Mapa de Estimativa de Unidades Geotécnicas desta área utilizando o mapa geológico e pedológico desta região.

São José dos Pinhais está inserido na Bacia Sedimentar de Curitiba e tem como unidades geológicas a Formação Guabirota, o complexo gnaisse-migmatito, intrusivas básicas, aluviões recentes e terraços aluvionares. Como unidades pedológicas foram constatadas os Latossolo Vermelho-Amarelo Álico e os Solos Hidromórficos.

Para elaboração do Mapa Geotécnico foram utilizados os levantamentos pedológicos e geológicos existentes; o uso de resultados de ensaios de permeabilidade, erosividade, adsorção de azul de metileno e penetração dos materiais inconsolidados e sua caracterização conforme as unidades geológicas bem como a caracterização pelo ensaio do MCT. Diferentes ferramentas computacionais foram utilizadas para o tratamento e armazenamento das informações.

As unidades geotécnicas obtidas através da superposição dos mapas geológico e pedológico foram nomeadas e caracterizadas. Para cada unidade geotécnica mapeada foram indicados problemas de uso do solo e a importância da consideração de condicionantes geotécnicas em obras de engenharia sendo estas informações de interesse para ações de planejamento e gestão da área em estudo.

## ABSTRACT

The work for this master's thesis was centered on the Northwestern area of São José dos Pinhais, a city located 15 km Southeasternly of Curitiba and part of its Metropolitan Region. São José has been going through, in the past few years, an industrial and populational boom, one of the biggest ever in the State of Paraná.

The area under target was called A139 as a product of an agreement between COMEC (the coordinating State Organ for the Metropolitan Region of Curitiba) and MINEROPAR (the State Organization that deals with geology and geological resources), and it includes some important features such as the Afonso Pena International Airport and the Contorno Leste Highway, an strategic by-pass for heavy traffic around Curitiba.

A map containing an estimated location for the geotechnical units of the studied region, based on the geological and pedological data available, is the main objective of this project.

São José dos Pinhais is founded on the Curitiba Sedimentary Basin, having as geological units the Guabirota Formation, the Gnaissic-Migmatitic Complex, basic intrusive rocks, recent alluvial deposits and alluvial terraces. The pedological units observed are the yellowish and reddish lateritic soils and the hydromorphic soils.

To generate the geological map here presented, several sets of information were utilized, such as geological and pedological existing data, results of permeability, erodibility and blue methylene adsorption tests, penetration tests in unconsolidated materials, description relatively to the geological units and classification according to the MCT criteria. Some computer techniques were also used to analyse and store the data acquired.

The geotechnical units obtained by superimposing the geological and pedological maps were given names and characterized. For each of the mapped units, problems related to the land use and the importance of the local geotechnical aspects in engineering applications were focused, having in mind the importance of these considerations in planning and managing such areas.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o contínuo crescimento das grandes cidades e de suas regiões metropolitanas, devido a instalação de novas indústrias, a globalização, as novas tecnologias e conseqüentemente o aumento da densidade demográfica, a necessidade de um planejamento e ordenamento territorial tem se mostrado como um forte aliado na orientação da ocupação do solo.

Desta forma, é de especial interesse o uso dos solos metropolitanos, o saneamento básico, o aproveitamento de recursos hídricos, o controle da degradação ambiental e o planejamento integrado de desenvolvimento econômico e social.

O primeiro (e último) plano de desenvolvimento da Grande Curitiba é de 1978, elaborado com dados do Censo de 1970, quando a região tinha 875 mil habitantes. Hoje, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) tem o triplo de moradores, 2,7 milhões de habitantes e problemas mais complexos do que na década de 70.

O grande desafio do novo planejamento será garantir a sustentabilidade ambiental, promover uma maior igualdade social entre os municípios e incentivar os potenciais econômicos de uma região que nos próximos 10 anos deve ganhar mais um milhão de habitantes.

O Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba, elaborado em 1978 não foi totalmente seguido. Uma das diretrizes apontava que o crescimento populacional da região deveria ocorrer sobretudo nas regiões ao sul e a oeste de Curitiba. A região leste, na época, foi considerada área que deveria ser preservada em função dos mananciais.

No entanto, ocorreram ocupações desordenadas a leste (Pinhais e Piraquara); e no lado oeste (Campo Largo). A principal razão foi a construção do Reservatório do Passaúna e a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) na mesma região, o que desestimulou a ocupação. A APA do Passaúna não estava prevista na elaboração em 1978.

Dessa forma, algumas diretrizes básicas para o Plano de Desenvolvimento Integrado (PDI) -2001 já estão se esboçando.

Como o município de Curitiba praticamente não tem mais áreas para expansão urbana, uma das diretrizes será o direcionamento do crescimento para a região sul da capital (São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Mandirituba e Araucária).

O crescimento urbano para o Sul da região deve ser incentivado por razões ambientais e práticas. Ao norte de Curitiba em municípios como Rio Branco do Sul e Almirante Tamandaré, a topografia é muito acidentada. Além disso, os municípios estão assentados sobre o Aquífero Karst, reservatório de água subterrânea que pode vir abastecer a região, mas que é frágil ambientalmente. Curitiba também está cercada por áreas de mananciais, rios que abastecem ou que podem vir abastecer a população.

Como existem levantamentos da SANEPAR de que a capacidade de abastecimento dos mananciais de Curitiba pode estar esgotada em 2030 e 2050, a preservação dos rios é fundamental e estratégica para garantir o fornecimento de água à população e, justamente a área em que praticamente não existem mananciais, é onde se situam os municípios da Região Sul de Curitiba.

Isso não significa, porém, que não será permitida a ocupação ordenada de áreas de mananciais, porém com restrição à ocupação urbana nessas áreas. Isso, aliás, já ocorre hoje em cinco Áreas de Proteção Ambiental (APAs) criadas para proteger represas usadas no abastecimento, e nas Unidades Territoriais de Planejamento (UTPs), regiões com ocupação populacional em áreas de mananciais.

A região Metropolitana de Curitiba (RMC), tem vocação para ser uma “plataforma logística” por estar Curitiba, situada em um importante entroncamento na rede de transportes, energética e de telecomunicações do país e do Mercosul, ligando São Paulo ao Sul do país e o Paraguai ao Porto de Paranaguá. Assim, a região poderá abrigar um centro de logística, com terminais de cargas e pontos de distribuição de produtos.

Uma das preocupações da Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) é que as oportunidades de crescimento sejam compartilhadas pelos municípios, não se concentrando apenas na Capital.

Partindo deste princípio, da interdependência dos municípios, é que o Mapeamento Geotécnico vem a contribuir, pois o conhecimento do meio físico é de suma importância para a melhor ocupação e utilização do solo, principalmente em áreas urbanas, onde o crescimento acelerado das cidades exige a ocupação de novas áreas, nem sempre as mais adequadas.

Os mapas geotécnicos são adequados para o planejamento da ocupação urbana, em planos diretores ou loteamentos e mesmo de ocupação rural.

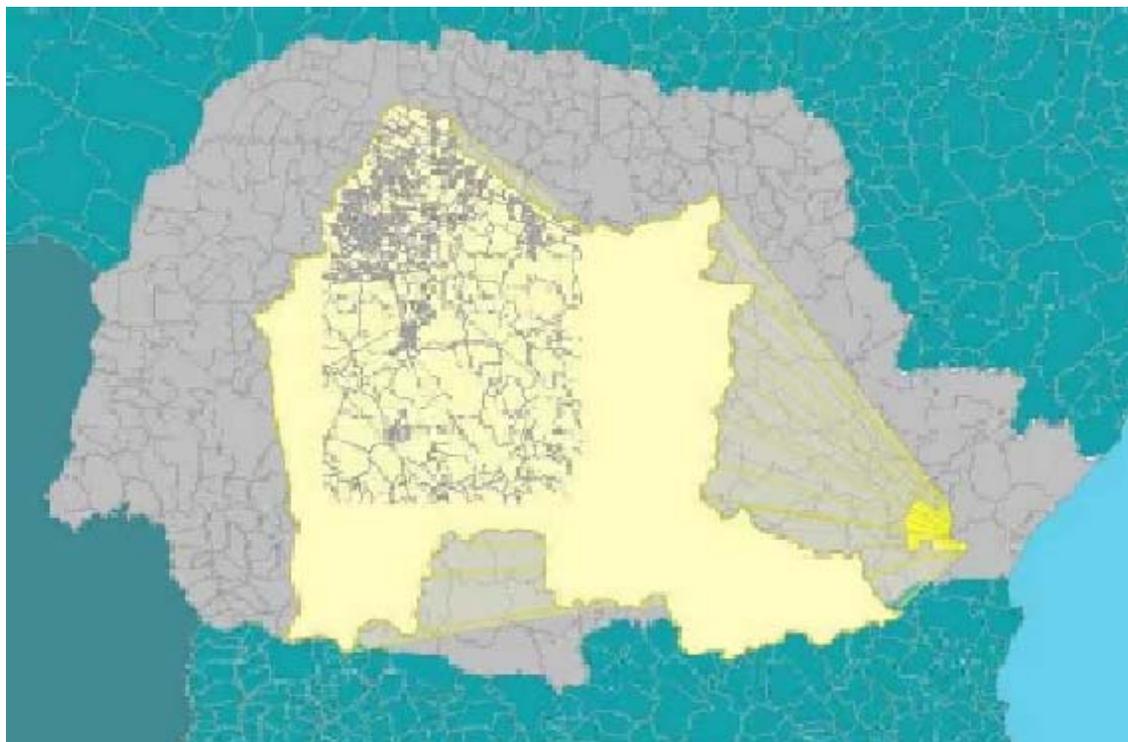
Os estudos geológicos e geotécnicos são eficientes instrumentos para a análise do meio físico. A apresentação dos resultados desses estudos sob a forma cartográfica, é ainda, melhor maneira de representação das informações e sugestões, pois facilitam o seu entendimento e uso (Pejon e Rodrigues, 1987).

O mapeamento geotécnico tem sido utilizado nos mais diferentes países, como uma ferramenta que ajuda a definir e fiscalizar a ocupação das regiões de maneira ajustada tecnicamente respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para que a população desfrute-as sem alterar as suas condições básicas de vida (Zuquette e Gandolfi, 1987-b).

Segundo a UNESCO (1976), Mapa Geotécnico é um tipo de mapa geológico que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância para o planejamento do solo e para projetos, construções e manutenções quando aplicados à Engenharia Civil e de Minas. Na prática, são muitas as maneiras de se apresentar um mapa geotécnico.

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está compreendida no município paranaense de São José dos Pinhais o qual integra a Região Metropolitana de Curitiba.



**Figura 1** - Município de São José dos Pinhais (ilustrativa com projeção do município)

O Município de São José dos Pinhais distante a aproximadamente 15 quilômetros de capital paranaense, está localizado numa área territorial com latitude  $25^{\circ}32'$  S e longitude  $49^{\circ}12'$  W-GR.

São José dos Pinhais situa-se no Primeiro Planalto Paranaense e integra a zona fisiográfica de Curitiba caracterizada por relevo de topografia suavemente ondulada, com colinas de topos amplos de altitudes uniformes, apresentando uma altimetria média de 900m. Este município encontra-se inserido na unidade geológica denominada Bacia de Curitiba a qual está assente sobre o Embasamento Cristalino ou Escudo.

Conforme informações do Instituto Ambiental do Paraná (IAPAR) o município de São José dos Pinhais, possui uma área de 952,86 km<sup>2</sup> sendo que 15% desta área possui características urbanas e o restante é ocupado por atividades rural e matas. A área urbana deste município fica a Noroeste, abrangendo a área em estudo.

A população do município, segundo o censo de 2000, é de 204.198 habitantes, onde 10% deste total ocupa a área rural e 90% a área urbana. Ainda segundo este censo, São José dos Pinhais aparece como o município de maior crescimento populacional e industrial da região metropolitana nos últimos 10 anos.

Em 1996, foi elaborado o Mapeamento Geológico-eotécnico, na escala 1:20:000, abrangendo uma área de aproximadamente 480 km<sup>2</sup> ao sul de Curitiba incluindo parte dos municípios de São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Araucária e Mandirituba. Os trabalhos foram objetos do Convênio de Cooperação Técnica celebrado entre a Secretaria do Estado de Planejamento e Controle Geral - SEPL, através da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC, e a Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e do Desenvolvimento Econômico – SEID, através da Minerais do Paraná S/A – MINEROPAR. Este mapeamento compreendeu as folhas topográficas A137, A138, A139 e A140 cuja elaboração ocorreu em 1976 sob a responsabilidade da COMEC.

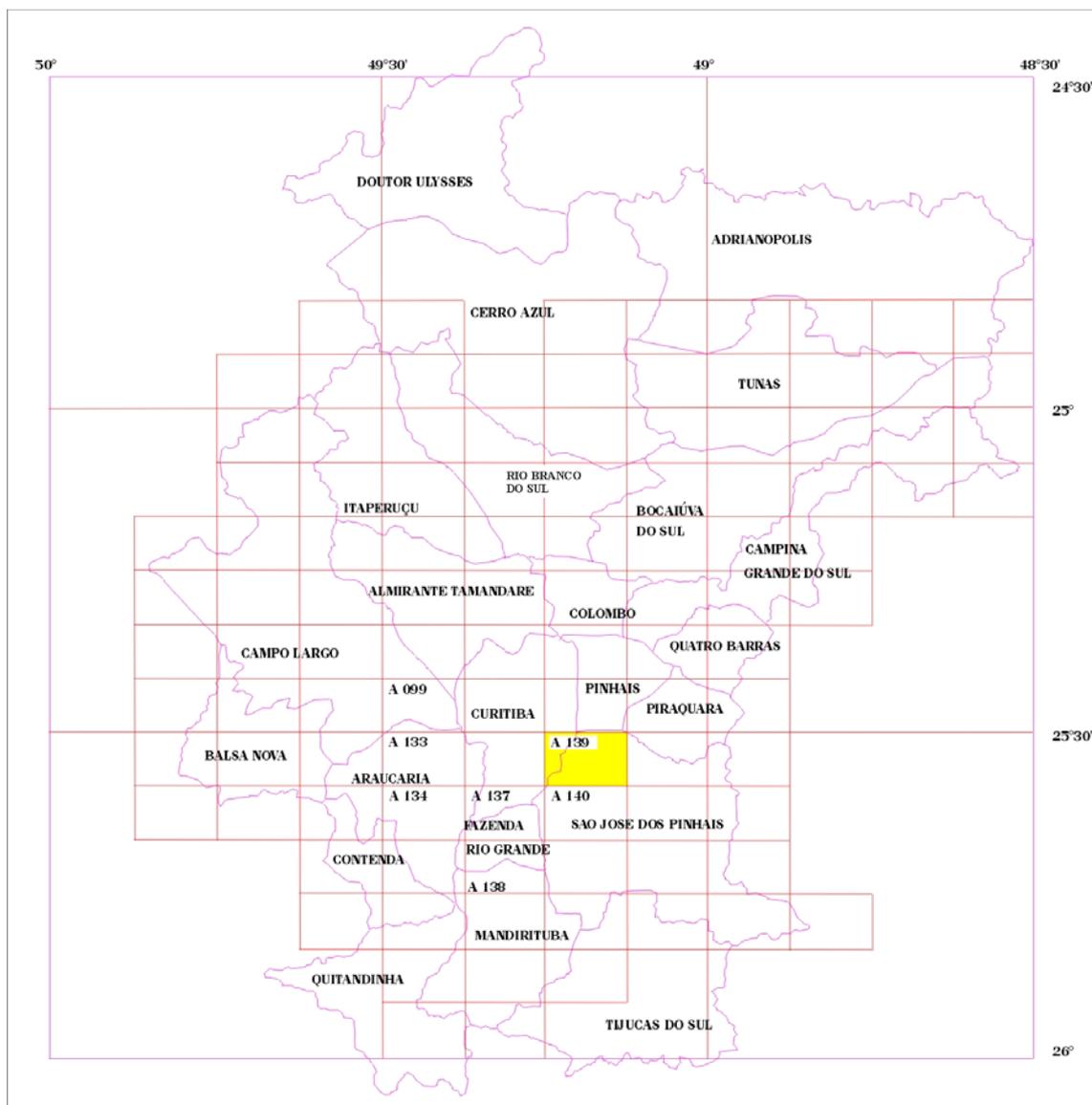
A área de interesse para este estudo compreende a região recoberta pela carta A-139 do levantamento da MINEROPAR apresentada na Figura 2. A escolha desta área foi decorrente da expressiva concentração demográfica desta região. Ainda, encontram-se inseridos nesta área o Aeroporto Internacional de Curitiba e o eixo rodoviário denominado Contorno Leste de Curitiba que apresenta-se em fase final de implantação e que integra o Corredor do Mercosul.

Os solos predominantes na região são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo álico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo suave ondulado. Os solos das áreas aluvionares são classificados como solos orgânicos álicos, fase campo subtropical, de várzea com relevo plano.

O principal rio da região é o Rio Iguaçu o qual constitui a linha divisória entre os municípios de São José dos Pinhais e Curitiba. A maior parte dos outros rios são afluentes e subafluentes do Iguaçu: Rio Itaquí, Rio Pequeno, Rio Miringuava, Rio Cotia, Rio Despique, Rio Cerro Azul, Rio da Roseira.

O domínio climático da região está classificado, segundo Köppen, como Cfb, isto é, clima sempre úmido, com chuvas em todos os meses do ano e com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e a dos meses mais frios, não inferior a 18°C.

As características climáticas conferidas pela localização geográfica e variação altitudinal originam regiões fitogeográficas distintas na RMC, que se conformam em ambientes característicos para a fauna quais sejam Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Estepe Gramíneo-Lenhosa.



**Figura 2** - Localização da Prancha A 139 – São José dos Pinhais/Região Metropolitana de Curitiba

**Figura 3** – Mapa Político do Estado do Paraná

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O homem, no seu domínio e ocupação sobre o planeta, utilizando-se dos recursos naturais; entendidos aqui como fontes de matéria e energia disponíveis originalmente na natureza, para consumo e produção que possibilitem a sua sobrevivência e o seu desenvolvimento; percebe atualmente que para manter o ciclo de renovação destes recursos no planeta, e até o seu reaproveitamento pela reciclagem. O bem natural é potencializado como recurso a partir da necessidade de seu uso; enquanto que os limites de sua utilização são impostos pelo meio ambiente, na disponibilidade do bem natural e na necessidade de sua preservação. O equilíbrio entre estas duas necessidades é o problema e o desafio deste final de século. É neste sentido que se coloca a classificação dos terrenos e sua avaliação para prever e solucionar problemas dos condicionantes do meio físico frente às necessidades de ocupação.

A investigação científica não termina com os seus dados, ela se inicia com eles. A partir da caracterização dos atributos do meio físico é que se parte para a classificação dos terrenos, sua análise e sua avaliação. O produto final da ciência é uma teoria ou hipótese de trabalho, e não os fatos (Mead *apud* Alves, 1987). Neste sentido, o produto deste trabalho se constitui, além dos atributos do meio levantados, avaliados e representados cartograficamente, na estratégia metodológica elaborada no decorrer da pesquisa.

Utilizando-se principalmente do pensamento indutivo, o método no mapeamento geotécnico classifica, analisa e avalia o terreno. No processo de mapeamento seguindo as três etapas, de inventário, análise e síntese, é que se vai elaborar a metodologia ao mesmo tempo que se constrói o objeto. Neste processo, no caso do mapeamento geotécnico, irá prevalecer a síntese sobre a análise, especialmente na fase de avaliação geotécnica.

O mapeamento geotécnico corresponde a um campo de interface das áreas de conhecimento científico da Geotecnia e Geologia de Engenharia. Através da análise dos dados geológicos (relevo/material inconsolidado/rocha) prevê-se o comportamento deste meio em face da ocupação antrópica.

O mapeamento geotécnico é um meio extremamente rico e apropriado para o exercício metodológico das geociências. Enquanto área de aplicação da geologia de engenharia,

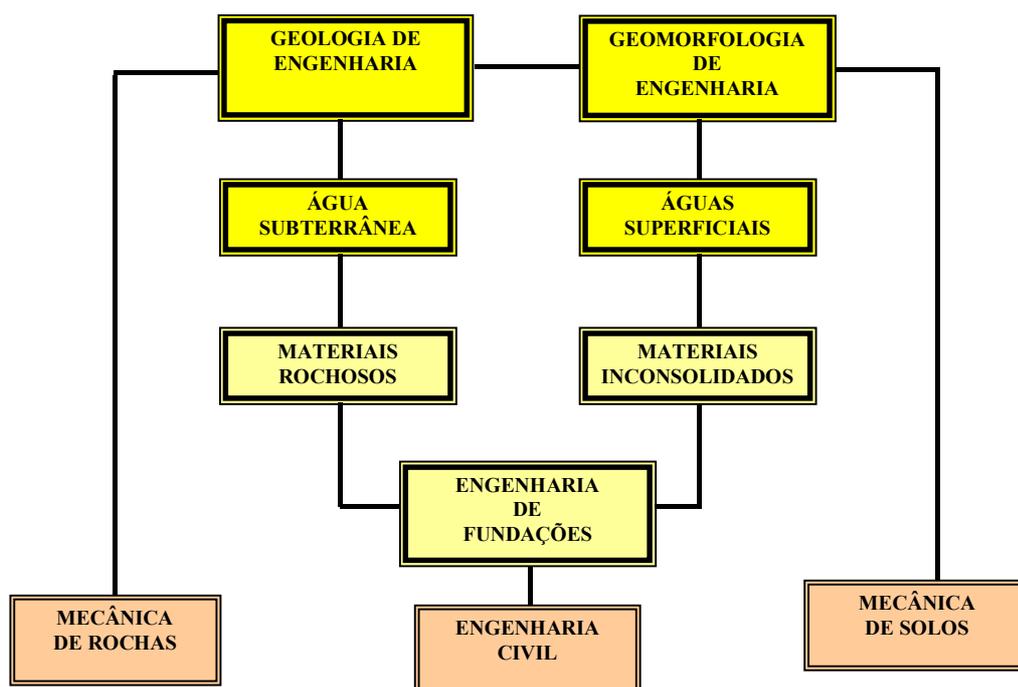
sua elaboração passa pelo conhecimento dos fenômenos e processos da natureza, pela geologia, e da apropriação e transformação de seus recursos, pela engenharia. Esta natureza recriada ligada ao contexto do meio ambiente e representada em síntese pelo mapa geotécnico. Esta representação cartográfica, segundo a concepção semiótica, se constitui na linguagem que é ao mesmo tempo conteúdo e forma. Desta maneira, o mapeamento geotécnico traz a superação das visões fragmentadas do meio físico, sendo a integração dos conhecimentos das diversas áreas da geociências que tratam do meio físico, ao mesmo tempo que traz os limites e o potencial em possibilidades de usos e recursos para ocupação antrópica.

Segundo Fookes & Gray (1987) *apud* Cooke & Doornkamp (1990), a geologia de engenharia se relaciona com a mecânica de rochas estudando as águas subterrâneas e os materiais rochosos, enquanto que a geomorfologia de engenharia se relaciona com a mecânica de solos tratando das águas superficiais e dos materiais inconsolidados, ambas implicando em Geotecnia ou Engenharia Civil.

A Figura 4 ilustra estas relações, evidenciando a importância relativa da geomorfologia nos trabalhos de Geotecnia. Nos países de clima tropical, pela existência de espesso material inconsolidado de solos residuais, como principal condicionante dos problemas geológico-geotécnicos, o papel da geomorfologia é ainda mais evidente.

A contribuição do mapeamento geotécnico ao planejamento regional e urbano utiliza bases do meio físico na intenção de orientar o uso da terra, a análise ambiental e as obras civis. A Geotecnia classifica e analisa os recursos naturais do meio físico quanto às limitações e potencialidades, representando este processo cartograficamente através do mapeamento geotécnico.

Além disto, avalia esses recursos quanto à adequabilidade segundo critérios que visem ao equilíbrio e desenvolvimento para estudos de viabilidade, projeto, construção, manejo e monitoramento. Neste contexto, sob a ótica de que no meio científico a opção metodológica deve passar necessariamente por uma questão ética de posicionamento diante da realidade sócio-econômica das regiões e do País, a proposta metodológica de mapeamento geotécnico deve-se adequar a esta realidade.



**Figura 4** - Algumas Interrelações entre Geologia e Geomorfologia de Engenharia.

(Modificado de Fookes & Gray, 1987 *apud* Cooke & Doornkamp, 1990).

Ou seja às limitações de recursos disponíveis e a ocupação territorial com algumas áreas de grande concentração e outras grandes áreas esparçamente ocupadas, o que se reflete também nas desigualdades e contrastes na distribuição de renda e no acesso às informações. As metodologias europeias dificilmente se aplicarão a esta realidade, seja pela falta de recursos, seja pelo entendimento, por parte dos órgãos competentes e da sociedade, da importância do conhecimento do meio físico para o planejamento da ocupação.

A extensão territorial do País, a realidade sócio-econômica citada, a carência de dados básicos sobre o meio físico, e de planos diretores em real funcionamento na prática, levam à necessidade de uma metodologia que proponha técnicas simples, baratas e objetivas, que não exija uma equipe de profissionais especialistas numerosa, e que se utilizem ao máximo os dados existentes.

A metodologia de Zuquette (1987) se constitui numa proposta que tem como objetivo básico produzir documentos que auxiliarão na implementação de formas de ocupação, sem que o meio físico sofra conseqüências desastrosas. A proposta está baseada em condições sócio-econômicas do País e nos princípios que regem as outras metodologias existentes. Segundo o autor, o levantamento das informações do meio físico deverá ser

executado por meio de técnicas e métodos que sejam simples, baratos e objetivos. Os atributos do meio físico devem ser classificados basicamente nas características naturais e secundariamente por sistemas técnicos. Para tanto, a aplicação da proposta não deve exigir equipe numerosa de profissionais especializados, assim como a estrutura básica deve permitir sua aplicação em escalas variadas entre 1:50.000 e 1:10.000, através da alteração da densidade dos pontos observados. A proposta para o mapeamento geotécnico para escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 foi elaborada com o objetivo de serem aplicadas em áreas extensas e com o custo final baixo.

Zuquette (1987) considera que a existência de profissionais das diferentes áreas do conhecimento na equipe de mapeamento é necessária, porém não é fundamental. Deve-se considerar que, apesar da equipe de trabalho não ser numerosa, é indispensável que seja multidisciplinar; o ideal ainda seria interdisciplinar, com profissionais especializados nas diversas áreas congregadas pelo mapeamento geotécnico e pelo planejamento pois cada área exige conhecimento específico de sua especialidade, de acordo com a demanda da ocupação (saneamento e infra-estrutura para expansão urbana; fundações e contenção de encostas; riscos geológicos; capacidade de uso agrícola do solo e desenvolvimento rural; recuperação ambiental; estradas; recursos em materiais de construção, etc).

Contudo, deve-se destacar que, na tentativa de adequar sua aplicação à realidade nacional, reduzindo custos na composição da equipe, estar-se-ia limitando o campo de atuação de profissional da área da geologia e de áreas afins, num país onde o número de profissionais especializados para condições de meio-físico e climáticos do País está bem aquém do ideal necessário. Isto considerando que estão envolvidas diversas áreas do conhecimento do meio-físico, as quais possuem desenvolvimento e técnicas recentes para estas condições, tornando impossível que um só profissional tenha domínio sobre todas elas. Estar-se-ia limitando a abrangência do trabalho tanto no documento básico produzido, quanto na sua divulgação e aplicação no meio geógrafos, agrônomos, arquitetos e engenheiros das diversas instituições e órgãos públicos e privados.

Segundo Myrdal *apud* Alves (1987), a ciência nada mais é do que o senso comum refinado e disciplinado. A ciência, contudo, é uma especialização, um refinamento de potenciais comuns a todos. A especialização, inerente ao processo de apreensão do conhecimento pela ciência, pode transformar-se numa perigosa fraqueza, pois ela

hipertrofia as capacidades. Quanto maior a visão em profundidade, menor a visão em extensão. No mapeamento geotécnico a necessidade de especialização é um fato, porém há a necessidade de síntese que exigirá dos técnicos uma visão do conjunto e das suas relações bastante aprimorada. Na prática, tal exigência deverá ser suprida com a presença de um técnico mais experiente com visão abrangente para as soluções e diretrizes finais, e que possua capacidade de percepção dos condicionantes do meio físico, sua interação com o meio sócio-econômico, os problemas gerados e os potenciais e as soluções de prevenção, de mitigação e/ou de projeto.

Partindo destes pressupostos, aponta-se para o fato de ser o geólogo de engenharia o profissional potencialmente indicado para atuar nesta área de integração de conhecimentos, que envolvem a análise e a avaliação do meio-físico, tanto no que se refere à aplicação em engenharia, quanto aos aspectos de prevenção de riscos e recuperação ambiental.

É a demanda de soluções em "situações problema" que leva ao conhecimento, ao desenvolvimento de métodos e técnicas. O mapeamento geotécnico é fundamentalmente aplicado estando diretamente atrelado as necessidades dos usuários, e sua real utilização pressupõe sua aplicabilidade a problemas existentes. As cartas interpretativas deverão ser produzidas em função das demandas sócio-econômicas. Zuquette (1987) sugere a produção de 11 cartas interpretativas de aplicação nas mais diversas e possíveis demandas de usuários. No caso específico do mapeamento geotécnico nos municípios abrangidos em parte pela Folha de Aguai, de acordo com a análise da realidade sócio-econômica desta região, pretendeu-se elaborar uma carta de Unidades de Terreno, na perspectiva das necessidades de ocupação na área, diminuindo o volume de documentos produzidos, para um documento síntese acompanhado por tabelas de classificação e avaliação de terrenos; na tentativa de transmitir o máximo de informação na representação cartográfica, através uma forma acessível e de fácil entendimento por usuários não especializados.

A ciência não oferece cópias da realidade, mas apenas modelos hipotéticos e provisórios desta. Neste sentido, o mapeamento geotécnico se limita pela multidisciplinaridade dos profissionais que nele atuam e pela capacidade e experiência destes. Outro fator limitante do mapeamento geotécnico, como técnica que pretende a classificação e avaliação do meio físico através de mapas e cartas, são as próprias técnicas de

representação cartográfica, que devem ser claras e objetivas para o entendimento do usuário não especializado, possibilitar a representação de até duas dimensões de diversas propriedades em profundidade e ser passível de atualização.

A representação cartográfica constitui-se numa outra questão que deverá ser tratada. Os mapas básicos ou fundamentais, as cartas interpretativas e os mapas auxiliares a serem produzidos, segundo Zuquette (1987), deverão ser acessíveis ao usuário, possuir dados qualitativos e quantitativos, possibilitar rápida recuperação dos dados, atualização, ser auto-explicativos além de indicativos e, em alguns casos, possibilitar a representação em três dimensões. Todos estes fatores implicam uma boa pesquisa de formas de representação cartográfica do espaço e do meio físico no seu aspecto geotécnico.

As cartas interpretativas indicadas por faixas de adequabilidade são de difícil entendimento por parte de usuários não especializados e estão aquém das necessidades dos usuários especializados, tanto no entendimento do real comportamento dos terrenos, como também quanto à aplicação prática dos procedimentos a serem adotados na ocupação de determinado terreno. Por esta, razão, julga-se conveniente que as cartas sejam auto-explicativas, contendo o comportamento previsto para cada unidade de terreno, a indicação de aptidão de uso, de suscetibilidade a problemas potenciais das unidades de terreno e a viabilidade ou adequabilidade de implantação de determinados usos para cada unidade de terreno, tudo isso de forma descritiva, utilizando-se tabelas junto ao mapa de Unidades de terreno.

O trabalho de representação cartográfica deve ser iniciado a partir do levantamento de dados. O ideal é que seja adotada uma ficha de campo codificada com os mesmos índices que serão utilizados num banco de dados que permita sua rápida recuperação e atualização. Os mesmos índices deverão ser utilizados nos mapas, nas fichas de ensaios de laboratório e nas fichas descritivas das unidades de terreno. Isto permitirá sua identificação com os diversos dados produzidos pelo mapeamento, alcançando uma padronização que será útil aos usuários, principalmente os dos órgão públicos planejadores e fiscalizadores.

A adoção de índices numéricos na representação cartográfica é pobre enquanto comunicação visual, o que é compensado pela quantidade de informação que pode ser fornecida de maneira simples para uma mesma unidade, permitindo um grande número de variações de forma, como com fórmulas descritivas, ou a ponderação de pesos, em

Aguiar (1989), ou ainda na PUCE (Grant & Finlayson, 1978), através de uma sistemática de classificação de terrenos, em Matula & Pasek (1964), com utilização de código de barras, dentre outros.

Devido à crise e à falta de investimentos nos órgãos de cartografia e mapeamento geológico básicos, a realidade atual leva as necessidades dos municípios, usuários potenciais que poderiam trabalhar em convênios com as instituições mapeadoras e assim obter resultados mais favoráveis dos seus investimentos, justificados no caso mapeamento geotécnico pelo caráter aplicado do trabalho.

Nestes casos, os limites do mapeamento coincidiriam com a divisão política e haveria maior facilidade para a análise das questões sócio-econômicas e o mapeamento geotécnico corresponderia mais realisticamente as demandas do usuário, o que se justificaria plenamente.

Por outro lado, num país com as dimensões do Brasil, com potencialidade de desenvolvimento e perspectivas de expansão na ocupação territorial; com problemas cruciais urbanos e fundiários, é indispensável uma política de planejamento territorial do meio-físico, nas suas potencialidades e limitações com vistas ao planejamento regional e urbano adequado.

### **3.1.1 METODOLOGIAS INTERNACIONAIS**

As primeiras cartas geotécnicas foram lançadas em Leipzig, em 1913, tratando de fundações em cidades alemãs. No início do século o assunto foi tratado também para áreas urbanas (Nova York, São Paulo) através de uma abordagem de geologia (in Zuquette, 1985). Após a Segunda Guerra, houve um avanço na produção de cartas geotécnicas em diversos países do leste europeu, devido a necessidade de se planejar a reconstrução das cidades. Segundo Zuquette (1985), a fase do mapeamento geotécnico deu nas décadas de sessenta e setenta; foi neste período que a técnica atingiu os demais países do ocidente.

Matula (1978) *apud* Zuquette (1985) considera que os mecanismos mais importantes do mapeamento geotécnico são as estimativas do potencial de uso das diversas unidades, a avaliação das áreas para uso específico e decisão da melhor forma de construir.

Dos países que tem área de conhecimento de mapeamento geotécnico bem desenvolvida, destaca-se a Checoslováquia como o mais representativo, principalmente

através dos trabalhos de Pasek, Rybar, Zebera, Matula, Zaruba e outros (Zuquette, 1985). O sistema Checolovaco considera a morfologia, a estabilidade dos terrenos, a hidrologia e as propriedades físico-mecânicas dos solos e rochas. Compõem os trabalhos os mapas geológicos (substrato e materiais inconsolidados), hidrogeológico, de documentações, de divisão geotécnica, fichas e tabelas.

Zebera, 1947 apud Zuquette (1985), seguindo aplicações de Pasek, Rybar e Simel, criou um sistema de bandas que inspirou outras variações de representação em terceira dimensão. Normalmente os trabalhos apresentam três categorias de terrenos (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis).

A compilação de um mapa geotécnico com finalidade geral, na escala 1:25.000, através de Matula & Pasek (1964) foi aprovada pela Comissão Geotécnica da COMECON, como modelo para instruções internacionais (Comecon, 1996 apud Zuquette, 1985).

A França é o país mais desenvolvido em técnicas e trabalhos. Em 1972, Sanejoud publicou a “Cartografia Geotécnica na França”, onde se pode observar a forte ligação entre a Escola Francesa e a Checoslovaca. As cartas de fatores são de documentação, do substrato rochoso, dos materiais de cobertura, hidrogeológica, geomorfológica e outras. As cartas de aptidão são: fundações, viabilidade de vias de transporte, escavabilidade, materiais de construção e outros. O objetivo desta metodologia é ser utilizado tanto para fins regionais como para específicos. O Sistema de representação se dá em três dimensões como o Checoslovaco.

Mathwson & Font (1974) apresentam uma sistemática através de quatro fases hierárquicas para o conjunto de mapas necessários para o zoneamento de uma região enquanto Dearman & Fookes (1974) desenvolveram na Inglaterra trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados a engenharia civil in Souza (1992).

Na Austrália, a partir do trabalho de Grant (1965), iniciou-se o uso de informações geotécnicas, onde se desenvolveu o sistema PUCE (Padrão, Unidade, Componente, Avaliação) (Grant, 1975 a; 1975 b e Grant & Finlayson, 1978). Esse sistema se baseia em princípios geomórficos homogêneos para cada unidade de terreno. Todos os dados levantados devem ser tratados de maneira a se tornar compatíveis com um sistema computacional. O sistema originário de um similar de Christian & Stewart (1953) apud Zuquette (1985). As principais classes de terreno são: Província, Padrão, Unidade e

Componente. Os atributos são apresentados em 3 classes que definem seu interesse para: estudo de praticidade, estudo de planejamento e finalidades construtivas.

A IAEG (*International Association of Engineering Geology*) elaborou, através de comissão formada em 1966, um guia para a preparação de mapas geotécnicos, publicado em 1976, através da UNESCO.

Essa metodologia classifica os mapas sem função do conteúdo, da escala e da finalidade. Os fatores a serem considerados são: o caráter das rochas e solos, as condições hidrogeológicas, as condições geomorfológicas e outros.

De acordo com a finalidade, os mapas são classificados como especiais ou de multifinalidade. Segundo o conteúdo, são: analíticos, abrangentes, auxiliares e complementares. E segundo a escala, grande ( $>1:10.000$ ), média (entre  $1:10.000$  e  $1:100.000$ ) e pequena ( $<1:100.000$ ).

Zuquette (1987), ainda cita metodologias como a espanhola (CEOTMA), ARD-CANADENSE, A SUÍÇA, Kiefer (EUA), ZERMOS e Sanejoud (1972) na França, dentre outras.

O trabalho de Farias et al. (1984) pela CEOTMA, na Espanha considera estudos do meio físico, em caráter regional, tendo como fundamento critérios geomorfológicos. Coelho (1980), coloca a experiência do LNEC em Portugal na elaboração de cartas geotécnicas para as classificações.

A realização de estudos geotécnicos regionais não é comum no Brasil, contrariamente ao que acontece em outros países mais desenvolvidos, como os da Europa, EUA, Canadá e Austrália.

### **3.1.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO NO BRASIL**

Os trabalhos pioneiros que tratam de metodologia de mapeamento geotécnico ou similares e sua aplicação no Brasil tiveram lugar na década de sessenta, com Haberlehner (1966), fomentando a necessidade do Mapeamento Geotécnico no País e Grehs (1967) que tratando de problemas de instabilidade de encostas, realizou o mapeamento da cidade de Santa Cruz, RS.

Na década de sessenta foram produzidos os trabalhos de Coulon (1974) em Morretes e Montenegro, RS, e Maciel F<sup>o</sup> (1977, 1990) em Santa Maria, RS. Na década de oitenta

o IPT (1980, 1984 e 1989) realizou trabalhos na confecção das cartas geotécnicas dos Morros de Santos e São Vicente, do município de São Paulo e do Guarujá. Zuquette (1981) em São Carlos. No final da década de oitenta e início da de noventa destacam-se os trabalhos na área acadêmica de Aguiar (1989) em São Carlos, seguindo a metodologia Zuquette (1987), para a área de expansão urbana; Godoy (1989) em Presidente Prudente, voltado a expansão urbana com a ponderação de variáveis do meio físico em geofatores de risco ao desenvolvimento urbano, geofatores limitantes na aptidão para construção e geo-recursos a serem protegidos, com o critério de zoneamento guiado pela posição do relevo.

O mapeamento geotécnico tem subsidiado como produto final e como metodologia a elaboração de estudos na área de meio ambiente nos relatórios de avaliação ambiental (EIA's, RIMA's). Observando-se a tendência de análise de questões ambientais sob a ótica de desenvolvimento sustentado, como em SMA (1991). Trabalhos voltados ao planejamento municipal foram produzidos pelo IG, como cartas geotécnicas de Sorocaba (1989) e de Itu (1990).

Em 1987 foi publicada a carta geotécnica de Maceió, realizada pela Universidade Federal de Alagoas, abordando principalmente aspectos de estabilidade de taludes. Em 1989 foi publicada a carta geotécnica do Guarujá, executada pelo IPT e pelo IG, onde a metodologia parte da caracterização dos problemas reais e potenciais que afetam a urbanização do município, e as unidades geotécnicas correspondem a setores do relevo.

As cartas de Campo Grande, MS (1990) e de Cuiabá, MT (1991) foram elaboradas com equipes multi-institucionais, das prefeituras, Universidade (UFMT) e Secretaria de Planejamento, com o apoio técnico do IPT. Nessas cartas a metodologia considerou traços fisiográficos e problemas de ocupação, em unidades homogêneas quanto a problemas existentes e esperados, e a compartimentação das unidades foi executada por padrões de relevo.

A carta de Ubatuba (1991), executada pelo IPT, considerou a caracterização pluviométrica, o uso do solo, os aspectos ambientais e áreas correlatas e a análise da potencialidade para geração de massa.

O trabalho de Zuquette (1987) intitulado: "Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as condições Brasileiras" constitui-se num marco na evolução dos trabalhos sistemáticos já existentes em levantamentos geológico-

geotécnicos e cartografia geotécnica. O trabalho trata desde a sistemática, quanto a metodologia científica para elaboração de um mapa, até do levantamento das metodologias e sistemas internacionais, trazendo uma revisão completa de estado da arte até então. Além disso, propões uma metodologia aplicada às condições brasileiras, procurando se adequar às condições sócio-econômicas do país, dentro de uma relação custo/benefício favorável, sem detrimento do nível técnico/tecnológico a ser adotado.

### **3.1.3 METODOLOGIA DE ZUQUETTE**

Zuquette (1987) considera a definição de Thomas (1970) para o mapeamento geotécnico como um processo de análise dos componente do meio físico, que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos e outros.

As informações deverão ser manipuladas de tal maneira que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros.

A obtenção das informações segue os princípio básicos de coleta e análise de atributos que serão fundamentais para a definição das unidades em função de suas homogeneidades ou não.

Atributo, segundo Zuquette (1987) são as qualidades ou propriedades do meio físico que são utilizados para caracterizá-los. Pela IAEG (1976), atributo é a qualidade ou a propriedade inerente de alguma coisa. Ou ainda, seria a característica, qualitativa ou quantitativa que identifica um elemento de um conjunto observado (meio físico).

Segundo a metodologia empregada, o estudo de avaliação e especificação das unidades geotécnicas passa pelas seguintes etapas: levantamento e análise das informações produzidas anteriormente, reconhecimento dos atributos e identificação de unidades homogêneas.

Para a identificação dos atributos são utilizados todos os documentos levantados, tais como tipo de material, natureza do perfil, espessura dos materiais, profundidade do nível d'água, declividade e sentido, permeabilidade, expansibilidade, compressibilidade e suporte. A partir destes dados, elabora-se um mapa preliminar com unidades homogêneas. A fotointerpretação na identificação de formas de relevo e tipos de solo e sua posição na vertente é fundamental nesta etapa.

No trabalho de campo, etapa seguinte, atendendo-se aos limites propostos por Zuquette & Gandolfi, como: tipo de material (inconsolidado ou rochoso), espessura dos materiais, profundidade do NA, declividade e sentido, permeabilidade, expansividade, compressibilidade, suporte, corrosividade, áreas de inundação, movimentação dos terrenos, formas e comprimentos, áreas de recarga, CTC, dados climáticos (erosividade), salinização, grau de alteração, canais e drenagem, fraturamento estrutural, capacidade de campo e murchamento e bacias hidrográficas; realiza-se um número mínimo de observações quantitativas, para o levantamento dos atributos.

Após a etapa de campo, com amostragem, parte-se para os ensaios de laboratório, que serão aqueles que permitem a caracterização prévia dos materiais, quais sejam: granulometria, limites de plasticidade e de liquidez, massa específica dos sólidos, compactação, mineralogia, comportamento laterítico, caracterização de agregados e densidade relativa, esses materiais inconsolidados. E densidade, mineralogia e resistência a compressão, para materiais rochosos.

Devido ao alto custo de amostragem e execução de ensaios para certas propriedades, como permeabilidade, compressibilidade, expansibilidade e resistência, é conveniente a sua estimativa a partir de outros índices, mais facilmente obtidos

Segundo Zuquette (1987), as classes de documentos utilizados são: Mapas Básicos Fundamentais – mapa topográfico, mapa geológico (substrato rochoso e materiais inconsolidados) e mapas de águas; Mapas Básicos Opcionais – mapa pedológico, geofísico, geomorfológico, climático e de ocupação atual e prevista; Mapas Auxiliares - mapas de documentação existente e de documentação produzida e Cartas Derivadas ou Interpretativas – cartas de fundação, escavabilidade, estabilidade de taludes, irrigação, erodibilidade, deposição de rejeitos sépticos, materiais de construção, restrições ambientais, orientação, obras viárias e obras enterradas.

### **3.2 ARGILO-MINERAIS PREDOMINANTES NA FORMAÇÃO GUABIROTUBA E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS**

O nome “ argila” é usado como termo petrográfico para designar uma rocha e também como um termo para designar uma faixa de dimensões de partículas na análise mecânica de rochas sedimentares e solos. Como termo petrográfico, é difícil de ser definido precisamente devido a grande variedade de materiais que tem sido designado por

argilas. De maneira geral, o termo argila significa um material de textura terrosa e de baixa granulometria, que desenvolve plasticidade quando misturado com uma quantidade limitada de água. Por plasticidade, entende-se de modo amplo a propriedade de o material úmido ficar deformado (sem romper) pela aplicação de uma tensão, sendo que a deformação permanece quando a tensão aplicada é retirada

Quimicamente, as argilas são formadas por silicatos hidratados de alumínio, ferro e de metais alcalinos e alcalinos terrosos. As argilas, são constituídas essencialmente por partículas cristalinas, extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como argilo-minerais . Uma argila pode ser composta por partículas de um argilo-mineral ou por uma mistura de diversos argilo-minerais. Além destes argilo-minerais, podem conter matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais e podem conter também minerais não cristalinos ou amorfos.

### **3.2.1 MINERAIS PRIMÁRIOS**

O mineral primário mais freqüente no solo é o quartzo, que é praticamente inalterável. Os feldspatos podem dar o grau de evolução dos solos, pois são alteráveis. Quanto maior a presença de feldspatos, menos evoluídos serão os solos. Outros minerais primários, como os ferromagnesianos, podem aparecer em solos pouco evoluídos como os saprólitos. Micas, muscovita principalmente, podem ocorrer com certa freqüência.

Ferreira et al. (1987), recomendam evitar o uso de solos provenientes de rochas micáceas (micaxistos e filitos, por exemplo) . Sendo imprescindível esse uso, deve-se fazer uma boa amostragem e ensaios especiais, com o objetivo de caracterizar as condições de deformabilidade e resistência ao cisalhamento desse tipo de solo.

### **3.2.2 MINERAIS SECUNDÁRIOS**

#### **3.2.2.1 Minerais de argila**

A descrição dos minerais secundários, colóides e húmus está baseada em Costa (1973).

Dessa forma, os principais argilo-minerais secundários da argila, encontrados na área estudada foram a caulinita, a illita, e a montmorilonita, os quais passamos a descrever suas principais características.

### **3.2.2.1.1 Caulinita**

Corresponde ao grupo de maior tamanho, sendo assim, às vezes, de cor amarelada ou avermelhada, dependendo da porcentagem de  $Fe^{++}$  e  $Fe^{+++}$ . Possui carga elétrica negativa e fraco poder de retenção de água. Como características geotécnicas, possui menor plasticidade, menor expansão, menor absorção e menor coesão.

### **3.2.2.1.2 Montmorilonita ou Esmectita**

São caracterizadas por grande afinidade de troca de cátions. Cor verde freqüentemente mascarada pela presença de ferro e matéria orgânica. Apresenta elevada coesão, plasticidade, adsorção e expansão.

### **3.2.2.1.3 Illita**

Baixa expansão, plasticidade, dispersão e adsorção. Possui propriedades intermediárias entre a caulinita e a esmectita.

A importância dos argilos-minerais no solo provém dos seguintes fatos: são colóides eletronegativos com capacidade de absorção, retenção de água e troca de cátions; são suscetíveis de dispersão e floculação; tem poder tamponizante; com propriedades mais ou menos acentuadas de plasticidade, adesividade, tenacidade no estado seco, fundamental na agregação dos solos minerais e formam ligações mais ou menos íntimas com substâncias orgânicas.

### **3.2.2.2 Silicatos não cristalinos**

Embora pouco freqüente, na fração argilosa de certos solos pode-se encontrar silicatos de alumínio não cristalinos. O mais importante é a alofana. São geles amorfos de composição variável de sílica, alumina e água incluindo pequenas quantidades de ferro, magnésio, cálcio, etc.

### **3.2.2.3 Óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio**

Os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro ocorrem no estado cristalino e/ou como geles amorfos, sendo muito variável a proporção de umas e outras formas, assim como o grau de cristalinidade das formas cristalinas.

As formas cristalinas mais freqüentes e abundantes são a gibsitita  $Al(OH)_3$  ou  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ , a goetita  $FeO \cdot OH$  ou  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$  e a hematita  $Fe_2O_3$ .

Os colóides de ferro e alumínio tem comportamento físico e químico muito diferente dos argilo-minerais. Possuem menor poder de retenção para água e muito menor plasticidade. Podem, no entanto, exercer influência muito pronunciada sobre a agregação dos solos e mesmo determinam cimentação irreversível originando concrecionamentos ou ligação em massas mais ou menos compactas.

Em grande parte dos solos representam uma fraca proporção da fração mineral, geralmente sob a forma de delgadas capas que envolvem partículas de areia, silte ou argilo-minerais. Nos solos ferralíticos ou latossolos, entretanto, podem atingir forte proporção de fração mineral; não só abundam nas frações finas, como constituem concreções mais ou menos grosseiras. Esta é uma das razões que distinguem tanto os solos de comportamento laterítico, em termos geotécnicos, propiciando novas classificações como as de Nogami e Villibor (1981 e 1983).

#### **3.2.2.4 Calcário**

A calcita  $\text{CaCO}_3$  é constituinte comum dos solos das regiões áridas e semi-áridas. O calcário do solo pode encontrar-se sob a forma de partículas muito pequenas e muito freqüentemente até de diâmetro inferior a 0,002 mm. Apresenta fraca plasticidade, assim como poder de retenção de água relativamente pequeno. O calcário tem poder cimentante e pode ocorrer também, como partículas maiores provenientes de rochas sedimentares ou metamórficas.

#### **3.2.3 COLÓIDES**

Os colóides do solo podem formar, com água, soles e, até mesmo, sistemas coloidais com certa rigidez e elasticidade, denominados geles.

Os soles são caracterizados pela existência de partículas coloidais sólidas separadas umas das outras e distribuídas num meio líquido, no chamado estado disperso. Tal estado explica-se pela repulsão eletrostática das partículas. A estabilidade do sistema, no estado disperso, é tanto maior quanto maior for o potencial elétrico das partículas coloidais. Abaixo de certo valor crítico de potencial, a repulsão atenua-se suficientemente para deixar de impedir a associação de partículas coloidais que se reúnem em grupos ou flocos. Nisto consiste o fenômeno da floculação que nada mais é do que a aglomeração ou agregação de dois conjuntos de partículas, em um só, que poderá sedimentar, dependendo do seu diâmetro, sob a influência da gravidade.

Os fenômenos de eluviação são, em grande parte, condicionantes pelo estado disperso ou floculado de colóides de solo. Com efeito, a eluviação só atinge elementos ou substâncias em solução verdadeira ou colóides no estado disperso. Ao contrário, a iluviação é induzida ou facilitada pela floculação de colóides.

Os colóides raramente migram no estado isolado, mas, o fazem comumente, sob a forma de complexos coloidais dispersos, ferro-silícicos, ferro-húmicos ou argilo-húmicos.

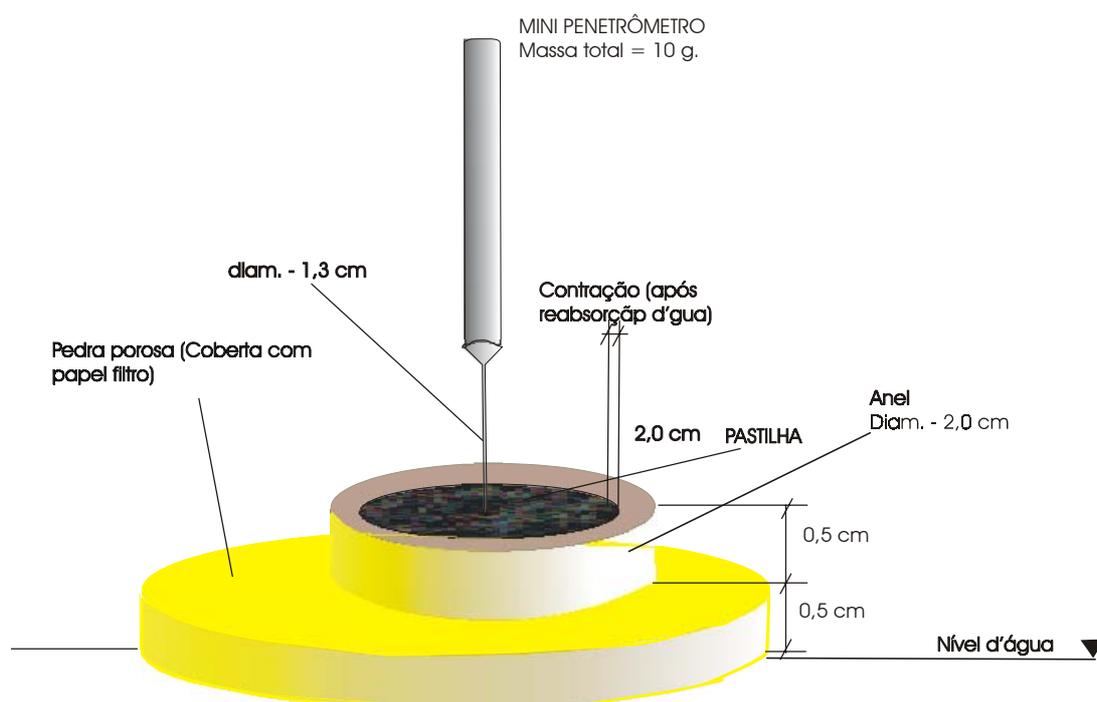
### **3.2.4 MATÉRIA ORGÂNICA- HÚMUS**

O húmus tem uma composição complexa e por este termo está se indicando toda a matéria orgânica do solo. O húmus é um material amorfo, extraordinariamente poroso e de baixa densidade; é fortemente higroscópico e tem elevado poder de retenção de água; sofre grandes variações de volume consoante o seu teor de água, tem coesão e adesividade fracas. Os colóides húmicos são eletronegativos e possuem capacidade de troca catiônica; são suscetíveis de dispersão e floculação. Há ligações mais ou menos íntimas entre o colóides minerais e colóides orgânicos do solo. Os conjuntos dessas ligações são designados por complexos argilo-húmicos.

## **3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA**

### **3.3.1 MCT – MÉTODO DAS PASTILHAS**

O método das pastilhas foi proposto, inicialmente, por Nogami e Cozzolino (1985) sendo que nessa aproximação o procedimento era essencialmente visual-táctil. A quantificação de muitas determinações foi crescente nas aproximações sucessivas. A última aproximação publicada é aquela de Nogami & Villibor (1994), mas espera-se para breve uma nova aproximação. Baseia-se na medida de contração por secagem, de pastilhas moldadas de pastas espatuladas na consistência padronizada pelo uso de mini-penetrômetro e na medida da consistência da pastilha seca submetida a reabsorção d'água. O ensaio MCT fornece, com relativa facilidade, grupos ou associação de grupos da classificação MCT a que pertence a amostra e envolve determinações que simulam o peculiar comportamento dos solos tropicais, tanto lateríticos como saprolíticos. Exige menos de 30g (ml) de fração que passa na peneira de 0,42 mm de abertura.



**Figura 5** - Esquema da pastilha e do Mini Penetrômetro

O MCT foi desenvolvido especificamente para classificar os solos tropicais, caracterizando-os apropriadamente, considerando também o ambiente tropical. Esse ambiente é caracterizado pela ausência de congelamento que propicia condições insaturadas nas camadas de solos em estado natural ou quando compactadas em pavimentos. Sua grande vantagem, consiste no baixo custo dos ensaios e na simplicidade de sua aparelhagem (Figura 5).

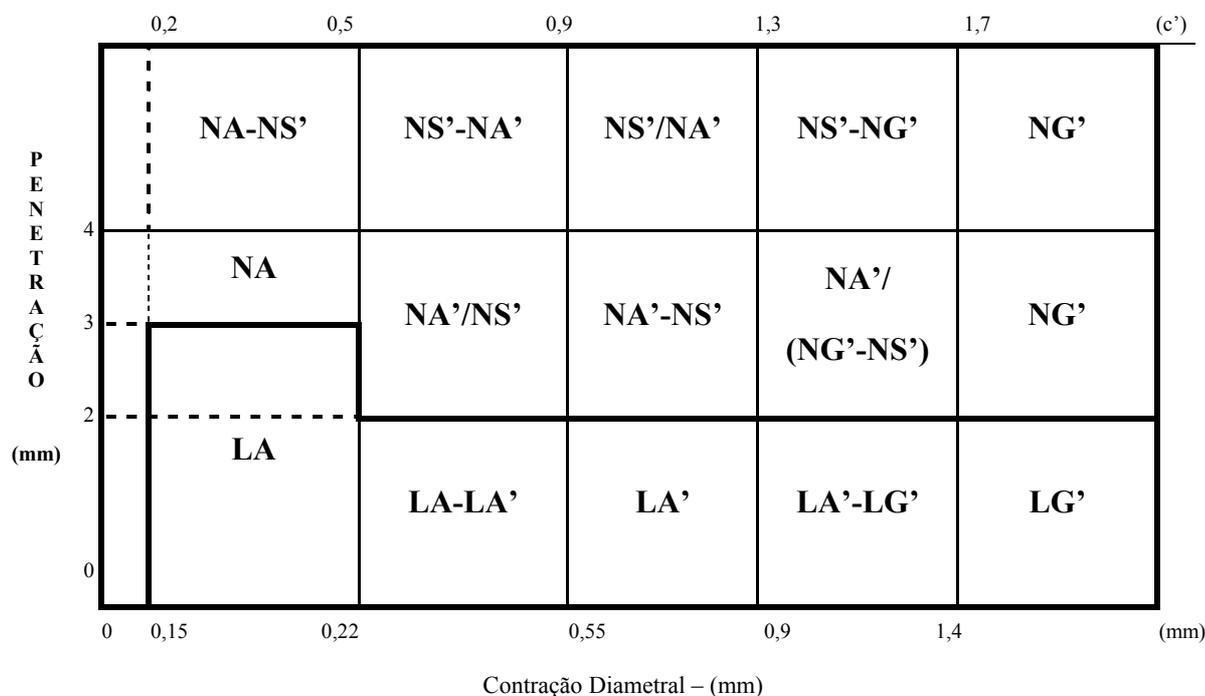
A metodologia MCT subdivide os solos conforme a laterização em laterítico (L) e não laterítico (N). Estes solos, por sua vez podem ser: Areia (A), arenoso (A'), argiloso (G') e siltoso (S'). A tipificação dos solos, segundo esta metodologia, é realizada pela composição destas siglas (L com A, A' e G' e N com A, A', G' e S') onde estas composições podem ainda ser agrupadas por equivalência ou descendência, respectivamente conotadas como – e / . As diferentes composições, conforme esta metodologia são a seguir apresentadas:

**Quadro 1 - Características dos grupos de solos da classificação MCT***(apud Villibor et al, 1986).*

<b>LA</b>	Areias com muito pouco finos (argilas e siltes) lateríticos, pouco coesivas e pouco plásticas. Infiltrabilidade elevada a média; permeabilidade média. Contraí muito pouco por secagem, com trincamento ausente ou pouco desenvolvido. Geralmente desfaz-se quando solto e encharcado, podendo escoar facilmente pela ação de água corrente. De maneira geral, predominam condições em que se comporta com grau elevado de erodibilidade.
<b>LA'</b>	Areias argilosas lateríticas, pouco plásticas e pouco coesivas. Infiltrabilidade e permeabilidade baixas. Contraí por secagem, com desenvolvimento moderado de trincas. Superfícies expostas moderadamente resistentes ao amolecimento e a desagregação. Variedades menos coesivas, desmancham-se facilmente quando solto e encharcado, podendo escoar com facilidade pela ação da água corrente. Geralmente aumenta consideravelmente de resistência a erosão quando bem compactado.
<b>LG'</b>	Argilas ou argilas lateríticas, muito plásticas a muito coesivas. Infiltrabilidade e permeabilidade baixas. Muito contráctil por secagem, com intenso desenvolvimento de trincas. Baixa expansibilidade. Superfícies expostas muito resistentes ao amolecimento e a desagregação. Agregados naturais ou resultantes da compactação bastante resistentes, proporcionando razoável estabilidade mesmo em estado solto e encharcado.
<b>NA</b>	Areias limpas, não coesivas ou muito coesivas, não plásticas. Permeabilidade e infiltrabilidade elevadas. Superfície exposta amolece e desagrega facilmente. Praticamente não contraí quando seco, não desenvolvendo trincas. Desmorona facilmente quando encharcado em estado solto, podendo liquefazer-se facilmente pela ação de água corrente, que entretanto não se forma nas suas superfícies expostas, a não ser na ocasião de chuvas muito intensas, devido a sua elevada capacidade de infiltração.
<b>NA'</b>	Areias argilosas ou siltosas, pouco plásticas e pouco coesivas, com finos não lateríticos, de expansibilidade média a elevada. Infiltrabilidade e permeabilidade baixas a médias. Pequena contração por secagem, com trincamento moderado. Superfície exposta resistente a pouco resistente (amolece e desagrega). Quando solto seco, desmancha-se com o encharcamento, podendo liquefazer pela ação de água corrente. De maneira geral possui erodibilidade difícil de ser prevista apenas pelo conhecimento do grupo MCT.
<b>NS'</b>	Solos de comportamento siltoso, contendo siltes pouco coesivos e pouco plásticos. Permeabilidade e infiltrabilidade médias. Superfície exposta amolece e desagrega facilmente. Não contraí ou contraí muito pouco, com trincamento eventual pouco intenso. Quase sempre expansivo, porém com baixa pressão de expansão. Comportamento variando quando encharcado em estado solto, havendo variedades com agregados de finos (torrões) resistentes e outros com agregados não resistentes ao encharcamento. Geralmente com grau elevado de erodibilidade em quase todas as circunstâncias.
<b>NG'</b>	Argilas ou argilas siltosas, muito coesivas e muito plásticas. Permeabilidade baixa. Infiltrabilidade média devido ao desenvolvimento de trincas. Geralmente bastante resistentes a ação da água corrente quando compactado e úmido. Expansibilidade e contração elevadas, com intenso desenvolvimento de trincas. Quando solto e seco, submetido ao encharcamento, desagrega intensamente, dando origem a lama.

Quando as condições não estiverem especificadas no Quadro 1, as características referem-se ao estado compactado e úmido.

A classificação e o gráfico ilustrativo são apresentados a seguir.



**Figura 6** - Tabela de Classificação Geotécnica MCT pelo "Método das Pastilhas"

Forte (1990), em sua dissertação de mestrado, apresentou um novo procedimento, baseado fundamentalmente nas mesmas determinações adotadas por Nogami e Cozzolino (1985), com algumas alterações, e que permite classificar os solos identificados segundo grupos de classificação MCT. Limita-se, ainda, a solos de granulação fina. Posteriormente (1991), verificou-se que a obtenção expedita da classe MCT pode ser feita com maior simplicidade, obtendo-se empiricamente os valores dos parâmetros e índice da classificação MCT pela consideração da contração, consistência e inchamento de corpos de prova moldados em anéis de 20 mm de diâmetro.

As principais peculiaridades do procedimento baseado no comportamento de pastilhas moldadas em anéis de 20 mm de diâmetro são as seguintes:

**Moldagem** – a fração que passa na peneira de 0,42 mm de abertura é umedecida e intensamente espatulada até uma consistência determinada, fixada pela plasticidade ou pelo uso do penetrômetro portátil. As pastilhas, a que se referem os parágrafos seguintes, são moldadas após a obtenção de porções com determinada plasticidade ou

consistência e, além disso, utilizadas também para verificação do grau de plasticidade e para moldagem de bolas para eventual determinação de sua resistência e teor de umidade, após sua secagem apropriada.

**Contração** – as pastilhas moldadas são, em seguida, postas a secar em estufa a 60 °C ou outro dispositivo apropriado. A contração é medida diretamente por diferença entre o diâmetro do anel e o diâmetro da pastilha seca.

**Efeitos da Reabsorção d'água** – os anéis contendo os corpos de prova são colocados sobre papel bem permeável saturado, por sua vez colocado sobre uma placa porosa com livre suprimento d'água. Ao absorver água, observam-se fenômenos como inchamento, trincamento, amolecimento, etc. O amolecimento é medido considerando-se a consistência da pastilha, avaliada pela penetração de uma agulha padronizada (massa de 10g e diâmetro de 1,30 mm, montagem similar a uma lapiseira).

**Determinação da Fração Fina** - (material que passa na peneira 0,075 mm) – essas determinações são necessárias quando os resultados obtidos pela fração da amostra passada na peneira 0,42 mm levar a indeterminações, sobretudo pela pequena quantidade da fração fina que passa na peneira 0,075 mm. Os procedimentos seguidos são similares aos do caso de determinações efetuadas na fração que passa na peneira 0,42 mm.

Observe-se que, em muitas circunstâncias, a determinação de algumas características consideradas na identificação e o conseqüente registro das mesmas junto com as características descritivas poderão auxiliar consideravelmente o melhor aproveitamento de muitos solos tropicais.

### 3.3.2 ENSAIO DA ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO

O azul de metileno é um corante orgânico que, segundo o “Merck Index” , apresenta as composição  $C_{16}H_{18}N_3S \cdot Cl \cdot 3H_2O$ , com o nome de cloridrato de metiltiamina. Caracteriza-se como um corante catiônico, ou seja, em solução aquosa apresenta-se dissociado em ânions cloreto e cátions azul de metileno ( $C_{16}H_{18}N_3S^+$ ). Este método permite a determinação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (Se) dos argilo-minerais. Segundo Chen et al. (1974) o cátion azul de metileno substitui os cátions  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $H_3O^+$  adsorvidos aos argilo-

minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível, caracterizando-se como uma forma de medida de capacidade de troca de cátions.

### **3.3.2.1 Descrição do ensaio**

O método utilizado baseia-se em linhas gerais no procedimento descrito por Lan (1977, 1980) e Beaulieu (1979), in Pejon (1992). As modificações introduzidas dizem respeito à fração granulométrica utilizada para o ensaio e à concentração da solução de azul de metileno. Os autores citados utilizam, para realização do ensaio, amostras de materiais inconsolidados com partículas de dimensões inferiores a 0,50 mm. Para estabelecimento dos limites para solos tropicais, foram utilizadas amostras que passam na peneira 2,00mm, de maneira a permitir a obtenção de um índice de adsorção de azul de metileno global, simplificando o ensaio e evitando a necessidade do ensaio de granulometria. Outra mudança efetuada diz respeito à concentração da solução de azul de metileno, de 10 g/l para 1,5 g/l, pelo fato dos solos tropicais apresentarem a fração argilosa constituída predominantemente por minerais de baixa capacidade de adsorção, permitindo assim maior precisão nas determinações.

A seguir descreve-se os procedimentos de preparação da amostra e execução do ensaio.

Preparação da amostra:

- Passar a amostra na peneira 2,00 mm;
- Determinar a umidade;
- Pesar 2 a 4 g de solo úmido;
- Preparar uma suspensão com o solo e 10 ml de água destilada.

Obs: não secar em estufa a amostra que será utilizada no ensaio.

Preparação da solução de azul de metileno:

- Determinar a perda de água a 105° C por 18 horas em estufa ventilada;
- Tomar uma massa correspondente a 1,5 g de azul de metileno seco;
- Dissolver em 1 l de água destilada.

Obs: não utilizar soluções preparadas há mais de 3 dias, devido a problemas de polimerização (Chen et al., 1974).

Não secar em estufa o azul de metileno que será utilizado para a preparação da solução.

a- Execução do ensaio

Para a execução do ensaio o material necessário é muito simples, consistindo em um agitador magnético, uma bureta graduada, um becker, uma haste de vidro e papel filtro para cristais finos (Whatmann's 42 ou similar). Durante a realização do ensaio, a suspensão de solo deve ser mantida em constante agitação. Adiciona-se uma quantidade da solução de azul de metileno e após um intervalo de 3 minutos procede-se à retirada, com haste de vidro, de uma gota da suspensão de solo, que é colocada sobre o papel filtro. Se ocorrer somente mancha azul escura, o teste é considerado negativo e, caso apareça uma auréola azul clara em torno da mancha escura, o teste é positivo. No primeiro caso adiciona-se nova quantidade da solução de azul de metileno até obter-se um resultado positivo. Quando isto acontecer, aguarda-se um intervalo de mais 3 minutos a se repete o teste. Se o resultado for positivo o ensaio está encerrado, caso contrário acrescenta-se metade da quantidade anteriormente adicionada, espera-se mais 3 minutos e o procedimento é repetido até obtenção de resultado positivo. No início do ensaio pode-se adicionar quantidades maiores de azul de metileno a cada vez, até o limite de 5 ml. No final do ensaio deve-se acrescentar de 1 em 1 ml, para melhor precisar o ponto de saturação. O tempo do ensaio é variável de acordo com o solo, mas, em geral não ultrapassa 30 minutos, chegando no máximo de 1 hora.

b- Cálculo da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfícies específica (Se)

A capacidade de troca de cátions pode ser obtida a partir da seguinte expressão (Chen et al, 1974) in Pejon (1992):

$$CTC = \frac{VxCx100}{M}$$

- CTC – CTC em meq/100 g
- V – Volume da solução de azul de metileno gasto (ml)
- C – Concentração da solução de azul de metileno (normalidade)
- M – Massa do solo seco (g)

Para a determinação da superfície específica, faz-se necessário calcular qual a superfície recoberta por 1 ml de azul de metileno na concentração utilizada (Beaulieu, 1979):

$$S = \frac{AxNxm}{Mamx100}$$

- S - Superfície recoberta por 1ml de azul de metileno(m<sup>2</sup>/ml)  
 A - área da face da molécula de azul de metileno (130A<sup>2</sup>)  
 N - Número de Avogrado  
 M - Massa de azul de metileno seco (g)  
 Mam - Massa molecular ao azul de metileno na forma anidra

$$S = \frac{130x10^{-20}x6,02x10^{23}x1,5}{319,9x1000} = 3,67m^2 / ml$$

Assim, a superfície específica do material ensaiado pode ser calculada:

$$Se = \frac{3,67xV}{M}$$

- Se - Superfície específica (m<sup>2</sup>/g)  
 V - Volume da solução de azul de metileno gasto (ml)  
 M - Massa do solo seco (g)

### 3.3.2.2 O uso do azul de metileno na geotecnia

O ensaio de adsorção de azul do metileno é utilizado para caracterizar o comportamento físico-químico da fração fina dos solos com finalidades geotécnicas. Teve início com Lan (1977), que propõe o uso do método do papel de filtro. Em trabalhos seguintes, Lan (1980 e 1981) relata a insuficiência dos ensaios tradicionais da mecânica dos solos, como os limites de Atterberg e equivalente de areia, em prever o comportamento da fração fina dos solos. O referido autor mostra que o método de adsorção de azul de metileno permite identificar ou estimar a atividade de fração argilosa dos solos, por meio da medida de sua superfície específica. Desta forma, o autor propôs a construção de rodovias de maneira a adaptá-la às novas informações fornecidas pelo azul de metileno.

Beaulieu (1979) in Pejon (1992), apresenta a capacidade de troca de cátions (CTC) dos principais grupos de argilo-minerais, apresentada abaixo:

**Quadro 2** - Capacidade de troca de cátions de diferentes tipos de argilas, obtida por métodos tradicionais (apud Beaulieu, 1979).

ARGILA	CTC (meq/100 g)
Caulinita	3 – 15
Haloisita 2 H <sub>2</sub> O	5 – 10
Haloisita 4 H <sub>2</sub> O	10 – 40
Ilita	10 – 40
Montmorilonita	80 – 150
Clorita	10 – 40
Atapulgita	20 – 30
Vermiculita	100 – 150

Lautrin (1987), procura associar o valor da adsorção do azul de metileno (Vb) com a mineralogia das argilas, definindo este índice como sendo a massa de azul de metileno necessária para recobrir com uma camada monomolecular as partículas contidas em 100 g de um solo. Desta forma estabelece a influência da mineralogia das argilas sobre a adsorção do azul de metileno verificando-se que há relação direta entre o aumento da porcentagem de um tipo argiloso e o aumento da adsorção de azul de metileno.

Lautrin (1989), procura caracterizar a atividade da fração de argila (Quadro 3) por meio da quantidade de azul de metileno adsorvido por 100 gramas de argila (Acb), que pode ser calculada a partir do valor de azul de metileno adsorvido pelo solo (Vb), por meio da seguinte expressão:

$$Acb = \frac{100 \times Vb}{C_2}$$

- Acb – Índice de atividade da fração argilosa (g/100g de argila)
- Vb – Valor de azul de metileno adsorvido (g/100g de solo)
- C<sub>2</sub> – Porcentagem de material com menos que 0,002 mm de diâmetro.

**Quadro 3** – Atividade das argilas pelo método do azul de metileno  
(*apud* Lautrin, 1989)

CLASSES		Acb
7	Nocivas	> 18
6	Muito ativas	Entre 13 e 18
5	Ativas	Entre 8 e 13
4	Normais	Entre 5 e 8
3	Pouco ativas	Entre 3 e 5
2	Inativas	Entre 1 e 3
1	Não argilosos	Entre 0 e 1

### **Problemas de caracterização de materiais de regiões tropicais**

A maioria dos trabalhos com azul de metileno utilizou argilas puras ou solos de regiões de clima e evolução pedogenética diferentes dos brasileiros. Os solos de regiões tropicais apresentam, em sua maioria, minerais argilosos do grupo das caulinitas e grande quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, materiais pouco comuns nos solos de regiões onde foi desenvolvido o método do azul de metileno. Cuisset (1980), verificou que ocorre uma variação na adsorção do azul de metileno com a mudança do pH para argilas cauliniticas.

Considerando-se esses fatos, faz-se necessário uma avaliação da eficácia do ensaio de adsorção do azul de metileno para os solos de regiões tropicais. Como visto anteriormente, o método de adsorção do azul de metileno consiste em uma medida da capacidade de troca de cátions dos solos. Assim, para verificar sua validade para os solos tropicais, compara-se os resultados da capacidade de troca de cátions obtida pelo azul de metileno com os obtidos por métodos tradicionais, para algumas amostras de solos na área estudada.

Procura-se estabelecer uma relação entre a classificação MCT (Nogami & Villibor, 1981), que busca relacionar o comportamento dos solos tropicais com a sua mineralogia, e os resultados obtidos com o ensaio de adsorção do azul de metileno.

Segundo Pejon (1992), em sua Tese de Doutorado para o Mapeamento Geotécnico da Folha de Piracicaba-SP, para 53 amostras aleatoriamente escolhidas, determinou-se a capacidade de troca de cátions por meio do método utilizado pelo Instituto Agrônomo

da Campinas (Camargo et al, 1986) e pelo método do azul de metileno. Obteve-se um coeficiente de correlação igual a 0,90, com um nível de significância igual a 0,0005 para 51 graus de liberdade, ou seja, uma correlação altamente significativa, deixando claro a correlação existente entre os dois métodos de determinação da capacidade de troca de cátions, indicando a validade de se utilizar o método do azul de metileno, considerando que é muito mais rápido e simples que o método químico tradicional.

Apesar do coeficiente de correlação elevado, observou-se que para algumas amostras ensaiadas, a capacidade de troca de cátions determinada por intermédio do ensaio de adsorção do azul de metileno é bem inferior àquela determinada pelo método tradicional. Isto corre, principalmente, para amostras coletadas a pequena profundidade que, normalmente, tem maior quantidade de matéria orgânica.

Segundo Casanova (1986), a matéria orgânica umidificada não absorve ou absorve muito pouco azul de metileno, podendo residir neste fato a diferença encontrada nos resultados de capacidade de troca de cátions para as referidas amostras. Ainda segundo esse autor, os óxidos e hidróxidos de Fe e Al também não absorvem o azul de metileno, resultando, portanto, que a capacidade de troca de cátions determinada diz respeito somente aos argilo-minerais, fato positivo quando o objetivo é justamente o de caracterizar a fração argilosa dos solos.

O ensaio de azul de metileno fornece a capacidade de troca de cátions dos solos, que é representada quase que exclusivamente pela fração argilosa, visto que os demais componentes do solo tem baixa capacidade de adsorção do azul de metileno. Assim, conhecendo-se a porcentagem de argila, pode-se calcular a capacidade de troca de cátions e a superfície específica da fração argilosa. Esta informações podem ser úteis na estimativa da composição mineralógica provável da fração argilosa e de suas propriedades geotécnicas.

Como a capacidade de troca de cátions e a superfície específica são obtidas a partir da quantidade de azul de metileno adsorvido, é conveniente trabalhar-se com os valores em gramas de azul de metileno, conforme os índices definidos por Lautrin (1987 e 1989), ou seja, os valores de azul de metileno adsorvido por 100 g de solo (Vb) e por 100 g de argila (Acb).

O índice Vb fornece uma informação sobre o solo como um todo, podendo indicar o seu comportamento. Partindo desta hipótese, correlaciona-se os valores Vb com os

resultados da classificação MCT. Esta classificação permite avaliar se os solos apresentam comportamento laterítico ou não laterítico. Assim sendo, para as 123 amostras estudadas por Pejon (1992), foram realizados os ensaios de adsorção de azul de metileno e os da classificação. Segundo os resultados obtidos por Pejon (1992), foi elaborado um gráfico, tendo como ordenada o índice  $V_b$  e como abscissa o percentual de argila, verificando-se que 85% dos materiais de comportamento laterítico apresentaram  $V_b < 1,5$  e cerca de 88% dos não lateríticos apresentaram  $V_b > 1,5$ . Dessa forma, o valor  $V_b = 1,5$  pode ser considerado como uma linha divisória entre os materiais de comportamento laterítico e não laterítico. Ainda na análise do gráfico, constatou-se que abaixo do valor  $V_b = 1,0$  não ocorre nenhum material com comportamento laterítico.

Pejon (1992), concluiu com o resultado do azul de metileno; que é simples e rápido de executar; que pode-se estimar o comportamento laterítico ou não laterítico dos materiais inconsolidados, com uma probabilidade de 85% de acerto. Quanto as amostras que apresentam  $V_b < 1,0$  ou  $V_b > 2,5$ , o grau de certeza quanto ao comportamento do material é bem maior, chegando próximo a 100%. O maior grau de incerteza recai sobre as amostras que se encontram no intervalo de  $1,5 < V_b < 2,5$ , pois ocorrem materiais de comportamento laterítico e não laterítico em número equivalente. Do total das amostras coletadas por Pejon (1992), cerca de 20% estão neste intervalo e deverão ser investigadas por outros métodos para determinar o seu comportamento. Assim sendo, o ensaio de azul de metileno, identificando cerca de 80% dos materiais, reduz substancialmente o número de amostras a serem ensaiadas por outros métodos, o que é muito importante em mapeamentos geotécnicos. Pejon (1992), obteve outras informações do ensaio de azul de metileno, elaborando-se um gráfico do valor de azul de metileno adsorvido por 100g de argila (índice  $A_{cb}$ ) em função da porcentagem de argila (partículas menores que 0,002mm). Desta forma, comparou esse gráfico com o a tabela de atividades de argilas (apud Lautrin, 1989), e obteve informações sobre a composição provável da fração argilosa. Verificou então que os materiais de comportamento laterítico, em sua grande maioria, apresentam o índice  $A_{cb}$  inferior a 4 g/100g de argila, enquanto os não lateríticos, acima de 5 g/100g de argila. Dessa forma, pode-se concluir que:

- $V_b < 1,5$  solo com comportamento laterítico

- $V_b > 1,5$  tem-se solos com comportamento não laterítico

### 3.3.3 ENSAIO DE ERODIBILIDADE

A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, que são a destacabilidade e a transportabilidade das partículas. Segundo Vilar (1987), pode-se associar a destacabilidade dos materiais às forças de natureza superficial, característica dos materiais finos e a transportabilidade às características físicas, tais como o tamanho e forma das partículas. Assim, em solos finos, devido às forças de atração, a destacabilidade das partículas é mais difícil, mas uma vez destacadas, mantêm-se em suspensão e são transportadas com facilidade. No caso dos solos grossos, normalmente não existem forças de coesão, portanto, as partículas destacam-se mais facilmente, porém à medida que o tamanho destas partículas aumenta, a sua transportabilidade diminui. As propriedades “*in situ*”, tais como a umidade e condições de infiltração de água, também exercem influência no potencial de erodibilidade. De uma maneira geral pode-se afirmar que quanto mais água infiltrar e com maior rapidez, menor a possibilidade de escoamento superficial e de ocorrer erosão. O teor de umidade também interfere, uma vez que, quanto mais elevada a umidade quando do início da precipitação, mais rapidamente a capacidade de infiltração é atingida e o escoamento superficial ocorre.

Vários métodos, quase todos obtidos de forma empírica, procuram caracterizar a erodibilidade em taludes, entre eles se destacam os trabalhos de Meireles (1967), Santos & Castro (1966 e 1967), Nogami & Villibor (1979) e Villibor et al. (1986). Analisando-se estes trabalhos, constatou-se que critério proposto por Nogami & Villibor (1979) apresenta uma série de vantagens tais como:

- utilização de amostras indeformadas;
- considera o efeito da secagem;
- permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração;
- facilidade e rapidez de execução; e
- não necessita de equipamentos sofisticados.

### **3.3.3.1 Descrição do método de ensaio utilizado**

O método está baseado em dois ensaios simples (absorção de água e perda de peso por imersão), que utilizam amostras indeformadas, obtidas com a cravação de um cilindro de PVC rígido com a ponta biselada e dimensões de 40 mm de diâmetro por 20 mm de altura. A amostra obtida deve ser mantida no cilindro para secagem ao ar e na sombra por um período de, no mínimo, sete dias. A seguir, descreve-se os procedimentos dos ensaios.

### **3.3.3.2 Ensaio de absorção de água**

Para a realização deste ensaio necessita-se de um equipamento simples que foi montado no próprio laboratório, consistindo de um recipiente cilíndrico, com as mesmas dimensões do cilindro de amostragem, ligado a um tubo de vidro horizontal graduado. O conjunto é preenchido com água e na porção superior do recipiente adapta-se uma pedra porosa, que deve ser mantida saturada. A amostra, ainda no cilindro de amostragem, deve ser pesada e em seguida colocada sobre o conjunto de ensaio, iniciando-se neste momento a contagem de tempo, fazendo-se leituras do volume de água absorvida por intervalo de tempo, até que a água atinja o topo da amostra.

Para a obtenção do índice de absorção (S) monta-se um gráfico do volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) em função da raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{t}$ ). Os pontos normalmente se distribuem ao longo de uma linha reta, sendo o índice S o coeficiente angular desta reta, ou seja:  $S = q / \sqrt{t}$ .

### **3.3.3.3 Ensaio de perda de peso por imersão**

Após a realização do ensaio de absorção de água coloca-se uma pedra porosa adequadamente presa à base do cilindro que contém a amostra e imerge-se o conjunto em um recipiente com água, até que o topo da amostra fique na horizontal e, aproximadamente, a 2,0 mm do nível da água. Mantém-se o conjunto nesta posição até que não existam mais modificações de umidade perceptíveis na superfície livre do topo da amostra. Suspende-se o conjunto e gira-se até que a superfície livre da amostra fique na vertical, imergindo-se em seguida o conjunto no recipiente com água. A parte inferior da superfície livre da amostra deve ficar a cerca de 30 mm do fundo do recipiente com água e dentro de um recipiente menor que permita a coleta do material

desprendido desta superfície livre. Após 24 horas determina-se a perda de peso em porcentagem do peso inicial seco da amostra (P).

#### 3.3.3.4 Cálculo do índice de erodibilidade (E)

O índice de erodibilidade proposto por Nogami & Villibor (1979) é calculado com a seguinte expressão:  $E = 52 S/P$ , onde S e P são os valores determinados. Se o valor de E é menor do que 1, considera-se que o material inconsolidado tem alta erodibilidade.

Sendo assim, os índices do ensaio de erodibilidade, foram assim estabelecidos :

- $E > 1,0$  - solo com alta resistência à erosão ou baixa erodibilidade;
- $E < 1,0$  - solo com baixa resistência à erosão ou de elevada erodibilidade.

#### 3.3.4 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Chamamos de permeâmetros os vários aparelhos de laboratório para determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos. São dois, os principais tipos de permeâmetros os quais serão descritos a seguir.

- a- Permeâmetros de carga constante, nos quais a amostra é submetida a uma carga hidráulica constante, durante o ensaio. O coeficiente de permeabilidade é calculado a partir da lei de Darcy, medindo-se a quantidade de água que atravessa o corpo de prova de seção transversal S, durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ .

$$k = \frac{QL}{SH\Delta t}$$

- b- Permeâmetros de carga variável, usados principalmente para a determinação do coeficiente de permeabilidade de amostras de solo argilosa, as quais, sendo praticamente impermeáveis, são atravessadas por quantidades de água muito pequenas, durante o ensaio, ficando o corpo de prova sujeito a uma pressão a ele aplicada. Poderá ser feito também em aparelhos onde não há aplicação de pressão externa a amostra. A quantidade de água  $dq$ , que atravessa o corpo de prova de seção S e altura H, durante um intervalo infinitesimal de tempo  $dt$ , será igual  $-a dh$ , onde a é a seção transversal da bureta e  $dh$  a queda de carga, no intervalo de tempo  $dt$ , quando a carga hidráulica é h.

$$k = 2,3 \frac{aH}{S\Delta t} \lg_{10} \frac{h_0}{h_i}$$

Os limites para o coeficiente de permeabilidade foram adotados como mostra o Quadro 4 a seguir.

**Quadro 4** - Grau de permeabilidade de solos residuais brasileiros compactados (Vargas, 1978)

	<b>Grau de permeabilidade</b>	<b>Tipos de solos</b>	<b>Coefficiente de permeabilidade a 20° C</b>
<b>Solos Permeáveis</b>	ALTA MÉDIA BAIXA	PEDREGULHOS AREIAS SILTES E ARGILAS	$> 10^{-1}$ cm/s $10^{-1}$ a $10^{-3}$ cm/s $10^{-3}$ a $10^{-5}$ cm/s
<b>Solos Impermeáveis</b>	MUITO BAIXA BAIXÍSSIMA	ARGILAS ARGILAS	$10^{-5}$ a $10^{-7}$ cm/s $< 10^{-7}$ cm/s

### 3.3.5 ENSAIO DE PENETRAÇÃO - SONDAGEM A PERCUSSÃO – SPT

As sondagens de reconhecimento iniciam-se com a execução de um furo feito por um trado-cravadeira, até que o material comece a se desmoronar e, daí por diante, elas progredem, já com o furo revestido, seja por meio do trado-espiral, da bomba de areia ou do método chamado percussão de água.

As amostras representativas das diversas camadas são obtidas por meio do trado-espiral ou do barrilete amostrador, aproveitando-se esse último para medir um índice muito valioso chamada resistência a penetração. Tal medida refere-se ao número de golpes dados por um peso de 65 kg, com uma altura de queda de 75 cm, necessários para cravar o amostrador cerca de 30 cm do solo. Esse índice permite ajuizar da compactidade ou consistência relativa das diversas camadas.

Quanto ao ensaio de penetração, sua classificação é apresentada no Quadro 5.

**Quadro 5** - Estados de compactidade e de consistência (NBR 6484)

<b>SOLO</b>	<b>Índice de resistência à penetração N</b>	<b>Designação</b>
<b>AREIAS E SILTES ARENOSOS</b>	$\leq 4$	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compactada (o)
	9 a 18	Medianamente compactada (o)
	19 a 40	Compactada (o)
	$> 40$	Muito compactada (o)
<b>AREIAS E SILTES ARGILOSOS</b>	$\leq 2$	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	$> 19$	Dura (o)

### 3.4 PEDOLOGIA

A Pedologia é a ciência que estuda os solos, sua gênese classificação e caracterização (Kampf et al.;1987). É ainda pouco utilizada no Brasil, em geotecnia.

#### 3.4.1 PERFIL DO SOLO

Chama-se perfil do solo, a seção vertical que, partindo da superfície aprofunda-se até onde há a ação do intemperismo, mostrando na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente denominadas de horizontes. Ela é resultante da interação de diversos fatores em sua formação, assim como o clima, relevo, organismos, material de origem e o tempo. As características que podem ser levadas em conta para diferenciação dos horizontes são principalmente a textura, a cor, a consistência, estrutura, a atividade biológica, o tipo dos agregados, etc.

A natureza e o número dos horizontes variam grandemente nas diferentes unidades de solos. Sendo assim, apresenta-se um perfil de solo, a fim de representar alguns horizontes possíveis que possam ocorrer.

**Horizonte O-** Horizonte orgânico ou camada orgânica superficial, formado ou em formação na parte superior dos solos minerais, sem estagnação de água, acima da parte mineral; dominado por matéria orgânica fresca ou parcialmente decomposta contendo uma manta morta de acumulação de restos orgânicos não incorporados ao solo mineral, composto por

folhas, galhos, ramos e animais sendo ainda reconhecíveis os fragmentos pouco ou semi-decompostos.

**Horizonte H-** Horizonte ou camada orgânica, superficial ou não, formado por acumulação de resíduos vegetais depositados sob condições de muito prolongada ou permanente estagnação de água. Origem em ambientes de várzeas alagadiças ou depressões pantanosas.

**Horizonte A-** É um horizonte mineral que consiste de acumulação de matéria orgânica em/ou adjacente à superfície; que tenha perdido argila, ferro ou alumínio, dando como resultados concentrações de quartzo e outros minerais resistentes. É o horizonte de máxima atividade biológica e que está mais sujeito às variações de temperatura, umidade e composição gasosa.

**Horizonte E-** Horizonte mineral resultante da perda de minerais de argilas, compostos de ferro, alumínio ou matéria orgânica, separadamente ou em combinações. Possui coloração mais clara e situa-se geralmente abaixo do horizonte A .

**Horizonte B-** Horizonte mineral, subsuperficial, situado sob horizonte E, A ou H, originado por transformações relativamente acentuadas do material originário e/ou ganho de constituintes minerais ou orgânicos migrados de horizontes suprajacentes. Está caracterizado por apresentar concentração iluvial de argila, sesquióxido de ferro e alumínio ou de húmus combinado; por uma concentração residual de sesquióxidos e/ou argila que foram formados por outros meios que não por soluções e remoções de carbonatos ou sais solúveis; por revestimento de sesquióxidos proporcionando cores mais visíveis que os horizontes supra e subjacentes. É um horizonte dotado de propriedades pedogenéticas mais estáveis, pela posição mais protegida das inconstâncias crescentes com a proximidade da superfície e menos vulnerável às modificações e eventuais estragos provocados pela ação humana. Reconhecido como horizonte de maior valor diagnóstico em nível categórico elevado para distinção de classes de solos da classificação em uso no Brasil. De acordo

com a Mecânica dos Solos Clássica o horizonte B é definido como solo residual maduro.

**Horizonte C-** É a camada de material inconsolidado com pouca influência de organismo e presume-se que seja de composição química, física e mineralógica similar (características litológicas) às do material superior onde se desenvolveu o solo. Compreende-se como horizonte C a capa de produtos detríticos de alteração inicial das rochas de origem – saprólito e rochas semiconsolidadas.

**Horizonte RA-** Horizonte ou camada de material mineral consolidado sob o horizonte A, E ou B, rico em ferro e alumínio e pobre em matéria orgânica, formado por endurecimento irreversível que se verifica em conexão com enriquecimento de óxidos do elementos citados (agentes cimentantes). Pode ser também formada por grande concentração de nódulos e concreções de permeio com material terroso.

**R** – Camada mineral de material consolidado, representa a rocha inalterada que poderá ser ou não a rocha matriz do solo acima desenvolvido.

Em termos de estudos dos horizontes de solo, podemos considerar o seu perfil genérico e simplificado, com os seguintes horizontes: O, A, B, C, RA, R.

### 3.4.2 CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA

Os grupos de solos são classificados em função do grau de desenvolvimento do horizonte B. Podemos dividi-los em solos jovens e solos maduros, sendo os solos jovens, aqueles sem características pedogenéticas desenvolvidas e os solos maduros com características pedogenéticas pouco desenvolvidas e influenciados por condições locais especiais.

Os principais grupos de solos que ocorrem no Rio Grande do Sul foram agrupados, segundo Lemos et alii (1973) in Dias (1985), em:

- solos com horizonte B latossólico;
- solos com horizonte B textural;
- solos B incipientes;
- solos pouco desenvolvidos.

A classificação brasileira de solos, segundo Azolin (1986) prevê, na categoria mais alta, grupamentos de solos baseados nos tipos de horizontes B diagnósticos ou em propriedades que expressem particularidades pedogenéticas, como:

- a) atividade de fração argila;
- b) condições de drenagem;
- c) grau de desenvolvimento;
- d) presença de sais;
- e) mineralogia e
- f) tipo de material de origem.

Na segunda categoria, estão previstas as classes do solo. Cada classe de solo tem uma definição ou um conceito bem preciso e distinto das demais classes, ou por um conjunto de características específicas de cada classe. As classes de solo são identificadas por um nome e por um símbolo específicos e são conceituadas por uma descrição de suas características.

No Quadro 6, estão listados os grupamentos, classes de solos e os respectivos símbolos. Neste quadro, as classes de solos estão relacionadas de acordo com os grupamentos de que fazem parte na categoria mais alta.

Para fins práticos, é interessante a classificação pedológica, pois ela indicará uma série de propriedades geotécnicas que se deve esperar, em função do comportamento de solos semelhantes em áreas geotecnicamente conhecidas. Os indicativos são atividade da argila e a espessura do solo.

**Quadro 6** – Classes de solos  
(Azolin, 1986)

GRUPAMENTOS	CLASSES DE SOLO	SÍMBOLO
Solos com horizonte B latossólico (não hidromórfico)	Latossolo Roxo Latossolo Vermelho-Escuro Latossolo Vermelho-Amarelo Latossolo Amarelo Latossolo Bruno	LR LE LV LA LB
Solos com horizonte B textural e com argila de atividade baixa (não hidromórficos)	Terra Roxa Estruturada Terra Roxa Estruturada Similar Terra Bruna Estruturada Podzólico Vermelho-Amarelo Podzólico Vermelho-Escuro Podzólico Acinzentado	TR TS TB PV PE PA
Solos com horizonte B textural e com argila de atividade alta (não hidromórfica)	Podzólico Bruno-Acinzentado Brunizem Avermelhado Bruno não Cálcico	PB BV
Solos com horizonte B espódico	Podzol Podzol Hidromórfico	P PH
Solos com horizonte B incipiente	Cambissolo	C
Solos com horizonte B textural e com características associadas à umidade	Planossolo Hidromórfico Cinzento	PL HP
Solos halórficos (B sálico ou B nátrico)	Solonchack Solonetz Solodizado	SK SS
Solos vertissolos	Vertissolo	V
Solos hidromórficos	Orgânico Glei Pouco Húmico Glei Húmico Glei Tiomórfico Laterita Hidromórfica	HO HGP HG HT
Solos pouco desenvolvidos	Solo Litólico Rendzina Regossolo	R RZ RE
Solos aluviais	Solo Aluvial	A
Solos arenoquartzosos profundos	Areias Quartzosas	AQ

Convém, para o entendimento de classificação pedológica, acrescentar os conceitos relacionados abaixo.

A **Laterização** ocorre nas regiões tropicais e sub-tropicais úmidas onde o intemperismo é mais intenso. As bases solúveis (Ca, Mg, K, Na) são rapidamente liberadas, o pH se aproxima de 7, aumenta a solubilidade da sílica (empobrecimento em sílica) e diminui a do alumínio. Os argilo-minerais têm uma proporção de sílica/alumínio de 2:1 (esmectita) ou 1:1 (caulinita), apresentando a caulinita como mineral predominante. Pela laterização, tende a ficar 1:1 ou só sesquióxidos de alumínio. Se a drenagem é satisfatória, há intensa oxidação e fixação de ferro. O regolito (saprólito e solo

saprolítico) atinge grande profundidade, o horizonte B torna-se espesso. As características da rocha matriz são anuladas pela intensidade do processo .

**Latossolo** é o termo aplicado a solos de regiões tropicais e equatoriais cujas características predominantes estão associadas com baixos coeficientes sílica/sesquióxidos das frações de argila, reduzida atividade da argila, reduzido teor dos componentes solúveis, elevado grau de estabilidade dos agregados e, talvez, certa cor vermelha.

**Horizonte B incipiente – Bi:** É um horizonte mineral, cujo material sofreu intemperismo relativamente pouco intenso, porém suficiente para causar decomposição parcial com o conseqüente desenvolvimento de cor e/ou produção de argila e/ou desenvolvimento de estrutura. Verifica-se, pois, expressão, seja de croma mais forte, seja matiz mais vermelho do que o horizonte subjacente, textura franco-arenosa ou mais fina, estrutura granular em blocos ou prismática. Quando esse horizonte se apresenta morfológicamente semelhante, mal distinto do B latossólico, a diferença comprova-se pelo não atendimento de qualquer dos requisitos característicos de B latossólico.

**Horizonte B latossólico:** constituído por material mineral em estágio avançado de intemperismo e com pouco expressivo ou nulo acréscimo de argila em proporção ao horizonte A que o antecede no perfil. Em conseqüência, apresenta fração de argila constituída predominantemente de ferro, óxidos de alumínio e minerais de argila do grupo 1:1 (caulinita); baixa capacidade de troca de cátions; virtual inexistência de minerais primários facilmente intemperizáveis e de resquícios da rocha máter e saprolito. Apresenta seqüência de horizontes A, B, E com pouca diferenciação entre os horizontes A e B. Possui textura franco-arenosa ou mais fina com baixos teores de silte e com espessura maior que 50cm.

**Horizonte B textural – Bt:** É um horizonte mineral que se caracteriza por significativo aumento da fração de argila em relação aos horizontes A ou E suprajacente. Uma de suas feições indicadoras é a presença de películas de material coloidal ou indumento (brilho graxo) na superfície das unidades estruturais ou dos poros, revestimentos esses denominados genericamente de cerosidade. Outra feição comum desse tipo de horizonte diagnóstico, quando tem textura argilosa, é a estrutura geralmente em blocos ou mesmo prismática composta de blocos.

A **Hidromorfia** é caracterizada por excesso de umidade. A drenagem é insuficiente quer pelas características do perfil que impossibilita a filtração normal da água, quer pela localização muito baixa da área. Há presença de horizontes “Gley”. São horizontes mosqueados com colorações irregulares. Faixas ou manchas vermelhas, amarelas ou brunas são indicativas de formas oxidadas de ferro e manganês. Misturadas com elas aparecem cores azuis e cinzentas, características dos compostos reduzidos. Este mosqueado é considerado como diagnóstico de solos insuficientemente drenados.

Os planossolos são insuficientemente drenados de terras altas.

### **3.4.3 ATRIBUTOS DIAGNÓSTICOS PRINCIPAIS**

Os principais atributos para identificação dos horizontes integrantes de cada solo, tem significativa importância por se referirem à natureza do solo e têm influência marcante no seu comportamento. Dentre os atributos a serem descritos, alguns são de maior validade discriminante, em razão do que são escolhidos como critério diagnóstico para distinção de solos e estabelecimento de grupamentos. Para alguns desses critérios, não há ainda uma especificação precisa quanto à posição no perfil onde sua manifestação deva se verificar, diante disto apresenta-se os critérios mais utilizados pela maioria de pedólogos em seus trabalhos de levantamento de solos.

Serão descritos os principais atributos diagnósticos encontrados nos solos da área em estudo.

#### **3.4.3.1 Argila de atividade Alta (Ta) e Baixa (Tb)**

Este diagnóstico, refere-se à capacidade de troca de cátions (CTC, valor T) da fração de argila, determinada a pH 7,0 e descontada a contribuição da matéria orgânica. É pertinente ao horizonte diagnóstico B ou alternativamente ao horizonte C, na ausência do B, ou ao A, na ausência do B e C. Considera-se que a argila tem atividade alta quando a CTC for igual ou superior a 24 meq/100g argila (Ta) e atividade baixa (Tb) quando for inferior.

#### **3.4.3.2 Distrofia e Eutrofia**

Propriedades traduzidas pelo estado do solo quanto à saturação por bases. Referem-se à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca de cátions (CTC) determinada a pH 7,0, expressa pela fórmula:

$$V\% = 100 \cdot S/CTC$$

onde :

S = valor de soma de bases =  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$  ;

ou o valor de T, sendo

T = valor S +  $Al^{3+} + H^+$ , constituindo o  $AL^{3+} + H^+$  a acidez extraível a pH 7,0.

A saturação por bases é considerada alta quando o seu valor é igual ou superior a 50% - denominados solos eutróficos - e baixa quando inferior a esse limite – solos denominados distróficos. Para distinção de solos mediante esse critério, é considerada a saturação por bases do horizonte B diagnóstico, ou do horizonte C na ausência daquele ou, ainda, da seção que se estende da superfície até o contato lítico ou litóide, no caso de solos rasos (50cm de espessura).

#### **3.4.3.3 Propriedade Álica Material de Constituição Orgânica de Constituição Mineral**

Refere-se ao estado do solo quanto à saturação da CTC efetiva por alumínio igual ou superior a 50%. Denota a proporção de alumínio trocável em relação à soma de cátions básicos trocáveis. Expressa pela fórmula  $Al^{3+} \% = 100 \cdot Al^{3+} / (Al^{3+} + Al^{3+})$ , constitui critério distintivo em essência antagônico ao estado de eutrofia.

#### **3.4.3.4 Caráter Sódico e Solódico**

São atributos pertinentes ao estado do solo quanto à saturação por sódio. Referem-se à proporção desse cátion retido em relação à capacidade de troca de cátions determinada a pH 7,0. É expresso pela fórmula :

$$\text{Saturação por } Na^+ \% = 100 \cdot Na^+ / CTC,$$

onde CTC é a capacidade de troca de cátions do complexo sortivo e  $Na^+$ , a quantidade nele retida desse cátion.

Segundo os limites especificados (EMBRAPA 1988 a), taxas de saturação por  $Na^+ > 20\%$  caracterizam condição de horizonte ou camadas sódicos; taxas  $< 20\%$  e  $> 8\%$  caracterizam os solódicos.

### **3.4.3.5 Plintita e Petroplintita**

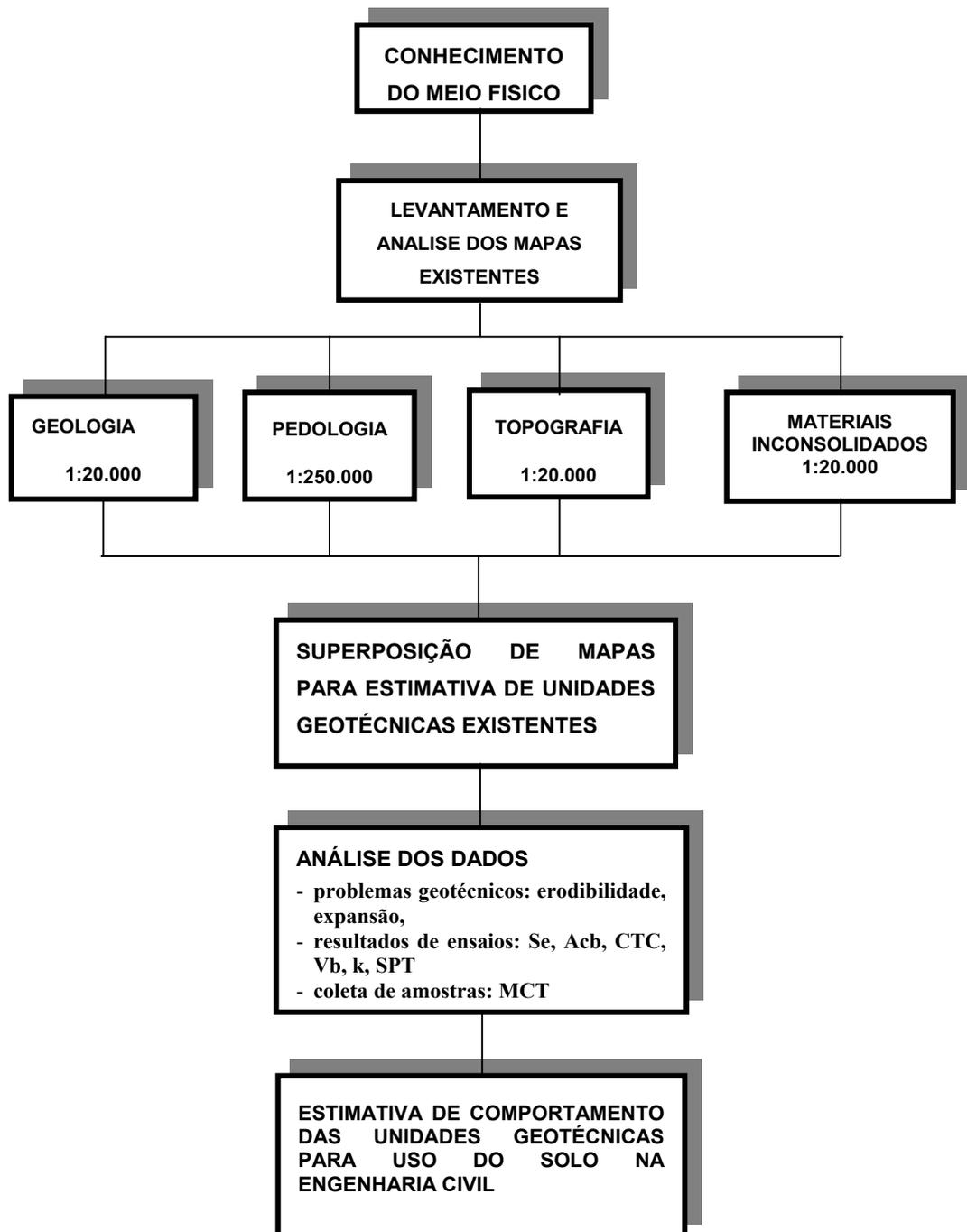
São atributos pertinentes a material brando ou rijo respectivamente.

Plintita: consiste em segregações localizadas de enriquecimento de ferro e, secundariamente, alumínio, de permeio com argila, quartzo ou outras inclusões, pobres em matéria orgânica, compondo material brando ou semibrando, individualizado com porções avermelhadas a vermelho-escuras em horizonte ou camada de solo.

Essas formações de concentração de ferro, ou de alumínio, apresentam consistência firme ou muito firme e pequena dureza, porém tem como propriedade inerente a capacidade de endurecer irreversivelmente quando expostas a repetidas secagens e umidecimentos, transmutando-se por solidificação em petroplintita.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na elaboração do Mapa de Estimativa de Unidades Geotécnicas foi feita em diferentes etapas, conforme pode ser observado no diagrama da Figura 7.



**Figura 7** – Organograma da Metodologia utilizada na elaboração de Estimativas de Unidades Geotécnicas

Foram utilizados os mapas geológico, de materiais inconsolidados e o mapeamento topográfico da região em estudo. Esses mapas foram obtidos através da MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A., referentes a folha A139 da Região Metropolitana de Curitiba em arquivos Arc View na escala 1:20.000. A partir desses mapas, procedeu-se o levantamento da documentação existente e paralelamente foram executados trabalhos de escritório, de campo e de laboratório, os quais permitiram a elaboração do Mapeamento de Estimativa de Unidades Geotécnicas e a Estimativa de Comportamento das Unidades Geotécnicas para o uso do solo na Engenharia Civil.

O mapa pedológico utilizado para caracterização da área, foi obtido através do IBGE-SC, (Levantamento Exploratório do Solos, Folha SG.22 - Curitiba e parte da folha SG.23 - Araucária, no prelo) de 1983 em escala 1:250.000, o qual foi escaneado e feita a sua vetorização através do software RX Spot Light 97. Após criar este novo arquivo, o mesmo foi transformado em CAD overlay, provido de ferramenta, a qual corrigiu a distorção de imagem tornando-se assim georeferenciada. Quando foi realizado o georreferenciamento, a escala do mapa passou automaticamente para a escala 1:1, sendo então convertido em arquivo Arc View.

Quando houve a conversão em arquivo Arc View, foram geradas tabelas e mapas tomando por base o arquivo em Arc View obtido através dos mapas da MINEROPAR (mapas geológico, materiais inconsolidados e planialtimétrico). Os mapas da MINEROPAR, encontravam-se na escala 1:1, porém a base para esta transformação foi de 1:20.000, onde foi possível a transformação do mapa pedológico da escala 1:250.000 para 1:1 procurando-se nesta transformação, um número mínimo de distorções.

O Mapeamento de Estimativa de Unidades Geotécnicas foi obtido através da superposição de dois temas – Geológico e Pedológico, procedimento este de acordo com o metodologia proposta por Davison Dias (1984, 1985, 1987).

As Estimativas de Unidades Geotécnicas obtidas com a superposição dos mapas são designadas com as iniciais maiúsculas da unidade pedológica seguidas de letras minúsculas representativas da rocha de origem do substrato (XYZxyz). Para adequar o mapa pedológico à escala do mapa Geotécnico foi necessário uma redefinição das unidades de solo. Isso foi executado utilizando-se o mapa planialtimétrico, limitando-se os solos hidromórficos à curva de 5m, aproximadamente, em relação ao nível do rio.

Trata-se de um presuposto viável em se tratando de Mapa de Estimativa de Unidades Geotécnicas, que é um mapa, a partir do qual serão feitas expedições a campo para melhor definir os problemas que ocorrem em cada unidade, as propriedades geotécnicas de cada unidade e, por vezes, a redefinição das unidades geotécnicas, em função da inadequação de escalas entre mapas Pedológico e Geológico.

Através dos resultados de ensaios de permeabilidade (k), índice de penetração (SPT), erodibilidade (E), superfície específica (Se), capacidade de troca de cátions (CTC), adsorção de azul de metileno  $A_{cb}$  (por 100g de solo) e adsorção de azul de metileno  $V_b$  (por 100g de argila), obtidos através do Projeto Geotecnia – Região Metropolitana de Curitiba / Mapeamento Geológico-Geotécnico 1996, foi possível analisar os dados para identificar possíveis problemas geotécnicos da área em estudo.

Os resultados dos ensaios obtidos pela adsorção do azul de metileno, ensaio de erodibilidade, penetração e o ensaio de permeabilidade, permitiram uma comparação e respectiva análise de sua relação, verificando sua veracidade e classificando o solo quanto a sua laterização bem como a atividade da argila nele existente, apesar da heterogeneidade da unidade geológica Formação Guabirota, unidade de maior presença na área em estudo.

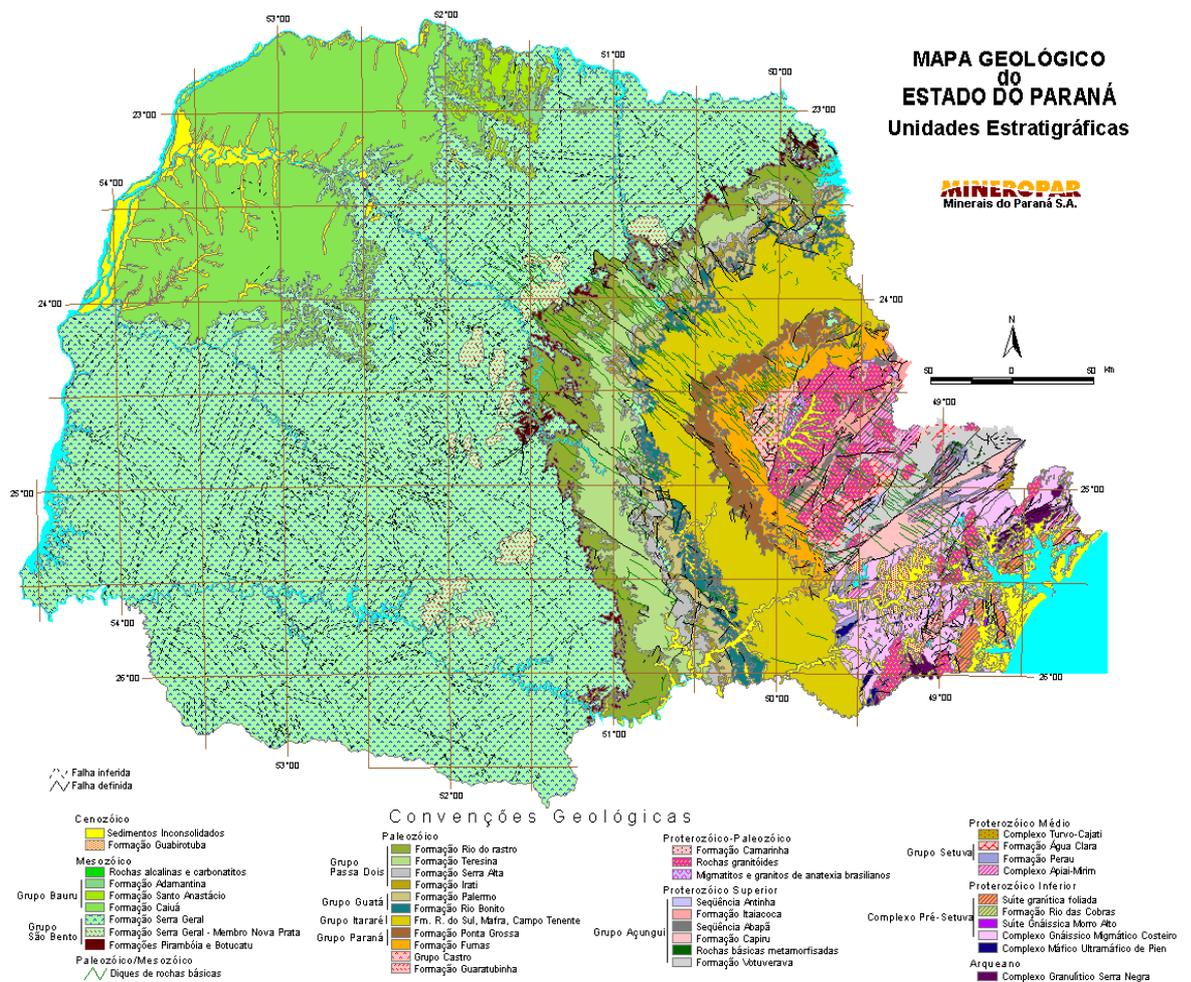
Foram realizados ensaios de MCT em 4 diferentes sub-áreas assim denominadas: Aeroporto, Zoológico, Via Férrea e Colônia Murici, com o objetivo de se obter as diferentes classificações dos solos em relação a Nogami e Villibor (1981) e conseqüentemente seu comportamento para estudos e implantação de obras de engenharia civil. Procurou-se coletar as amostras nos locais em que haviam ensaios de sondagem à percussão (SPT) para obtenção dos perfis típicos de cada área. Para obtenção das amostras em cada uma das 4 sub-áreas acima descritas, foram coletadas 10 diferentes amostras do horizonte B e do horizonte C, totalizando uma coleta de 80 amostras de solos para a realização do ensaio de MCT.

Além do ensaio MCT, foram apresentadas as metodologias e os limites normatizados e padronizados por cada um dos ensaios utilizados neste trabalho.

Após as análises e comparações com os limites específicos para cada tipo de ensaio e resultados obtidos, elaborou-se a estimativa de comportamento das unidades geotécnicas para o uso de solos em obras da engenharia civil.

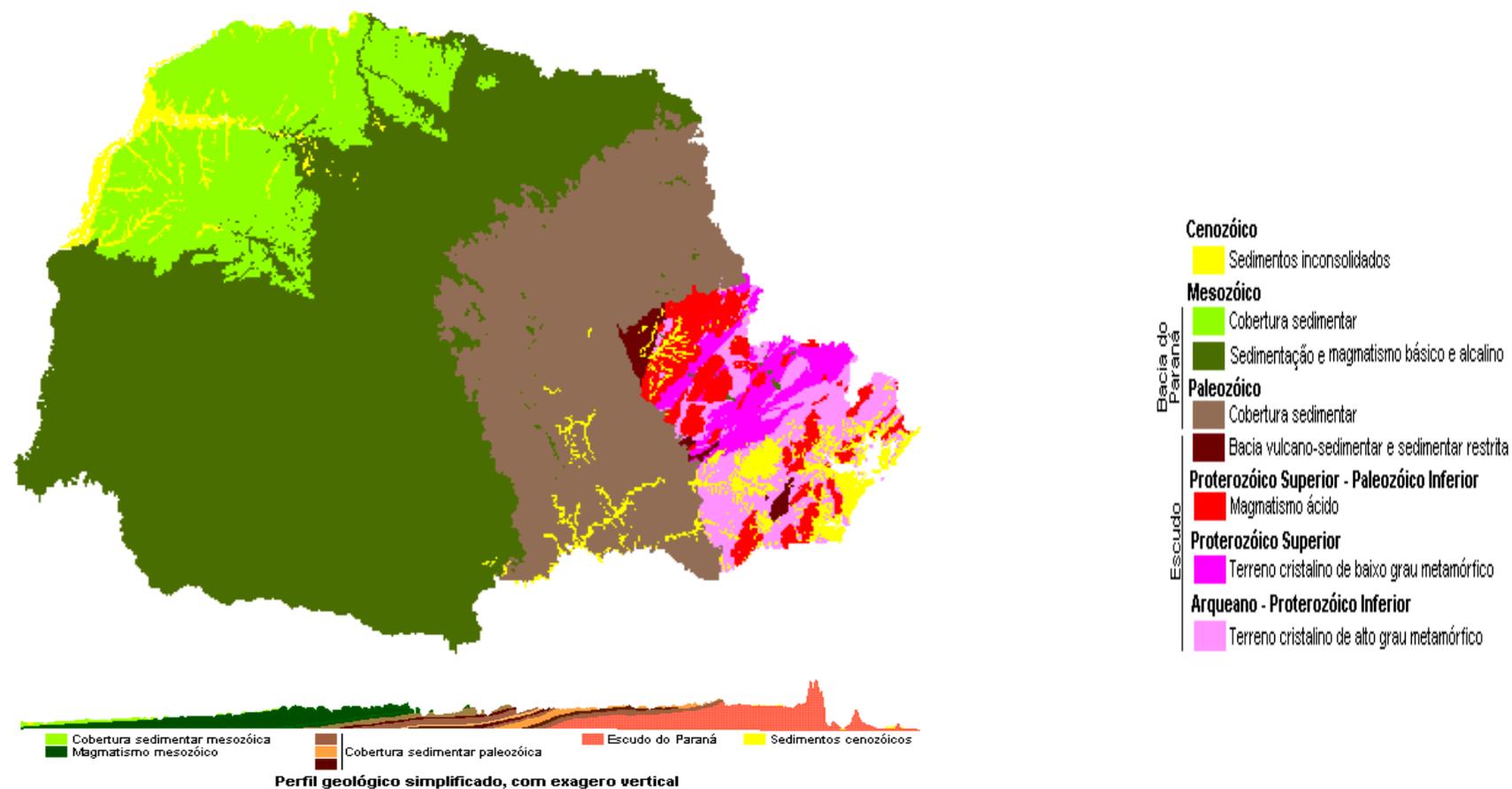
## 5. GEOLOGIA DO ESTADO DO PARANÁ

O registro geológico no Estado do Paraná, ainda que descontínuo, representa um intervalo de idades mais antigas que 2.800 milhões de anos até o presente. O embasamento ou escudo, formado por rochas magmáticas e metamórficas mais antigas que 570 milhões de anos, é recoberto pelas rochas vulcânicas e sedimentares paleozóicas e mesozóicas que constituem a Bacia do Paraná. Esta cobertura foi posteriormente erodida, devido ao soerguimento da crosta continental à leste, expondo o embasamento. Sedimentos recentes com idades inferiores a 1,8 milhões de anos recobrem parcialmente as rochas da Bacia e do Escudo.



**Figura 8 - Mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 1990)**





**Figura 9** - Principais Unidades Geológicas do Estado do Paraná (MINEROPAR, 1990)

### **3.5 BACIA DO PARANÁ**

Compreende o Segundo e o Terceiro Planalto Paranaense, recobrimdo a maior porção do estado. É uma bacia sedimentar, intracratônica ou sinéclise, que evoluiu sobre a Plataforma Sul-Americana, e sua formação teve início a cerca de 400 milhões de anos, no Período Devoniano terminando no Cretáceo. A persistente subsidência na área de formação da bacia, embora de caráter oscilatório, possibilitou a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio, ultrapassando 5.000 metros na porção mais profunda. Sua forma é aproximadamente elíptica, aberta para sudoeste, e cobre uma área da ordem de 1,5 milhão de Km<sup>2</sup>. Apresenta inclinação homoclinal em direção ao oeste, porção mais deprimida. Sua forma superficial côncava deve-se ao soerguimento flexural denominado Arqueamento de Ponta Grossa. As extensas deformações estruturais tais como arcos, flexuras, sinclinais e depressões, posicionadas ao longo das margens da bacia, são classificadas como arqueamentos marginais, arqueamentos interiores e embaciamentos. A consolidação e evolução final do embasamento da Bacia do Paraná se deu no Ciclo Tectono-magmático Brasileiro, entre o Pré-Cambriano Superior e o Eo-Paleozóico. Sua evolução se deu por fases de subsidência e soerguimento com erosão associada, no transcorrer das quais a sedimentação se processou em sub-bacias.

### **3.6 GEOLOGIA DO ESCUDO**

Formado por rochas ígneas e metamórficas com idades variando do Arqueano ao Proterozóico, é localmente recoberto por seqüências vulcano-sedimentares, sedimentares e sedimentos inconsolidados. As rochas mais antigas, de alto grau metamórfico, afloram na porção sudeste, e as de baixo grau na porção norte-noroeste. No Proterozóico e Cambriano, início do Paleozóico, manifestações magmáticas originaram as rochas granitóides. No Mesozóico ocorreram intrusões de rochas carbonatíticas, alcalinas e básicas (Figura 10).

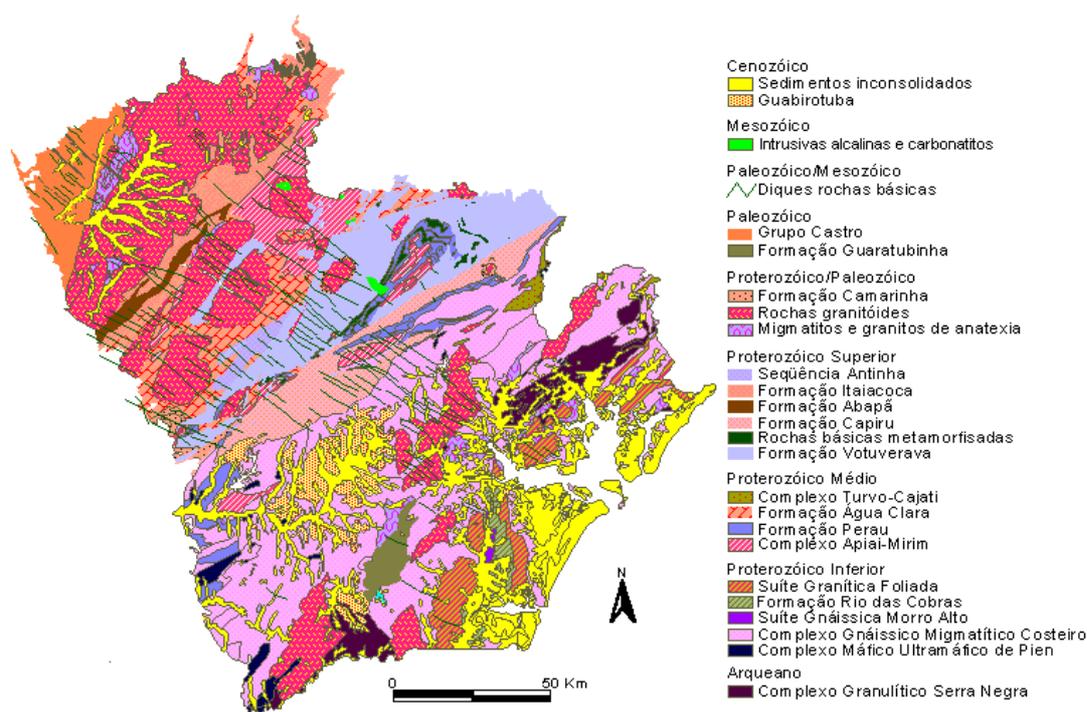


Figura 10 - Unidades Geológicas do Escudo (MINEROPAR, 1990)

### 5.1.1 ORIGEM E AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO DA BACIA DE CURITIBA

A Bacia Sedimentar de Curitiba está localizada na porção centro sul do Primeiro Planalto Paranaense, abrangendo a totalidade de Curitiba e parte dos municípios circunvizinhos de Colombo, Almirante Tamandaré, Pinhais, São José dos Pinhais, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Araucária e Fazenda Rio Grande. Situa-se entre coordenadas oeste de  $49^{\circ} 00'$  e  $49^{\circ} 35'$  e as coordenadas sul de  $25^{\circ} 20'$  e  $25^{\circ} 46'$ , ou entre as UTM W (em km) 650 e 700 e UM S (em km) 7.200 e 7.150. A Bacia de Curitiba é preenchida com duas formações sedimentares resultantes de duas fases diversas de deposição. A mais antiga, de idade controversa (Plio-Pleistocênica) é constituída principalmente por argilitos e arcósios, sedimentos estes que se acham englobados sob a denominação de Formação Guabirotuba (Bigarella e Salamuni, 1961), enquanto que a outra, mais recente compreende os depósitos das planícies de inundação e os baixos terraços (*“fill-terraces”*) que margeiam as várzeas holocênicas.

Processos erosivos, combinados com “bombeamento” do núcleo curitibano do escudo cristalino, abriram um vasto compartimento intermontano de eversão. Uma fase de aplainamento, operante provavelmente durante o terciário médio, aplainava de maneira mais ou menos perfeita o Primeiro Planalto Paranaense, resultando daí a superfície do

Alto Iguaçu (Almeida, 1952), que talvez corresponda a superfície “Sulamericana” de King (1957). Sobressaem nesta superfície, principalmente ao norte de Curitiba, várias elevações de rochas quartzíticas, as quais constituem os hogbacks bem definidos na área de distribuição da série Açungui típica.

A essa etapa, segue-se uma fase erosiva em clima úmido que dissecou mais ou menos profundamente, a superfície original nela esculpindo vales com pouco mais de 100m de amplitude. Ainda nesta fase, originava-se ao longo da principal drenagem (antigo Iguaçu) em vale largo, relativamente raso em relação à sua extensão, acompanhado de vales laterais, com todo o conjunto apresentando um aspecto dendrítico. Esta fase de usura do relevo em clima úmido ou subúmido rompida deixando uma superfície irregular com colina. Hoje, muitas das colinas encontram-se em sub-superfície e quando exumadas, acham-se envolvidas pelos sedimentos da Formação Guabirotuba.

A fase erosiva acima efetivada em clima úmido, foi suspensa por troca climática, mediante a qual o clima passou para um tipo semi-árido com chuvas concentradas em determinadas épocas. Transformava-se assim o aspecto regional, em muitas características. A cobertura vegetal tornou-se inefectiva, expondo a superfície do solo a uma erosão mais intensiva. A concentração das chuvas, em certas épocas, conferia as mesmas um caráter torrencial. Caindo sobre o solo desprotegido, corriam as águas sob a forma de enxurradas em lençóis, arrastando os sedimentos vertente abaixo em direção aos vales e canais de drenagens. Estas enxurradas comportavam-se como verdadeiros rios de lama de densidade elevada, incapazes de selecionar os sedimentos de acordo com a sua carga, a qual era, em sua maior parte, depositada na primeira quebra de gradiente do curso d’água intermitente. Normalmente, isto sucedia ao atingir o fundo da bacia já escavada na fase erosiva anterior acima referida. Este processo conduziu à formação de um conjunto de leques aluviais coalescentes, cujos vestígios são prontamente identificados numa série de cortes ao longo das estradas que atravessam a bacia. A estrutura desses leques em seus vários aspectos, difere daqueles formados em clima úmido, quer seja pelo gradiente do leito dos canais de drenagem, quer pela constituição petrográfica dos seus depósitos arenáceos ou então, pela associação litológica em seu conjunto. As circunstâncias da deposição da Formação Guabirotuba, não encontram similaridade com os atuais fenômenos de sedimentação, que se processam nas extensas várzeas da Bacia de Curitiba, sendo tal fato verificado tanto em

relação à sua estrutura, quanto a sua composição petrográfica. Constitui igualmente importante aspecto diferenciativo ambiental, a presença freqüente de camadas ricas em detritos vegetais nas várzeas atuais, as quais faltam por completo entre os sedimentos da Formação Guabirota.

Quando a corrente, em clima semi-árido, perde a primeira parte de sua carga devido especialmente à mudança de gradiente, permanece ainda em suspensão grande parte de partículas argilo-sílticas, havendo ainda transporte de grãos mais grosseiros em virtude da densidade e da torrencialidade. Esses sedimentos são levados para as depressões do terreno, onde se depositam num ambiente “*playa-lacustre*”. Eram depositadas desta forma as seções relativamente espessas de argilito, tão comuns em determinados locais da bacia. Estes argilitos possuem em sua massa, freqüentes grãos de quartzo e feldspato com até 1 ou 2 milímetros de diâmetro. Tais tipos de sedimentos também não existem em conjunto com os depósitos formados pelos processos de inundação das várzeas recentes. As águas de inundação não possuem competência suficiente para arrastar grãos daqueles diâmetros e depositá-los juntamente com os sedimentos mais finos. Este seria mais um ponto diferenciativo dos ambientes recente e antigo da Bacia de Curitiba.

Um argumento aparentemente a favor do ambiente de planície de inundação (várzea) para os depósitos da Formação Guabirota é o elevado teor (65 a 70%) de clásticos finos, isto é, silte e argila, que talvez não deveria ser tão alto durante de vigência de um clima semi-árido. Deve-se considerar, contudo, que a fase de clima úmido anterior ao clima semi-árido, teria elaborado um regolito relativamente espesso, o qual em sua composição granulométrica não diferencia em muito de regolito atual. Análises deste material mostram, em certas amostras, até 64% de argila, enquanto que em outras amostras até 70% de silte. Em conjunto, ambas granulações quase sempre ultrapassam 60 a 70% dos clásticos, atingindo mesmos a mais de 90% em alguns casos.

Esse tipo de material teria constituído a fonte inicial dos sedimentos, que preenchiam a bacia durante a época de deposição da Formação Guabirota. O regolito, dada a escassa vegetação que o recobria e dado o sistema de enxurradas, era facilmente removido para as partes baixas da bacia. Assim o regolito que capeava as ondulações interna e periféricas da bacia, que constituíam a superfície irregular Pré-Formação Guabirota e aquele existente na superfície Alto Iguaçu, sofreram rápida erosão e transporte. Em muitos dos contatos conhecidos, entre o Cristalino e a Formação

Guabirota, pode-se verificar o fato de o regolito ter sido totalmente varrido antes que existissem condições locais para permanência de sedimentos.

Vestígios de regolito antigo (pré Formação Guabirota), são ainda desconhecidos no interior da bacia, isto é, onde as seções são relativamente espessas. Ele pode, contudo, ser verificado nas porções periféricas da bacia, em níveis elevados. Nestas áreas, é em geral difícil distinguir entre um depósito de pequeno transporte, os paleo-pavimentos quaternários e o regolito recente.

Dessa forma, grande parte dos sedimentos que constituem a Formação Guabirota, foram originados a partir da decomposição química, em clima úmido das rochas cristalinas pré-cambrianas do primeiro planalto do Paraná, transportadas e depositadas em condições climáticas semi-áridas. Este fato explica, em grande parte, a composição textural da Formação Guabirota, bem como a frequência reduzida de depósitos rudáceos na mesma. Estes são predominantemente constituídos por seixos angulares e sub-angulares de quartzo e quartzitos. Os seixos de gnaisses são, na maioria dos casos, pouco frequentes e ocorrem apenas em certos afloramentos representativos de canais fluviais.

A natureza caulínica dos argilitos da Formação Guabirota vem corroborar o tipo climático úmido vigente na elaboração do regolito que serviu de fonte para os sedimentos da bacia.

Após a remoção da parte mais alterada do regolito, encontrava-se disponível grande quantidade de cristais de feldspato em graus diversos de alteração química, os quais eram arrastados juntamente com a massa restante de detritos. Dado o caráter hidrodinâmico do fluido transportado (suspensão argilosa densa) os grãos de feldspatos, embora alternados, não eram totalmente destruídos em virtude das propriedades lubrificantes do meio de transportes. Caso este fosse diferente, os cristais caolinizados de feldspatos seriam possivelmente destruídos em sua maioria. A renovação da parte mais decomposta do regolito deixava exposta à erosão a rocha parcialmente alterada, da qual eram facilmente removidas partículas de feldspatos e quartzo, agora através da intervenção mais ampla dos processos de desagregação mecânica.

Essa, é talvez, a explicação mais razoável para a frequência dos grãos de feldspatos dentro dos sedimentos finos da Formação Guabirota, bem como para os inúmeros canais de seção lenticular, preenchidos com arcósios ou areias arcósias.

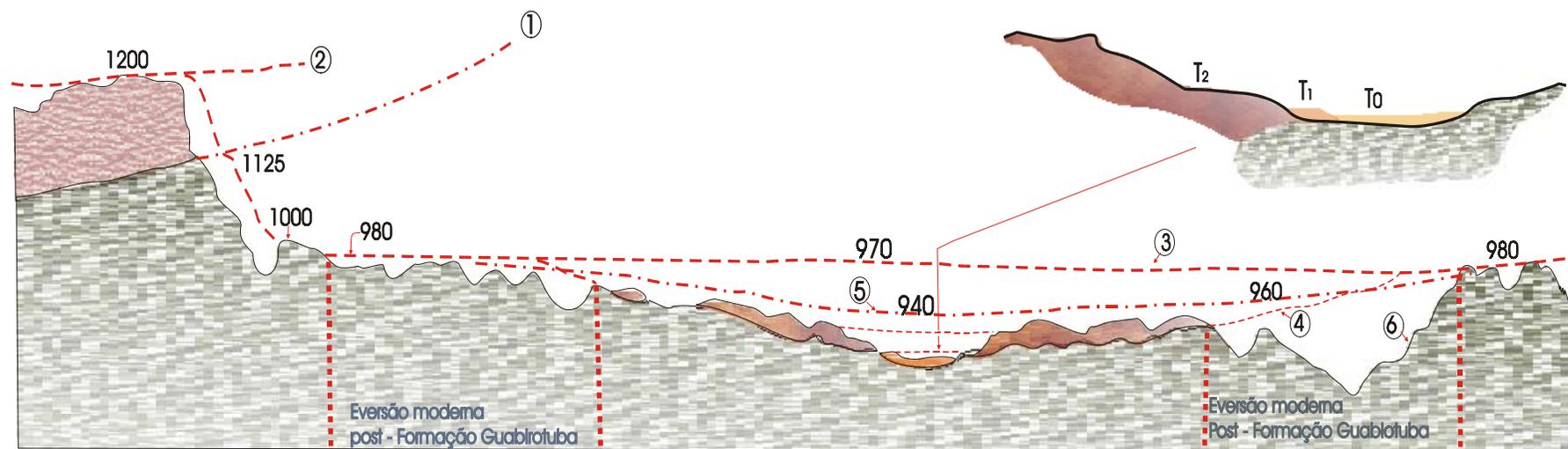
Os processos erosivos em clima semi-árido contribuíram para o rápido rebaixamento da superfície dentro da própria bacia, bem como nos seus flancos e principalmente da superfície Alto Iguaçu que na área de Curitiba, deveria estar a cerca de 980m de altitude. O rebaixamento desta última superfície acarretou a formação de um pediplano circundante a bacia, em forma anular alargada e irregular, inclinado para a zona central da mesma. Este pediplano, em sua fase adiantada de elaboração, era formado por uma faixa de pedimento rochoso constando as rochas cristalinas, que continuava para um pedimento dentrítico em direção ao centro da bacia. Em muito pontos da periferia pode ser notada, claramente, a continuidade entre o pedimento rochoso e o dentrítico. A superfície do pediplano é aqui designada Superfície de Curitiba e constitui em parte, em rebaixamento da superfície Alto Iguaçu completada de um lado pelo pedimento dentrítico que preenche a Bacia de Curitiba.

Vários níveis de cotas diferentes, previamente assinalados para a Bacia de Curitiba (Bigarella & Salamuni 1959, p. 10), parecem em muitos casos constituir restos de uma superfície de agradação e estar em continuidade, dado o seu gradiente relativamente elevado comparativamente com a do pediplano. Outros referem-se a terraços intermediários, situados em várias alturas e resultantes das várias fases da dissecação Post-Guabirotuba. Com o fecho da fase de pedimentação e deposição em leques aluviais e em “bajadas” coalescentes na época Guabirotuba, voltou a vigorar um clima úmido, que passou a agir sobre a área já afetada pela ascensão epirogênica regional. A drenagem que era predominantemente endorreica passa, nesta nova fase, a se fazer ao longo de canais, agora com um retorno a condições de drenagem exorreica. Durante esta fase úmida, mais acentuada, a área em questão foi profundamente dissecada, tendo os rios, que sulcavam a bacia, entalhado abaixo do nível da Superfície Pré-Guabirotuba, isto é, em cota inferior à da base dos depósitos Guabirotuba.

Em pesquisas levadas a efeito juntamente com Ab'Saber (1960), Bigarella & Salamuni (1959), verificou-se que esta fase de entalhamento esculpiu níveis intermediários, originando terraços com seixos, que representam fases secas e torrenciais talvez da parte final do pleistoceno ao holoceno, ainda pouco conhecidas.

Sobre a superfície subjacente aos depósitos das várzeas, ocorre uma camada de espessura variável de seixos (poucos decímetros até mais de um metro) predominantemente

de quartzo e quartzitos, sub-angulares a sub-arredondados, os quais são encontrados nas perfurações realizadas nas várzeas nas partes baixas da cidade de Curitiba (Figura 11).



- LEGENDA**
- |         |                                   |
|---------|-----------------------------------|
| 1       | Superfície Pré-devoniana          |
| 2       | Superfície do Purunã              |
| 3       | Superfície do Alto-Iguaçu         |
| 4       | Superfície pré-Formação Guabirota |
| 5       | Superfície de Curitiba            |
| 6       | Superfície atual                  |
| T0      | Várzea recente                    |
| T1 e T2 | Baixos Terraços                   |

**Figura 11** – Superfícies aplainadas e terraços na região de Curitiba  
(Ab'Saber, Bigarella & Salamuni, 1961)

## 6. UNIDADES GEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área mapeada situa-se no Primeiro Planalto Paranaense, sobre sedimentos aluvionares recentes, sedimentos Terciário-Quaternários da Bacia de Curitiba e rochas do embasamento gnáissico-migmatítico (Figura 12).

As relações estratigráficas podem ser observadas no Quadro 7.

**Quadro 7** –Relações estratigráficas da Bacia de Curitiba  
(Salazar Jr, Oscar et al, 1996)

<b>ERA GEOLÓGICA</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>ÉPOCA</b>	<b>UNIDADE GEOLÓGICA</b>
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO PLEISTOCENO	Aluviões e Terraços aluvionares Formação Guabirota
MESOZÓICO	JURÁSSICO- CRETÁCEO		Intrusivas Básicas
PROTEROZÓICO INDIVISO	PRÉ-CAMBRIANO		Complexo Gnáissico-Migmatítico

### 6.1 ALUVIÕES RECENTES

A unidade de sedimentos aluvionares recentes está representada por depósitos assentados na maior parte sobre o embasamento gnássico-migmatítico, com maior expressão na área de estudo desta dissertação, localizada ao longo do Rio Iguaçu. Os sedimentos são compostos de cascalhos arenosos e areia de granulometria média a grossa, com seixos subarredondados e subangulosos de quartzo, gradando para areia, areia com matriz argilosa e argila plástica cinza no topo. Os depósitos aluvionares são capeados por solos hidromórficos com espessura de cerca de 1,00m. A espessura média total atinge 5,00m. Estes sedimentos são objeto de intensa exploração para atender a demanda da indústria da construção civil.

### 6.2 TERRAÇOS ALUVIONARES

Os terraços aluvionares são depósitos de origem fluvial formados em épocas mais antigas que a de deposição dos rios atuais da região. Normalmente são encontrados entre as planícies aluviais atuais e as encostas, principalmente ao longo do Rio Iguaçu, Belém e Pequeno. Por vezes são encontrados nas cabeceiras das drenagens menores, preenchendo antigos canais escavados no embasamento gnáissico-migmatítico. Nesta situação muitas vezes se confundem com os sedimentos da Formação Guabirota.

**Figura 12 - Mapa Geológico da Prancha A-139**

Os depósitos em terraços são formados basicamente por lentes de argilas cinza esbranquiçada, intercaladas com níveis de areia de granulação fina a média e subordinados níveis de cascalhos com seixos de quartzo. São comuns gradações de granulações decrescentes, desde cascalhos na base até argilas no topo. São recobertos por solos orgânicos argilosos, com espessuras variando de 1,00 a 3,00m.

### **6.3 FORMAÇÃO GUABIROTUBA**

A Formação Guabirota é integrante da Bacia de Curitiba, tal qual outras formações e unidades como: a Formação Tinguis, os sedimentos colúvio-aluvionares depositados pelo rio Iguaçu e seus tributários.

A Formação Guabirota é formada sobre um embasamento de rochas gnáissico-migmatíticas (embasamento cristalino ou escudo) sob condições de clima variando do semi-árido ao úmido, provavelmente durante o Pleistoceno (Bigarella & Salamuni, 1958; Bigarella, Salamuni & Ab'Saber, 1961). É necessário enfatizar que o embasamento cristalino é de importância fundamental na região, tanto do ponto de vista geológico como geomorfológico e, igualmente, por ter sido a fonte primordial dos sedimentos que compreendem as seqüências sotopostas. Isto posto, é de se esperar uma heterogeneidade litológica na área aqui considerada, com rochas diversificadas. De certa forma, isto se espelha na própria Formação Guabirota, nos seus constituintes sedimentares.

No decorrer do mapeamento geotécnico do Alto Iguaçu (Felipe et al., 1964) a Formação Guabirota foi dividida em duas subunidades:

- A primeira apresenta sedimentos argilosos de cor cinza, com porcentagem variável de grânulos de quartzo e feldspato, com ocorrências subordinadas de níveis de arcósios. Esta subunidade está geralmente relacionada com níveis topográficos inferiores.
- A segunda subunidade é composta por sedimentos argilosos com freqüentes intercalações de arcósios. Estas intercalações ocorrem na escala centimétrica. Normalmente esta subunidade é encontrada nos níveis topográficos mais elevados. A espessura desta subunidade pode variar de 2,00 a 10,00m.

A espessura da Formação Guabirota é irregular variando de 1,00m até o máximo de 80m. As mais espessas estão situadas na região central e centro-sudeste onde situam-se

as depressões que formam a calha principal da mesma, sendo as menores espessuras encontradas nas bordas. Pode-se dizer que sua espessura média é de 40,0 m.

Na área mapeada, a Formação Guabirota está representada por sedimentos argilosos de cor cinza, contendo grãos de quartzo e feldspato, intercaladas com lentes e camadas de areias arcóianas e arcósios de granulação média a grossa, mal selecionados. Localmente ocorrem brechas sedimentares com fragmentos de gnaisses, granitos e quartzitos, seixos e blocos, junto ao contato com as rochas do complexo subjacente.

### **6.3.1 TIPOS LITOLÓGICOS DA FORMAÇÃO GUABIROTA**

Os depósitos sedimentares da Formação Guabirota assentam discordantemente sobre o embasamento sendo composto predominantemente por argilitos e siltitos esverdeados que gradam para termos mais grosseiros de forma interdigitada ou abrupta, dependendo das características estratigráficas e estruturais locais. Há intercalações de areias arcóianas, arcósios e, mais raramente de conglomerados polimícticos com predominância de seixos de quartzo. Também observa-se siltitos esparsos, além de freqüente ocorrência de caliche, que podem caracterizar impregnações de carbonato de cálcio em quantidades subsidiárias esparsa no depósitos argilosos.

Segundo Fortin (1989), há abundância de carbonatos calcícticos e dolomíticos de cima para baixo nos horizontes de acumulação, enquanto que para os cristais de lantanita, a abundância se dá de forma inversa, sugerindo processos opostos de geração dos carbonatos, que guardam entre si um estreito vínculo. As argilas são os componentes mais abundantes da Formação Guabirota, preferencialmente acumulados em direção ao interior da bacia. Os fácies argilosos típicos apresentam variações de tonalidades do cinza. A natureza mineralógica é mista: esmectita, ilita e caulinita. Em superfície, os sedimentos de características preferencialmente caulínicas assumem coloração avermelhada, atribuída à presença de óxidos e hidróxidos de ferro.

Estão sempre presentes na massa argilosa, grãos de composição similar aos encontrados nas fácies arcóianas. Os resultados analíticos obtidos por Fortin *op.cit.*, evidenciam a evolução química da fração argilosa em direção ao horizonte superficial (avermelhado), traduzida por diminuição progressiva da relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  e dos teores de MgO e CaO.

Os tipos litológicos da Formação Guabirota são detalhados a seguir:

### **6.3.1.1 Argilitos e lamitos**

Na periferia da bacia os argilitos são pouco freqüentes enquanto que no centro ocorrem suas maiores espessuras. Geralmente apresentam-se bem compactados e com texturas predominantemente maciças apresentando coloração cinza-esverdeada a esbranquiçada, granulação muito fina, com grãos de areia esparsos em sua massa. Em alguns locais observa-se a individualização de diferentes camadas. Quando alterados, os argilitos freqüentemente apresentam colorações rosadas (mosqueadas) a ocre, correspondente a uma laterização incipiente ou uma plintificação. Tais processos lateríticos demonstram mudanças no regime climático durante a evolução da Bacia de Curitiba. Nos argilitos da seção tipo Formação Guabirota foram observados horizontes lateríticos em espessura total de 0,5m, com crosta ferruginosa limonítica de espessura média de 5 cm.

Os argilitos raramente apresentam níveis estratificados, mas quando evidenciados são decorrentes da intercalação de camadas um pouco mais silticas de pequenas espessuras, ou seja, leitões centimétricos a milimétricos.

### **6.3.1.2 Arcósios e areias arcósianas**

Formam depósitos pouco consolidados, compostos por clastos de quartzo, quartzito e feldspatos, estes geralmente caolinizados. A granulometria é variada, desde submilimétrica até centimétrica. São geralmente angulares, atestando pouco retalhamento. A matriz é areno-siltosa e por vezes, argilosa mas, no geral são os próprios clastos muito finos e finos que compõem a matriz dos arcósios que possuem entre 20% e 40% de feldspatos (Becker, 1982). Apresentam cores variegadas havendo predominância de tons avermelhados até tons esbranquiçados quando a rocha está alterada. Os arcósios são mal selecionados, variando desde granulação fina a grosseira, sendo que os termos mais finos apresentam melhor seleção. A matriz geralmente é argilosa de coloração cinza. Detalhe importante é que a granulometria é variável de média a fina, no centro e sudeste da bacia ao passo que as mais grosseiras são as sub-classes texturais mais abundantes nas partes nordeste e leste da bacia. As areias grosseiras são as sub-classes texturais mais abundantes entre o nordeste e o centro da bacia. Nestas areias, as principais estruturas desenvolvidas são lentes descontínuas.

As areias-arcósianas estão presentes em toda a bacia, mostrando extensões laterais variáveis entre decimétricas a hectométricas enquanto que a espessura é bastante irregular. Variações destas camadas arcósianas são areia inconsolidadas, compostas

exclusivamente de grãos de quartzo e matriz siltosa. São depósitos melhor selecionados e trabalhados do que os arcósios, mas são secundários, de pequena espessura e lenticulares.

#### **6.3.1.3 Depósitos conglomeráticos (rudáceos)**

Os depósitos rudáceos basais são compostos geralmente por seixos com matriz argilosa. Na porção sudoeste e oeste da bacia os seixos ou grãos são em sua maioria de quartzo e quartzitos, enquanto que na porção nordeste, leste e sudeste os cascalhos são formados por quartzo e feldspatos alterados, além de fragmentos rochosos, tais como granitos, migmatitos e diabásios, além de camadas ferruginosas. Em exames mais detalhados, observa-se que a granulometria é irregular, contendo seixos e grânulos de tamanhos variáveis desde 1 ou 2 cm até 5 cm, com formas alongadas ou subesféricas, podendo ser angulosos ou não. Em afloramentos na borda da bacia, foram encontrados seixos com até 10 cm . Não há um parâmetro para quantificar o retrabalhamento destes clastos, havendo casos onde há material bastante arredondado e esfericidade bem evidenciadas e outros onde predomina a angulosidade e a baixa esfericidade do material. Os locais onde ocorrem os depósitos rudáceos representam provavelmente a porção proximal das área-fonte, localizadas principalmente a leste e sul-sudeste onde ocorrem as camadas mais espessas, mas também em menor grau, a oeste e noroeste com depósitos menos espessos.

#### **6.3.1.4 Depósitos carbonáticos (ou de caliche)**

Estes depósitos, identificados como caliches, apresentam-se dispersos, lateralmente, em profundidades rasas na Formação Guabirota. São bancos descontínuos, tabulares, com extensões laterais métricas de coloração esbranquiçada a creme, com espessuras centimétricas a métricas, geralmente maciças, mas podendo ocorrer de forma foliada. Dentro das areias arcóianas, a impregnação pelos carbonatos encontra-se na forma de cimento friável e descontínuo. Além dos caliches, ocorrem vênulas, correspondentes a pequenas fraturas preenchidas por calcretes, aleatoriamente distribuídas. Estas foram observadas geralmente entre as camadas de caliches e podem ser produto de processos pedogenéticos recentes, Também foram observadas algumas vênulas com recristalização de sílica, ou silcretes, em afloramentos onde está exposto o contato entre a Formação Guabirota e o embasamento. Estes silcretes preenchem fraturas de origem tectônica, verticais, cuja direção é NE-SW. As estratificações de caliche

caracterizam depósitos que seguem o padrão das camadas arcossianas que se apresentam lenticulares em grande escala, mas com aspectos tabulares localmente.

### 6.3.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL NA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Os processos de deformação observados na Bacia de Curitiba, são aqueles concernentes a um relativamente intenso fraturamento dos seus pacotes sedimentares. Tais padrões de estruturas apresentam-se com escalas diferenciadas desde centimétricas até filométricas. Os principais rios que cortam esta unidade estão encaixados nestas fraturas, havendo um nítido controle estrutural de seus cursos.

As fraturas são atribuídas a um cisalhamento rúptil, com altos e médios ângulos de mergulho de seus planos e com padrões de direcionamento variável para NE-SW, N-S, E-W e NW-SE (Salamuni et al.,1998), Figura 13. Estes fraturamentos foram produzidos por eixos de tensão tectônica aplicados nesta região e se relacionam a uma evolução maior desta porção do continente sul-americano. Tais eixos de tensão variaram no tempo geológico. A princípio havia um ambiente distensional local que proporcionou a abertura da calha da bacia. Posteriormente há mudança dos eixos de tensão e estes passam, a ser compressivos, gerando uma série de feições estruturais ligadas ao fraturamento.

Os sistemas de falhas, com orientação NE-SW, mais importante no contexto da formação da bacia sedimentar, concentra-se nas suas bordas e no seu embasamento. As fraturas NW-SE condicionam a intrusão de diques de diabásio, de idade Mesozóica (Formação Serra Geral), que se encontram encobertos pelos sedimentos na área da Bacia de Curitiba.

Quanto ao nível do lençol freático, apresenta-se um resumo de profundidade do mesmo, com medidas efetuadas em setembro de 1995, Quadro 8. No caso dos depósitos aluvionares não foi obtido um número suficiente de medidas, adotando-se o valor de 0,90m obtido no levantamento do Alto Iguaçu (Felipe et al.,1994) .

**Quadro 8** – Localização do nível freático do Alto Iguaçu

<b>Unidade Geológica</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Nº de Medidas</b>
Aluviões	0,90	-
Terraços Aluvionares	1,90	17
Formação Guabirota	3,80	150
Complexo gnáisico-migmatítico	6,90	156

#### **6.4 INTRUSIVAS BÁSICAS**

Os diques básicos ocorrem preenchendo fraturas e falhas de direção SE-NW, relacionados ao arqueamento de Ponta Grossa, com espessura variando de 10 a 40 m. São doleritos de cor cinza escura a preta, recobertos por solos lateríticos de cor vermelha, muitas vezes com blocos de rocha preservados em meio ao solo.

#### **6.5 COMPLEXO GNAISSE-MIGMATITO**

O Complexo Gnáissico-migmatítico apresenta migmatitos estromáticos e oftálmicos com paleossoma de biotita gnaisses, biotita-hornblenda gnaisses e hornblenda gnaisses, com intercalação subordinadas de quartzitos, metamáficas e metaultramáficas, localmente com veios de quartzo e zonas de alteração hidrotermal. Em geral são rochas bandadas, de coloração cinza esbranquiçada a cinza escura ou rósea, com bandas de espessura centimétrica a métrica.

**Figura 13 - Mapa Geológico da Bacia Sedimentar de Curitiba**

## 7. MATERIAS INCONSOLIDADOS DA ÁREA DE ESTUDO

Além dos solos no sentido pedológico, são materiais inconsolidados os sedimentos aluvionares, de terraços, sedimentos da Formação Guabirotuba e saprólitos de gnaisses-migmatitos, excluindo-se apenas as ocorrências de rocha dura.

O mapa de materiais inconsolidados consiste na síntese das informações do processo de origem dos materiais, a rocha original, a textura, as características do material inconsolidado (cor, argilo-mineral, espessura, nível de alteração e presença de matacões) e o perfil típico de alteração para cada unidade litológica descrita.

Foram separados cinco principais tipos superficiais de materiais inconsolidados, a saber: solos hidromórficos sobre aluviões e terraços, solos residuais da Formação Guabirotuba, solos residuais, solos transportados e solos com matacões aflorantes sobre os gnaisses-migmatitos.

Para a descrição dos materiais inconsolidados adotou-se a seguinte classificação:

- a) **Solo Hidromórfico:** compreende os solos mal drenados ou muito mal drenados, regidos pela influência da água em função do relevo e do material originário. Estes solos são representados pelos aluviões e terraços da bacia do Rio Iguaçu e outros cursos d'água principais.
- b) **Solo Transportado: (colúvio):** solo ou fragmentos rochosos transportados ao longo das encostas de morros, devido a ação combinada da gravidade e da água. Possui características diferentes das rochas subjacentes.
- c) **Solo Residual Maduro:** desenvolvido no local da alteração da rocha (in situ), evoluído pedogeneticamente (horizonte B, Latossolo), com laterização, concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio, lixiviação de bases, eventualmente formação de crostas duras.
- d) **Solo Residual Jovem :** desenvolvido no local da alteração da rocha (in situ), pouco evoluído, início do processo pedogenético, com estrutura incipiente da rocha original, eventualmente argilas expansivas.
- e) **Saprólito:** primeiro nível de alteração do solo a partir da rocha, máximo grau de alteração da rocha, heterogêneo, estrutura original da rocha

preservada, podendo ou não conter blocos e matacões de rocha alterada ou são.

## **7.1 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

### **7.1.1 SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE ALUVIÕES**

Unidade de grande expressão na região estudada, cujo perfil típico compreende do topo para a base:

- Solo orgânico de cor negra

Este solo apresenta-se por vezes turfoso, textura argilosa, poroso e permeabilidade baixa. A espessura varia de 0,5m a 2,0m, com resistência a penetração muito baixa.

- Solo cinza claro a negro

Apresenta textura argilosa, poroso, plástico, permeabilidade muito baixa ( $10^{-6}$  cm/s), tendo como argilo-mineral predominante a caulinita (1:1) e em proporções menores a montmorilonita e ilita (2:1). Os ensaios de adsorção do azul de metileno mostram valores médios  $V_b = 2,42$  g/100g, prevendo um comportamento não laterítico. Os valores de  $A_{cb} = 5,45$  g/100g e de superfície específica  $133$  m<sup>2</sup> /g indicam uma atividade média a alta para esta argila. A erodibilidade testada em laboratório é alta, apresentando valores para E menores que 1. Sua espessura varia de 1,0 m a 5,0 m, com resistência à penetração baixa a muito baixa.

- Sotopostos e interdigitados

Com argila acima referida encontram-se corpos lenticulares de areia com espessura variando de 1,0 m a 5,0 m, apresentando granulometria fina a muito grossa, contendo seixos e blocos de quartzo. A porcentagem de finos é muito variável, normalmente fofa, por vezes compacta. Via de regra estas lentes de areia formam a base da unidade. Resistência à penetração baixa. A espessura média desta unidade é de 5,0 m e recobre saprólitos (rocha alterada de gnaiss-migmatito) e por vezes argilas da Formação Guabirota. O nível de água é aflorante a subaflorante (0,5 m a 1,0 m).

### 7.1.2 SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE TERRAÇOS

Ocorrem normalmente na periferia dos aluviões. Estão topograficamente situados pouco acima do nível dos aluviões e o contato é gradativo (suave). O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo de cor negra via de regra orgânico, argiloso plástico, poroso, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s), sendo o argilo-mineral predominante a caulinita (1:1); a espessura varia de 1,0 a 2,0 m, com resistência a penetração baixa. Os ensaios de adsorção de azul de metileno indicam valores médios de  $V_b = 1,0\text{g}/100\text{g}$ , prevendo-se um comportamento laterítico, os valores  $A_{cb} = 2,21\text{g}/100\text{g}$  e da superfície específica ( $S_e$ )  $54,1\text{ m}^2/\text{g}$  indicam uma atividade muito baixa para esta argila.
- Sotoposto a este solo, encontra-se argila de cor cinza escura a clara, com textura predominantemente argilosa, por vezes média a siltosa. É uma argila plástica, porosa e com permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s). O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1), secundariamente a montmorilonita e illita (2:1); com espessura variando de 0,5 a 3,0 m e resistência à penetração muito baixa a baixa. Os ensaios de adsorção de azul de metileno indicam valores médios  $V_b = 1,66\text{g}/100\text{g}$ , prevendo-se um comportamento não laterítico. Os  $A_{cb} = 4,3\text{g}/100\text{g}$  e da superfície específica ( $S_e$ )  $105,6\text{ m}^2/\text{g}$ , indicam uma baixa atividade. A base desta unidade é formada por um pavimento de sedimentos rudáceos mal selecionados, incluindo desde areia grossa, cascalho (seixos de rocha e quartzo) até argila com espessura variando de 0,5 a 1,0m. A erodibilidade em taludes não é elevada, conforme observado em campo, sendo que os testes de laboratório apresentam valores de  $E$  maiores que 1, indicando uma baixa potencialidade a erosão. O nível d'água nesta unidade varia de 0,5 m a 2,0 m. Esta unidade está assentada sobre saprólitos gnáissico-migmatíticos (rocha alterada) ou sobre os sedimentos da Formação Guabiro tuba.

### 7.1.3 SOLOS RESIDUAIS DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Esta unidade tem grande expressão na área mapeada, sendo constituída predominantemente de solos residuais (maduro – horizonte B ou jovem – Horizonte C) com inclusões de solos transportados (colúvio). Não foram delimitados nos mapas devido a pequena espessura e falta de continuidade lateral. Estes solos são facilmente identificados no campo, pela existência de um nível de seixos de quartzo entre ambos (“*stone line*”). Além disso, o solo transportado (colúvio) apresenta cores escuras (preto,

marrom escuro) e espessuras centimétricas a métricas e o solo residual (maduro), cor predominantemente vermelha e espessuras que variam de 0,5 m até 3,0 m, conforme a posição na vertente (normalmente são rasos na meia encosta). Níveis de arcósios lenticulares dispersos em diversas profundidades são comuns nessa unidade. O perfil típico desta unidade compreende (Figura 15):

- Solo transportado (colúvio), argilo-arenoso, poroso, de cor marrom escuro a negro, com espessura centimétrica a métrica e baixa resistência à penetração. Os valores  $V_b = 0,99 \text{ g}/100 \text{ g}$ , indicam um comportamento laterítico e os valores  $A_{cb} = 3,0 \text{ g}/100\text{g}$  e da superfície específica (Se)  $73,4 \text{ m}^2/\text{g}$  indicam uma baixa atividade desta argila.
- Linha de seixos de quartzo com espessura centimétrica a decimétrica (limite entre solo transportado e residual). De acordo com Nogami & Villibor (1995), a linha de seixos indica o limite entre solo transportado e o solo residual e, de maneira geral, significa descontinuidade genética do perfil. Com frequência esta linha limita inferiormente o horizonte superficial laterítico.
- Solo maduro (quando homogêneo – horizonte B), textura argilosa a muito argilosa, com estrutura maciça. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e em menos proporção a illita e gibbsita. Comumente se observam níveis centimétricos de laterita na base do horizonte B. A espessura varia de 1,0 m a 3,0 m apresentando permeabilidade média ( $10^{-3} \text{ cm/s}$ ) e resistência à penetração de baixa a média. O solo maduro apresenta comportamento laterítico ao passo que o solo jovem tem comportamento não laterítico, e os valores  $A_{cb}$  e Se indicam uma baixa atividade da argila, conforme os ensaios de adsorção do azul de metileno. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de  $1,42 \text{ g/cm}^3$  com unidade ótima em torno de 26,8 %, LL e LP = 56/34. A erodibilidade deste material em talude não é elevada, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1.
- Solo residual jovem ou saprólito, de cor vermelha a violácea com manchas cinzas (gleyzadas), contendo por vezes grãos de quartzo e feldspato alterado, argiloso, permeabilidade média ( $10^{-3} \text{ cm/s}$ ). O mineral predominante é a montmorilonita (2:1), seguida pela caulinita (1:1) e illita (2:1). A espessura varia de 2,0m a mais de 5,0m. É característico deste solo o empastilhamento e trincas provenientes da

retração. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam valor médio de  $V_b = 4,05$  g/100g prevendo um comportamento não laterítico e valores de  $A_{cb} = 7,96$  g/100g e da  $S_e$  de  $194,8$  m<sup>2</sup>/g indicando alta atividade desta argila. A resistência a penetração é gradual de baixa a média. A erodibilidade desse material em talude é alta e conforme observada em campo e por meio do teste de erodibilidade que resultou valores de  $E$  menores que 1.

- Argilas de cor cinza esverdeada, por vezes variegada, contendo grãos de quartzo e feldspato alterado, textura argilosa, por vezes média a siltosa, tendo como argilo-mineral predominante a montmorilonita (2:1) e em menor proporção a ilita (2:1) e caulinita (1:1). Apresenta permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s), espessura muito variável de 1,0m a mais de 10,0 m. São características desta argila o empastilhamento e trincas profundas em forma conchoidal. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor de  $V_b = 4,05$  g/100g, prevendo-se um comportamento não laterítico e valores de  $A_{cb} = 7,96$  g/100g e da  $S_e$  de  $194,8$  m<sup>2</sup>/g, indicam a alta atividade desta argila. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de  $1,5$  g/cm<sup>3</sup> com umidade ótima em torno de 24,9 %. No entanto, esta argila possui umidade natural acima da umidade ótima de compactação, em alguns casos 14 % a mais que a umidade ótima. A resistência à penetração desse material é gradual de média a alta. A erodibilidade em talude é muito elevada, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de  $E$  menores que 1.
- Arcósios que ocorrem de maneira dispersa e em diversos níveis de profundidade, são lenticulares, cor cinza, às vezes vermelha ou variegada, com textura média a argilosa, percentagem variável de finos (montmorilonita, ilita 2:1). Os minerais, da fração areia grossa a fina, são constituídos de quartzo, feldspato e caulim (alteração do feldspato), permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s). O ensaio de adsorção do azul de metileno indica, apesar do índice médio  $V_b = 1,15$  g/100g, um comportamento não laterítico. Algumas lentes possuem  $V_b =$  acima de  $1,5$  g/100g, apresentando um comportamento laterítico. Os valores  $A_{cb} = 5,0$  g/100g e  $S_e = 122,4$  m<sup>2</sup>/g confirmam uma média a alta atividade para a fração argilosa. A resistência à penetração é baixa a média. A erodibilidade desse material observado em talude é

média, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E igual a 1.

- Paleocanais foram encontrados localmente nesta unidade em diversos níveis de profundidade (desde aflorantes até a 11,0 m). Esses paleocanais são preenchidos por materiais aluvionares (solo orgânico, argila caulínica com cascalho ou areia na base), com espessuras métricas. Os mais superficiais normalmente apresentam uma seqüência repetitiva, ou seja: cascalho e areia na base, argila caulínica e solo orgânico, sobre o solo orgânico anterior. Os mais profundos apresentam apenas um ciclo de deposição e estão encobertos ou por argilas da Formação Guabirota ou por solos transportados (colúvio). A resistência a penetração é baixa. O nível da água desta unidade em média é de 3,0 m. Essa unidade como um todo apresenta espessuras variáveis, desde poucos metros até algumas dezenas de metros em função da superfície irregular dos gnaisses e migmatito sobre os quais estes materiais foram depositados.

#### **7.1.4 SOLOS TRANSPORTADOS**

São considerados solos transportados os solos depositados fora do local de sua formação, incluindo solo coluvionar e solos desenvolvidos sobre depósitos de talus ou pé-de-monte. Estes solos são reconhecidos normalmente por suaves quebras de inclinação dos terrenos na fotointerpretação e pela existência de níveis com pavimentos de fragmentos subarredondados de quartzo ou rocha . O perfil típico compreende:

- Nível de solo transportado, marcado na base pelos pavimentos de seixos de quartzo, localizado geralmente a meia encosta, em vertentes inclinadas, e na grande maioria limitados nas baixadas pelos depósitos aluvionares. Possui textura argilosa, sendo bem estruturado, de coloração castanha, com espessura variando entre 0,5 m e 3,0 m, assentados sobre gnaisses e migmatitos alterados (saprólito). Sobre os sedimentos da Formação Guabirota não foi possível delimitar estes solos uma vez que são de pequena espessura e de difícil determinação da extensão lateral, embora ocorram na forma de inclusões nas áreas de solos residuais.

### 7.1.5 SOLOS RESIDUAIS SOBRE GNAISSES E MIGMATITOS

Esta unidade, a exemplo dos solos residuais da Formação Guabirotuba, apresenta grande expressão na área mapeada. É constituída predominantemente de solos residuais (maduro ou jovem saprólito) e eventualmente com inclusões de solos transportados (colúvio), não individualizados completamente no mapa devido a pequena espessura e a falta de continuidade lateral. Como citado anteriormente, estes solos são facilmente separados no campo pela existência de um nível de seixos de quartzo entre ambos que é a base dos solos transportados. O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo transportado argilo-arenoso, poroso, de cor marrom ou castanho, com espessura entre 0,5 m a 1,0 m, marcados por um pavimento basal de seixos de quartzo subangulosos, com espessura centimétrica e resistência à penetração (SPT baixa).
- Solo maduro (quando homogêneo – horizonte B) ou jovem (quando ainda é possível verificar algumas características da rocha original), textura argilosa a muito argiloso, por vezes argilo-siltosa, cor marrom, castanho a avermelhado. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e gibsitita. A espessura média é de 3,0 m podendo atingir até 5,0 m, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s), resistência a penetração baixa ou média. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor médio de  $V_b = 1,39$  g/100g prevendo um comportamento laterítico, e os valores  $A_{cb} = 3,37$  g/100g e  $S_e = 82,5$  m<sup>2</sup>/g indicando uma baixa atividade desta argila. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,4 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica de campo situa-se em torno de 1,23 g/cm<sup>3</sup>. A erodibilidade desse material em talude é baixa, conforme observado em campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1.
- Saprólito cor cinza claro e escuro, variegado a avermelhado, textura siltosa, média e por vezes argilosa, com estruturas da rocha original (bandamento, micas, veios de quartzo, etc). O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e, em menores proporções a illita (2:1). A espessura é variável, desde alguns metros até mais de uma dezena de metros, com permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) e resistência média a alta. Os ensaios do azul de metileno indicam um valor médio de  $V_b = 1,29$  g/100g, prevendo-se um comportamento laterítico e os valores  $A_{cb}$  variando de 2,2 a 30,6 g/100g e  $S_e$  de 53,2 a 749,8 m<sup>2</sup>/g indicam que a atividade desta argila varia de baixa

a alta. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,5 g/cm<sup>3</sup> com umidade ótima em torno de 25,4%. A massa específica de campo situa-se em torno de 1,21 g/cm<sup>3</sup>. A erodibilidade desse material em talude é média a alta conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valor médio de E menor que 1.

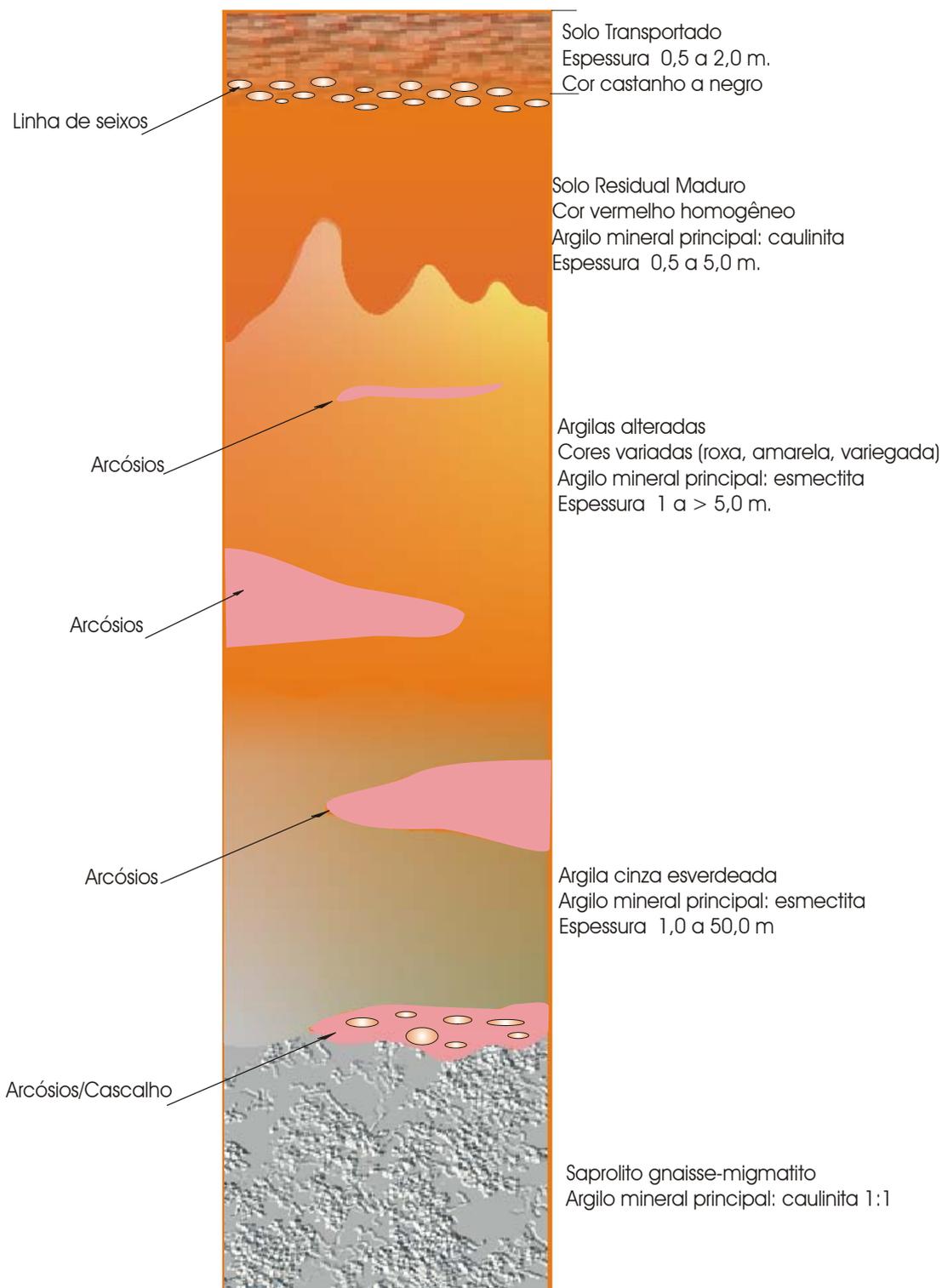
#### **7.1.6 SOLOS COM MATAÇÕES AFLORANTES SOBRE GNAISSES-MIGMATITOS**

Essa unidade apresenta solo residual maduro com espessuras em torno de 1,0 m com as características geotécnicas iguais ao solo residual anteriormente descrito. É comum a presença de matações arredondados com diâmetros diversos (de decímetros a métricas).

O mapa dos materiais inconsolidados está apresentado na Figura 14.

As figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 mostram os diversos aspectos da Formação Guabirota.

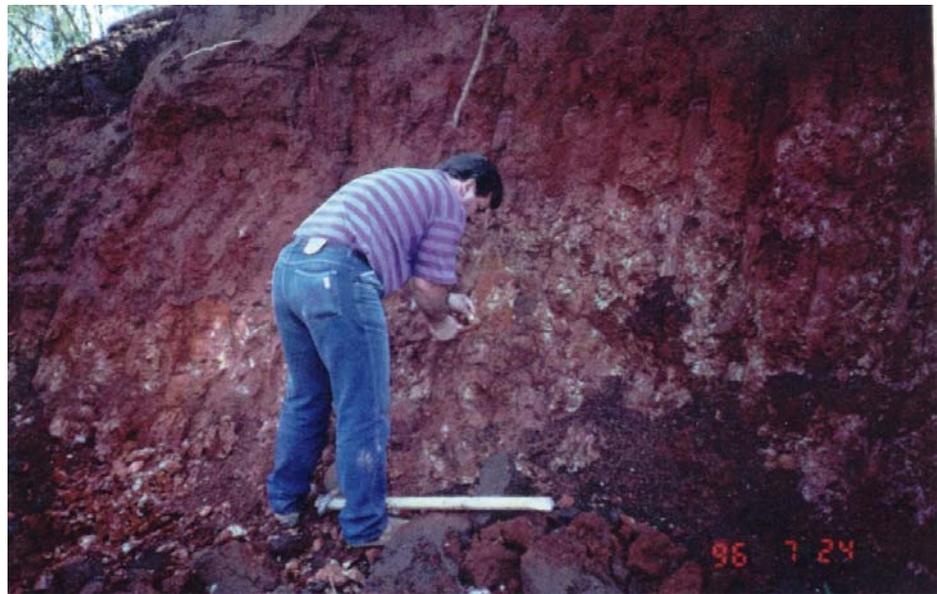
**Figura 14 – Mapa dos Materiais Inconsolidados da Prancha A-139.**



**Figura 15** - Perfil genérico da Formação Guabirota



**Figura 16** – Aspectos das Argilas cinza esverdeadas da Formação Guabirota.  
Notar o empastilhamento e trincas causadas pela retração.



**Figura 17** – Solo residual maduro, vermelho arroxeado recobrimdo solo residual da Formação Guabirota.



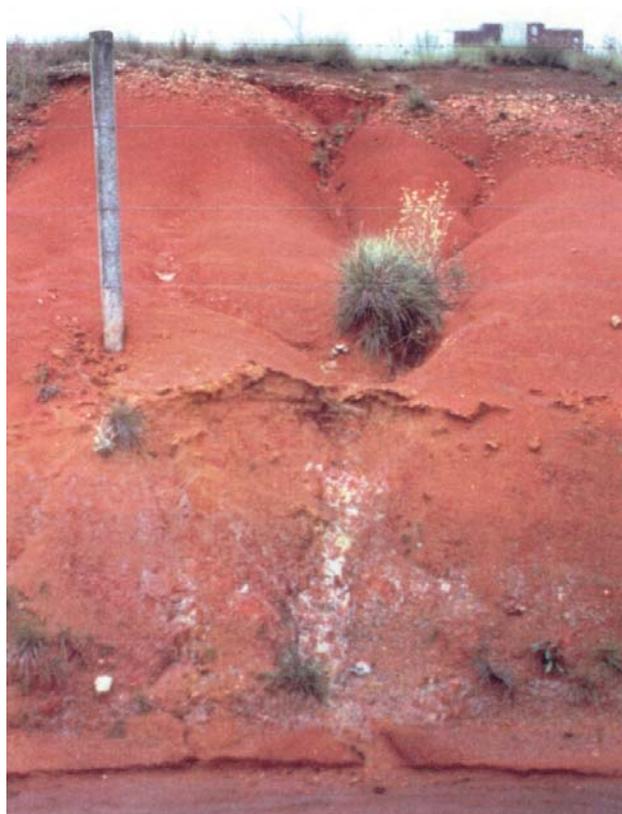
**Figura 18** – Latossolo, recobrimdo lentes de arcócio da Formação Guabirotuba.



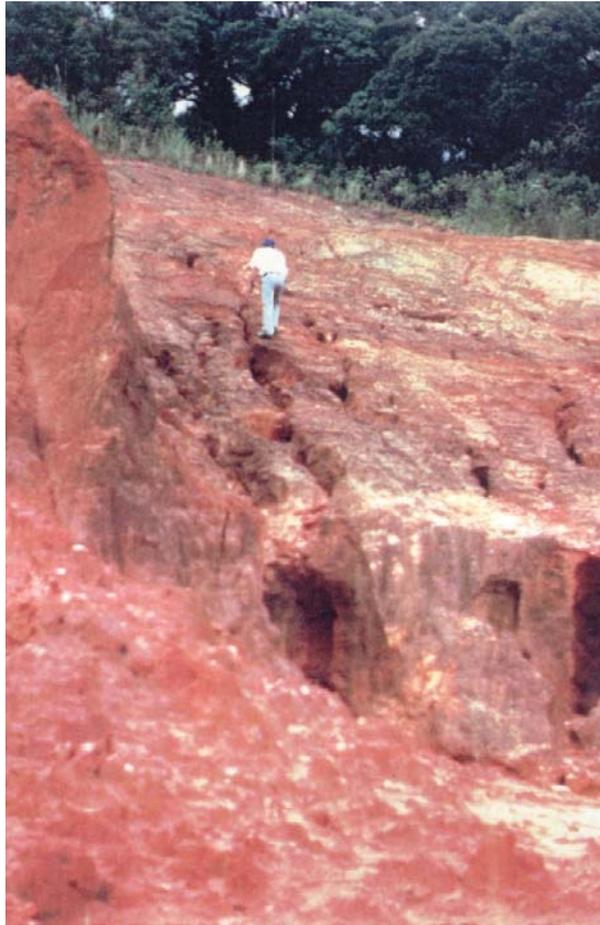
**Figura 19** – Aspecto de sedimentos arenosos de paleoterraços depositados sobre saprólito de gnaisses-migmatitos.



**Figura 20** – Ravinamento nas argilas da Formação Guabirotuba.



**Figura 21** – Erosão laminar com início de ravinamento no solo residual jovem (cor amarelo), depois da retirada do solo residual maduro (cor vermelha). Formação Guabirotuba.



**Figura 22** – Aspecto de ravinamento desenvolvido sobre saprólito de gnaiss-migmatito em área com grande declividade, junto a BR-376.



**Figura 23** – Solo hidromórfico, aluvião. Aspecto do contacto entre a areia (parte inferior) com argila cinza esbranquiçada caulinitica e argila orgânica negra. Rio Iguazu.

## 8. PEDOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

Segundo mapeamento pedológico existente porém não publicado (IBGE-1989 – escala 1:250.000), as unidades pedológicas existentes na área em estudo serão apresentadas na seqüência e ilustrados na Figura 24.

### 8.1 PRINCIPAIS UNIDADES PEDOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 8.1.1 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

##### 8.1.1.1 Latossolo Vermelho-Amarelo Álico

**LVa1**, “A” proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado e **Cambissolo Álico**, argila de atividade baixa, “A” moderado e proeminente, textura argilosa, relevo suave e ondulado (inclusão de **Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**, argila de atividade baixa, “A” moderado e proeminente, textura argilosa, **Cambissolo Húmico Álico**, argila de atividade alta e baixa, textura argilosa, **Rubrozn**, textura argilosa e **Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica**, “A” proeminente, textura muito argilosa). *Percentagem da área de ocupação na prancha: 18,22%.*

##### 8.1.1.2 Latossolo Vermelho-Amarelo Álico

**LVa3**, “A” moderado e proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado e ondulado e **Podzólico Vermelho-Amarelo Álico**, argila de atividade baixa, “A” moderado e proeminente, textura argilosa, relevo ondulado. (inclusão de **Cambissolo Álico**, argila de atividade baixa, “A” proeminente, textura argilosa, **Rubrozn**, textura muito argilosa e **Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica**, “A” proeminente, textura muito argilosa). *Percentagem da área de ocupação na prancha: 54,79%.*

#### 8.1.2 SOLOS ORGÂNICOS DISTRÓFICOS

##### 8.1.2.1 Solos Orgânicos Distróficos e Álicos

**H0d**, textura indiscriminada e associação complexa de **Gley Húmico Distrófico e Álico**, argila de atividade alta e baixa, textura argilosa com **Gley Pouco Húmico Distrófico e Álico**, argila de atividade baixa e alta, “A” moderado e proeminente, textura argilosa, relevo plano. *Percentagem da área de ocupação na prancha: 26,99%.*



**Figura 24 – Mapa Pedológico da Prancha A-139.**

## 8.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DA ÁREA EM ESTUDO

### 8.2.1 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, profundos, com horizonte B latossólico, de textura argilosa, coloração vermelho-amarelada, porosos, bem drenados e com seqüências de horizontes, A, B e C.

São solos que apresentam baixo conteúdo de minerais primários, exceto os muito resistentes ao intemperismo; a fração argila é constituída predominantemente por minerais do tipo caulinita e por sesquióxidos. São fortemente a extremamente ácidos, com baixa saturação de bases e com elevada saturação com alumínio, indicando sua baixa fertilidade natural. Apresentam também um baixo conteúdo de silte e baixa relação silte-argila.

O horizonte A, subdividido em A1 e A3, com transições planas e claras ou graduais entre si, apresenta espessura entre 30 e 80 cm, com coloração variando de acordo com o teor de matéria orgânica sempre superior a 1%, normalmente bruno-escuro a bruno muito escuro ou bruno-avermelhado-escuro, com matiz 10YR. A textura é da classe argila, com estrutura fraca a moderada média a grande granular e alguns blocos subangulares. O grau de consistência a seco varia de macio a duro; é friável quando úmido e plástico e pegajoso quando molhado, apresentando transição clara e plana ou ondulada para o horizonte B. É comum a linha de seixos entre os horizontes A e B.

O horizonte B com espessura média entre 150 a 200cm, de coloração bruno-escuro ou vermelha amarelada, com matiz 5YR e valores em torno de 4 e cromas variando de 4 a 6. A estrutura é fraca média a grande blocos subangulares. A cerosidade quando presente é fraca e pouca, sendo a consistência predominante neste horizonte, dura quando seco, friável a firme quando úmido e plástico e pegajoso quando molhado.

A relação silte-argila muito baixa, indica o estágio avançado de intemperização destes solos.

O grau de flocculação é alto (100%) no horizonte B, indicando um alto grau de estabilidade dos agregados neste horizonte. A distribuição da argila ao longo do perfil é relativamente uniforme, evidenciando uma fraca mobilidade das argilas ao longo do perfil. O equivalente de umidade apresenta pequenas variações ao longo do perfil, com valores em torno de 30%.

Com relação às propriedades químicas, são solos fortemente ácidos, com baixos teores de bases, elevados teores de alumínio, refletindo condições de lixiviação muito intensa, provocada principalmente pelo clima úmido (Cfb) que ocorre nesta região.

Os cátions trocáveis, estão mais concentrados na superfície, provavelmente devido à reciclagem biológica de nutrientes, acompanhando os teores de matéria orgânica.

A capacidade de troca de cátions (T) é mais alta no horizonte A, no entanto, os pontos de troca são ocupados quase que totalmente pelos íons ácidos hidrogênio e alumínio, evidenciando o processo de intensa lixiviação a que estão submetidos estes solos.

Os teores de carbono orgânico são médios no horizonte A e baixos no horizonte B, sempre diminuindo com a profundidade do perfil.

Na área de ocorrência destes solos o relevo varia de suave ondulado a ondulado, com altitudes variando de 50 (zona litorânea) até 1020 metros (primeiro planalto). Os solos menos profundos ocorrem nas áreas de relevo mais movimentado, nas superfícies erosionais de menor estabilidade; a medida que a paisagem se torna mais estabilizada, os solos são mais profundos e, morfologicamente, mais desenvolvidos.

#### **8.2.1.1 Latossolo Vermelho-Amarelo Álico**

**LVa1**, A proeminente textura argilosa, (fase floresta subtropical perenofólia, relevo suave ondulado). *FORMAÇÃO GUABIROTUBA*

São solos desenvolvidos a partir dos produtos provenientes de rochas sedimentares e cristalinas, principalmente arcósios e granitos da formação “Tres Córregos”, do Pré-Cambriano. O relevo é suave a ondulado e com altitude variando de 890 a 980 m, possuindo elevado teor de alumínio trocável.

Constitui *variação* desta unidade:

- Solos intermediários para Cambissolo Álico: são solos minerais não hidromórficos com argila de atividade alta, textura variando desde franco-arenosa até muito argilosa desenvolvido de rochas como gnaisses, granitos e migmatitos. Apresentam seqüência de horizonte A, Bi, C, com diferenciação de horizontes usualmente modesta, mas variável e são solos rasos a profundos.

Constituem *inclusões* nesta unidade:

- Cambissolo Álico;

- Podzólico Vermelho-Amarelo: compreende solos minerais não- hidromórficos, bem desenvolvidos, bem drenados e gradiente textural acentuado, transição gradual e por vezes difusa entre os horizontes. A seqüência de horizonte é A, E, Bt e C ou A, Bt, C com argila de atividade alta ou baixa.
- Rubrozén: solos medianamente profundos, moderadamente drenados, com perfil do tipo A, B, C onde os horizontes aparecem bem diferenciados e com transição clara. Possui textura argilosa e teores elevados de alumínio trocável e argila de atividade alta. São formados a partir de sedimentos do Pleistoceno, principalmente argilitos.
- Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica: solos argilosos, bem estruturados, com baixo gradiente textural, desenvolvido de material sedimentar de granulação fina. São solos minerais não hidromórficos com argila de atividade baixa. Apresentam seqüência de horizonte A, Bt e C e são pouco profundos.

#### 8.2.1.2 Latossolo Vermelho-Amarelo Álico

**LVa3**, A proeminente textura argilosa: (fase campo subtropical, relevo suave ondulado). *COMPLEXO GNAISSE-MIGMATITO*

São solos formados a partir de rochas sedimentares, principalmente arcósios e também rochas cristalinas ácidas. O relevo é suave ondulado, com 4 a 6% de declividade e altitude variando de 900 a 1000 metros.

Constitui variação desta unidade:

- Solos intermediários para Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa

Constitui inclusão nesta unidade:

- Solos intermediários para Cambissolo Álico textura argilosa; e
- Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica,
- Rubrozén.

#### 8.2.2 SOLOS ORGÂNICOS

Sob esta denominação estão compreendidos solos hidromórficos, essencialmente orgânicos, pouco evoluídos, provenientes de depósitos de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambiente palustre, constituído de horizonte

superficial de coloração preta, devido aos elevados teores de carbono orgânico, assente sobre camadas praticamente sem desenvolvimento pedogenético.

O material de origem é composto por acumulações orgânicas residuais recentes, referidas ao Holoceno, cuja constituição depende do tipo de formação vegetal da qual deriva e das ações biológicas que nela se processam, podendo haver adição de materiais finos, em proporções variáveis.

Estes solos são conhecidos como turfas, podendo-se distinguir dois estágios principais de decomposição da matéria orgânica: “muck”, quando a matéria orgânica já se encontra bastante decomposta e “peat”, quando a mesma é de caráter fibroso, em estágio incipiente de decomposição, combustível quando seca.

São solos que apresentam a seguinte seqüência: horizonte A, que pode ou não ser subdividido, seguido de camadas orgânicas sobrepostas a material mineral.

O horizonte A possui normalmente espessura maior que 30cm, coloração preta (N1). A textura é variável de um local para outro, assim como as características a ela relacionadas.

Como características marcantes deve-se registrar a reação fortemente ácida, a baixa saturação de bases, a alta saturação com alumínio trocável (caráter álico), a alta capacidade de troca de cátions, além de uma série de outras características ou propriedades, todas elas relacionadas com a má drenagem, uma vez que estes solos são desenvolvidos sob condições de permanente encharcamento, com lençol freático próximo ou à superfície durante grande parte do ano.

Como ocorrem em superfícies planas, ocupando as posições de cotas mais baixas em áreas originalmente abaciadas, que constituem pequenas depressões sedimentares próximo aos cursos d'água, o relevo torna-se um dos fatores mais importantes na formação destes solos. A vegetação bastante característica é representada pelos campos de várzea, com predomínio de gramíneas e ciperáceas e, em alguns locais, arbustos de pequeno a médio porte.

#### **8.2.2.1 Solos Orgânicos Álicos-HOd**

Constituem *variações* desta unidade, perfis intermediários para Solos Gleyzados os quais são solos minerais, hidromórficos, com horizontes A ou H seguidos de horizonte gley começando a menos de 40cm. São solos mal ou muito mal drenados, com forte

gleyzação e na escassa diferenciação de horizontes desses solos, só tem realce a expressão do Horizonte A dos Gley Húmicos.

Como *inclusão*, encontram-se solos com características de gleyzação.

Estes solos são desenvolvidos em várzeas, áreas deprimidas, planícies aluvionares, ou locais de cotas mais baixas, vinculadas a excesso d'água. São desenvolvidos a partir de produtos provenientes da intemperização de sedimentos orgânicos, principalmente vegetais de decomposição recente, referidos ao Holoceno.

## 9. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para caracterização dos solos da área da Prancha A 139, região de São José dos Pinhais, foram utilizados os resultados dos ensaios apresentados no relatório referentes ao Mapeamento Geológico-Geotécnico da MINEROPAR (1996).

Levou-se em consideração, para uma análise crítica dos resultados, os índices apresentados e descritos na Metodologia, item nº 4 , no qual apresenta-se a sistemática para a elaboração dos ensaios de:

- **Acb**: índice de atividade da fração argilosa (g/100g de argila) , obtido através do ensaio do azul de metileno;
- **Vb**: valor de azul de metileno adsorvido (g/100g de solo), caracterizando a laterização do solo;
- **Se**: superfície específica em função do volume da solução de azul de metileno gasto e a massa do solo;
- **CTC**: capacidade de troca de cátions, tendo como indicador a atividade da argila o qual considera o argilo-mineral predominante;
- **SPT**: penetração a percussão com circulação de água;
- **k**: coeficiente de permeabilidade.

Através dos resultados obtidos, e tabulados no Quadro 9, pode-se fazer uma análise do comportamento das estimativas de unidades geotécnicas quanto ao uso dos solos na engenharia civil.

Mesmo assim, alguns índices da tabulação no quadro resumo dos resultados dos ensaios, não estão sendo apresentados por inexistência dos mesmos o que não impediu esta análise.

Discrepâncias ocorreram na definição de alguns tipos de solos tendo em vista o processo de laterização. A preocupação de analisar o processo de laterização decorreu de estarmos abrangendo neste estudo uma região predominantemente de Latossolo Vermelho-Amarelo. A análise da laterização é realizada mediante a comparação dos índices da superfície específica (Se) e do valor de azul de metileno adsorvido em

g/100g de solo (Vb). Quando o solo apresenta valores de Vb superiores a 1,5 tem comportamento não laterítico e para valores inferiores a 1,5, comportamento laterítico. Em se tratando de valores da superfície específica; quanto maior a superfície específica, maior será a CTC e conseqüentemente maior a atividade da argila. Evidentemente que, para solos lateríticos, a atividade da argila deverá ser baixa, o que não ocorreu no solo residual, nas argilas esverdeadas e para os arcósios da unidade dos materiais inconsolidados integrantes dos solos residuais da Formação Guabirotuba, não caracterizando assim, tais solos como lateríticos.

Fato similar ocorreu com os saprólitos da unidade de materiais inconsolidados integrantes dos solos residuais sobre gnaisses e migmatitos, os quais possuem uma grande variação nos índices de Se e de Acb.

Acredita-se que estes resultados que possam vir a contrariar os limites para a caracterização dos solos, sejam ocasionados pela análise conjunta do valor de Se, Vb, Acb e o argilo-mineral dominante assim como pelas variações e inclusões existentes nas unidades pedológicas encontradas na folha A 139, ou seja LVa1 e LVa3, ambos Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, porém diferenciados primeiramente em suas **variações**:

**LVa1:** variação de Cambissolo Álico

**LVa3:** variação de Podzólico Vermelho-Amarelo Álico e

E, adicionalmente devido às suas **inclusões**:

**LVa1:** inclusão de Cambissolo Húmico Álico, Rubrozen e Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica,

**LVa3:** inclusão de Cambissolo Álico, Rubrozen e Terra Vermelha-Brunada Estruturada Álica

Como foi visto anteriormente, a pedologia da área é formada em sua maioria pelo Latossolo Vermelho-Amarelo, fato pelo qual não esperava-se encontrar solos caracterizados como não lateríticos nesta área.

Outro ensaio importante a ser analisado, foi o resultado do Ensaio das Pastilhas (MCT), proposto por Nogami e Villibor (1994), apresentado nos Quadros 10 e 11. Na coleta de amostras dos solos para a realização do ensaio MCT, procurou-se selecionar áreas de

ocorrência de Solos Residuais da Formação Guabirota que apresentavam predominância na prancha A139. Tais áreas foram nominadas como Aeroporto, Estrada de Ferro e Colônia Murici. A quarta área escolhida para a coleta de amostras, foi nominada Zoológico, onde se encontram os Solos Residuais do Complexo Gnaisse-Migmatito. Em cada uma destas áreas, foram selecionados 10 locais de coleta onde foram retiradas 10 amostras de solo do Horizonte B e do Horizonte C, totalizando 80 amostras ensaiadas. A localização dos pontos de coleta dos materiais está ilustrada na Figura 29.

As únicas amostras que resultaram integrantes do grupo LG' na classificação MCT (argilas ou argilas lateríticas) foram aquelas correspondentes a área designada Colônia Murici, inserida na Rodovia do Contorno Leste de Curitiba. As demais áreas apresentaram uma variação muito grande dentro da classificação MCT, sendo caracterizadas como LA' (areias argilosas lateríticas), NA' (areias argilosas ou siltosas), NS' (solos de comportamento siltoso) e NG' (argilas ou argilas siltosas) contrariando assim a laterização da área em estudo (predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo).

Acredita-se que as discrepâncias destes resultados frente a caracterização de solo pelo processo MCT ocorreram porquanto as amostras de solo coletadas, nas regiões do Aeroporto, Estrada de Ferro e Zoológico, encontravam-se próximas a áreas de pequenos cursos de água, aproximando-se de uma característica de terraços aluvionares, porém dentro da área de Latossolo. Independente desse fato, a complexidade, a heterogeneidade e a descontinuidade da Formação Guabirota provavelmente contribuíram para estes resultados. Acredita-se que as inclusões e variações existentes nas unidades geotécnicas LVa1 e LVa3 tenham contribuído também para estes resultados.

Para o entendimento da complexidade e heterogeneidade da composição da Formação Guabirota, alguns perfis de solo, obtidos através de sondagem a percussão realizados pela Mineropar estão apresentados nas figuras 25, 26, 27 e 28.

Quadro 9 – Tabela de resultados de ensaios.

	Permeabilidade cm/s	Erodibilidade	SPT	Acb g/100g	Se m <sup>2</sup> /g	Ativ. Argila	Vb g/100g	Laterizaçã o	Espes. (m)	Argilo mineral
<b>SOLO HIDROMÓRFICO SOBRE ALUVIÃO</b>										
Solo orgânico de cor negra	Baixa		Muito baixa						0,5 a 2,0	Caulinita(1:1) Montmorilonita e Ilita (2:1)
Solo cinza claro a negro	Muito baixa 10 <sup>-6</sup>	Muito baixa	Baixa a muito baixa	5,45	133	Média a baixa	2,42	Não	1,0 a 5,0	
Sotopostos			Baixa						1,0 a 5,0	
<b>SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE TERRAÇOS</b>										
Solo de cor negra	Baixa 10-4		Baixa	2,21	54,1	Muito baixa	1,0	Sim	1,0 a 2,0	Caulinita (1:1)
Sotoposto	Baixa 10-4	Baixa	Muito baixa a baixa	4,3	105,6	Baixa	1,66	Não	0,5 a 3,0	Caulinita (1:1) Montmorilonita e Ilita (2:1)
<b>RESIDUAIS DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA</b>										
Solo transportado (colúvio)			Baixa	3,0	73,4	Baixa	0,99	Sim		
Solo maduro	Média 10-3	Baixa	Baixa a média			Baixa		Sim	1,0 a 3,0	Caulinita (1:1) Ilita e Gipsita (2:1)
Solo jovem	Média 10-3	Alta	Baixa a média			Baixa		Não	1,0 a 3,0	Caulinita (1:1) Ilita e Gipsita (2:1)
Solo residual	Média 10-3	Alta	Baixa a média	7,96	194,8	Alta	4,05	Não	2,0 a 5,0	Montmorilonita (2:1) Caulinita (1:1) Ilita (2:1)
Argilas esverdeadas	Baixa 10-4	Alta	Média a alta	7,96	194,8	Alta	4,05	Não	1,0 a 10,0	Montmorilonita (2:1) Ilita (2:1) Caulinita (1:1)
Arcósio	Baixa	Média	Baixa a média	5,0	122,4	Alta	1,15	Não		Montmorilonita e Ilita (2:1)
							lentes arcossianas: sup. a 1,5	Sim		
Paleocanais			Baixa						0,0 a 11,0	
<b>SOLOS RESIDUAIS SOBRE GNAISSES E MIGMATITOS</b>										
Solo transportado argilo-arenoso			Baixa						0,5 a 1,0	
Solo maduro	Baixa 10-4	Baixa	Baixa a média	3,37	82,5	Baixa	1,39	Sim	3,0 a 5,0	Caulinita (1:1) e Gipsita
Saprólito	Baixa 10-4	Alta	Média a alta	2,2 a 30,6	53,2 a 749,8	Baixa a alta	1,29	Sim	variável	Caulinita (1:1) e Ilita (2:1)

Quadro 10 – Ensaio das Pastilhas MCT.

ANEL	dext (mm) = 25,00		dint (mm) = 21,00		PENETRAÇÃO	CONTRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
LOCAL DE COLETA	SIGLA	HORIZONTE	AMOSTRA	D <sub>amostra</sub> (mm)			
A E R O P O R T O  Lfg1	AE	B1	AEB1-1	19,60	5,00	1,40	NS'-NG' OU NG' LIMITE
			AEB1-2	19,50	5,00	1,50	NG'
			AEB1-3	19,40	5,00	1,60	NG'
			AEB1-4	19,55	5,00	1,45	NG'
			AEB1-5	19,30	5,00	1,70	NG'
	AE	B2	AEB2-1	20,35	5,00	0,65	NS'/NA'
			AEB2-2	20,35	5,00	0,65	NS'/NA'
			AEB2-3	20,50	5,00	0,50	NS'-NA'
			AEB2-4	20,25	5,00	0,75	NS'/NA'
			AEB2-5	20,00	5,00	1,00	NS'-NG'
	AE	C1	AEC1-1	19,35	2,25	1,65	NG'
			AEC1-2	19,40	2,00	1,60	NG' OU LG'
			AEC1-3	18,95	1,05	2,05	LG'
			AEC1-4	19,20	2,81	1,80	NG'
			AEC1-5	19,75	1,25	1,25	LA'-LG'
	AE	C2	AEC2-1	20,00	5,00	1,00	NS'-NG'
			AEC2-2	19,80	5,00	1,20	NS'-NG'
			AEC2-3	20,05	5,00	0,95	NS'-NG'
			AEC2-4	19,60	5,00	1,40	NS'-NG' OU NG' LIMITE
			AEC2-5	20,10	5,00	0,90	NS'/NA' OU NS'-NG' LIMITE
E S T R A D A  D E  Lfg1	EF	B1	EFB1-1	20,05	5,00	0,95	NS'-NG'
			EFB1-2	20,40	5,00	0,60	NS'/NA'
			EFB1-3	20,45	5,00	0,55	NS'-NA' OU NS'/NA' LIMITE
			EFB1-4	20,70	5,00	0,30	NS'-NA'
			EFB1-5	20,55	5,00	0,45	NS'-NA'
	EF	B2	EFB2-1	18,20	3,95	2,80	NG'
			EFB2-2	18,00	3,15	3,00	NG'
			EFB2-3	18,45	2,70	2,55	NG'
			EFB2-4	18,35	3,05	2,65	NG'
			EFB2-5	18,00	3,45	3,00	NG'
	EF	C1	EFC1-1	18,20	5,00	2,80	NG'
			EFC1-2	18,45	5,00	2,55	NG'
			EFC1-3	18,30	3,00	2,70	NG'
			EFC1-4	18,70	5,00	2,30	NG'
			EFC1-5	18,15	5,00	2,85	NG'
	EF	C2	EFC2-1	17,50	3,55	3,50	NG'
			EFC2-2	17,30	5,00	3,70	NG'
			EFC2-3	17,00	5,00	4,00	NG'
			EFC2-4	17,20	5,00	3,80	NG'
			EFC2-5	17,15	5,00	3,85	NG'

Quadro 11 – Ensaio das Pastilhas MCT.

ANEL	dext (mm) = 25,00		dint (mm) = 21,00		PENETRAÇÃO	CONTRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
LOCAL DE COLETA	SIGLA	HORIZONTE	AMOSTRA	D <sub>amostra</sub> (mm)			
C O L Ô N I A  Lfg1	CM	B1	CMB1-1	19,20	0,50	1,80	LG'
			CMB1-2	19,40	1,10	1,60	LG'
			CMB1-3	19,60	1,15	1,40	LG' OU LA'-LG' LIMITE
			CMB1-4	19,50	0,30	1,50	LG'
			CMB1-5	19,50	0,45	1,50	LG'
	CM	B2	CMB2-1	19,60	0,75	1,40	LG'
			CMB2-2	19,55	0,75	1,45	LG'
			CMB2-3	19,50	0,40	1,50	LG'
			CMB2-4	19,50	0,60	1,50	LG'
			CMB2-5	19,50	0,40	1,50	LG'
	CM	C1	CMC1-1	19,80	0,95	1,20	LA'-LG'
			CMC1-2	19,65	1,30	1,35	LA'-LG'
			CMC1-3	19,50	1,30	1,50	LG'
			CMC1-4	19,55	1,90	1,45	LG'
			CMC1-5	19,50	1,30	1,50	LG'
	CM	C2	CMC2-1	19,20	1,40	1,80	LG'
			CMC2-2	19,10	1,10	1,90	LG'
			CMC2-3	19,15	0,75	1,85	LG'
			CMC2-4	19,20	1,10	1,80	LG'
			CMC2-5	18,95	1,25	2,05	LG'
Z O O L Ó G I C O  LVgn,mg3	ZOO	B1	ZOOB1-1	20,60	5,00	0,40	NS'-NA'
			ZOOB1-2	20,45	5,00	0,55	NS'-NA' OU NS'/NA' LIMITE
			ZOOB1-3	20,20	5,00	0,80	NS'/NA'
			ZOOB1-4	20,00	5,00	1,00	NS'-NG'
			ZOOB1-5	20,50	5,00	0,50	NS'-NA'
	ZOO	B2	ZOOB2-1	20,25	5,00	0,75	NS'/NA'
			ZOOB2-2	20,45	5,00	0,55	NS'-NA' OU NS'/NA' LIMITE
			ZOOB2-3	20,25	5,00	0,75	NS'/NA'
			ZOOB2-4	20,00	5,00	1,00	NS'-NG'
			ZOOB2-5	20,45	5,00	0,55	NS'-NA' OU NS'/NA' LIMITE
	ZOO	C1	ZOOC1-1	20,55	5,00	0,45	NS'-NA'
			ZOOC1-2	20,65	5,00	0,35	NS'-NA'
			ZOOC1-3	20,15	5,00	0,85	NS'/NA'
			ZOOC1-4	20,70	5,00	0,30	NS'-NA'
			ZOOC1-5	20,30	5,00	0,70	NS'/NA'
	ZOO	C2	ZOOC2-1	20,70	5,00	0,30	NS'-NA'
			ZOOC2-2	20,60	5,00	0,40	NS'-NA'
			ZOOC2-3	20,50	5,00	0,50	NS'-NA'
			ZOOC2-4	20,35	5,00	0,65	NS'/NA'
			ZOOC2-5	20,50	5,00	0,50	NS'-NA'

## SONDAGENS À PERCUSSÃO DA NOVA FERROVIA CURITIBA-PARANAGUÁ (PROJETADA)

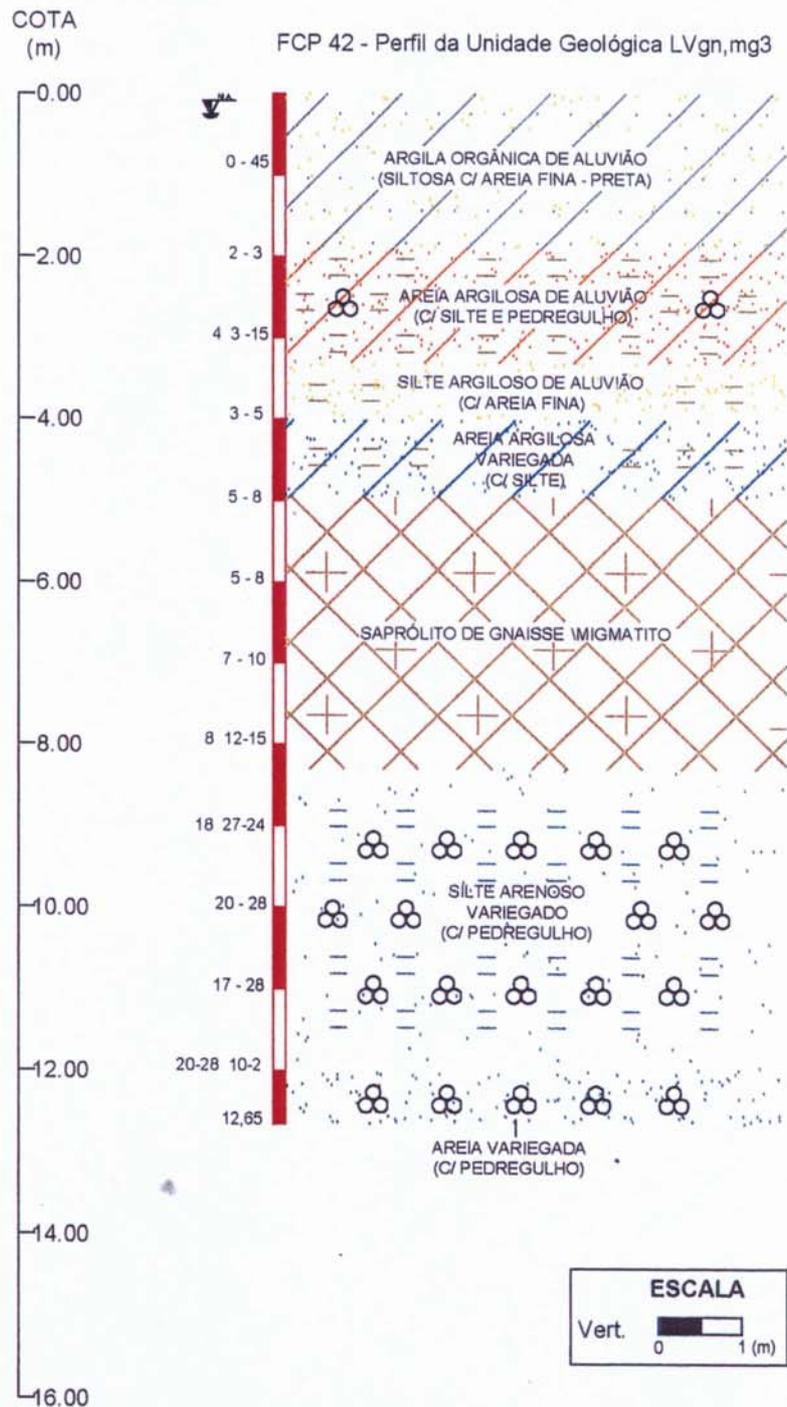


Figura 25 – Perfil de sondagem da unidade geotécnica LVgn,mg3 (FCP-42).

**Figura 26 – Perfil de sondagem da unidade geotécnica LVfg1 (SP139/02)**

**Figura 27 – Perfil de sondagem da unidade geotécnica HOal (SP139/01).**





**Figura 29 – Localização das pontos de coleta de amostras pra o MCT e dos perfis de solo na Prancha A-139.**

## 10. ESTIMATIVA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

As unidades geotécnicas definidas na área de São José dos Pinhais, prancha 139 da Mineropar, através da superposição dos mapas pedológico e geológico, são apresentadas no Quadro 12 e ilustrados na Figura 30.

**Quadro 12** – Estimativas de unidades geotécnicas

MAPA GEOLÓGICO	MAPA PEDOLÓGICO	ESTIMATIVA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS
Al (aluvião)	HOd	HOal
T (terraços)	A	At
Fg (Formação Guabirotuba)	LVa1 , LVa3	LVfg1 , LVfg3
gnmg (Complexo Gnaiss Migmatito)	LVa1 , LVa3	LVgn,mg1 , LVgn,mg3

### 10.1 UNIDADE HOal

Esta unidade tem como componentes Solo Hidromórfico Orgânico de Aluvião com aproximadamente 18,85% da área de ocupação na prancha.

Os solos dessa unidade apresentam um estágio inicial de alteração tendo como argilo-minerais a caulinita (1:1) e montmorilonita e ilita em (2.1), apresentando desta forma uma atividade de média a alta para a argila. Ocupam os terrenos baixos (áreas de agradação) e são formados pela progressiva acumulação de detritos vegetais, em ambientes palustres. Podem ser aproveitados como tanques e como fonte de recursos hídricos superficial e subsuperficial. As condições permanentes de encharcamento retardam a decomposição destes detritos, propiciando o seu acúmulo. Apresentam superficialmente, nos primeiros 40 cm, um horizonte turfoso de cor preta, resultante da transformação dos produtos orgânicos. Apresentam espessuras variadas em um mesmo ambiente, sendo comum ocorrerem sobre uma camada mineral de cor cinza e de textura comumente argilosa. Estas argilas estão sobrepostas a um pavimento de areia fina a grossa com cascalhos e blocos de quartzo com o nível de lençol freático variando de 0,2 a 1,0m. São sujeitos à inundações e apresentam depósitos de argilas moles. Possuem alta compressibilidade, sendo inadequados para instalações de fossas sépticas,

impróprios para exploração de água subterrânea e apresentam grandes recalques. Apresentam uma resistência à penetração (SPT) muito baixa. São usados como fonte de areia para a construção (parte bem drenada) e de argila para cerâmica vermelha (parte mal drenada).

Às vezes, os mapas pedológicos consideram como má drenagem apenas a condição de encharcamento do solo. Na Engenharia Civil, a má drenagem está relacionada a permeabilidade dos solos. Portanto, ao fazer a análise do mapa de solos, devemos observar a condição de drenabilidade ou seja a presença de material granular para avaliar o comportamento drenado ou não dos materiais. Em engenharia civil consideramos comportamento drenado, o comportamento dos materiais permeáveis que permitem a rápida saída da água quando carregados.

## **10.2 UNIDADE At**

Tem como componentes os Solos Aluviais dos Terraços Aluvionares. Ocupam na prancha A 139 uma área de aproximadamente 5,72%. São terraços aluvionares situados pouco acima do nível dos aluviões atuais, também componentes das planícies aluvionares, com sedimentos aluvionares Holocênicos do Quaternário. Apresentam uma camada superficial orgânica, hidromórfica de cor negra, plástica, mole a muito mole, com permeabilidade baixa e espessura variando de 1,0 a 2,0m. Possui o nível de água a uma profundidade média de 1,9m. Estes terraços estão depositados sobre sedimentos argilosos da Formação Guabirotuba (fg) ou depositados sobre rocha alterada de gnaisse-migmatito (gnmg). Possui permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) ocasionando recalques em obras de engenharia civil, atividade da argila variando de média a baixa (Ta a Tb). Tem como argilo-minerais a caulinita (1:1) e a montmorilonita e illita (2:1). Nas regiões com argila de média atividade pode ocorrer alguma expansão quando houver variação de umidade.

## **10.3 UNIDADE LVfg1**

A unidade LVfg1 é constituída pelos Latossolo Vermelho-Amarelo da Formação Guabirotuba ocupando uma área percentual na prancha, de 40%.

É constituída por argilas da Formação Guabirotuba, pleistocênicas do Quaternário, por solos residuais ou transportados em relevo de colina suave com topos planos, apresentando espessuras variáveis desde métricas até mais de uma dezena de metros,

depositada sobre uma superfície irregular de rochas alteradas (saprólito) de gnaiss-migmatito. Possui variações de Cambissolo Álico e inclusões de Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Rubrozen e Terra Vermelha Brunada Estruturada Álica.

O solo residual maduro (Horizonte B), laterítico, argiloso, com caulinita (1:1) como argilo-mineral predominante e secundariamente ilita, com atividade baixa de argila. É poroso e em consequência disto, colapsível, com espessura de 0,5 a 3,0m, sendo pedologicamente evoluído, apresentando permeabilidade média ( $10^{-3}$  cm/s ). O solo residual maduro tem comportamento distinto dos horizontes de solo residual jovem (Horizonte C) ou saprolítico e da argila característica desta formação. O horizonte de solo residual possui como argilo-mineral predominante a montmorilonita (2:1) e secundariamente a caulinita e a ilita, sendo uma argila expansiva e retrativa, em função da variação de umidade, cuja expansão é média a alta e apresentando-se como não lateríticos.

A resistência à penetração (SPT) dos solos residuais maduros ou jovens grada de baixa a média, variando com a profundidade, de 2 a 8 golpes para os 30 cm finais de penetração, podendo ocorrer índices mais elevados na passagem de pequenas lentes arcossianas. Nessas lentes arcossianas admite-se a implantação de obras de engenharia (fundações). Nas argilas cinza esverdeadas sotopostas, a resistência a penetração cresce com a profundidade, apresentando uma alta atividade da argila ( $T_a$ ) tendo em vista o argilo-mineral predominante ser a montmorilonita (2:1) e conseqüentemente uma capacidade de troca de cátions (CTC) alta. O nível de água médio é de 3,8 m, em geral observado na interface do solo residual maduro com o solo residual jovem, resultando que, geralmente apresentam umidade natural mais elevada que a umidade ótima de compactação, conforme resultados dos ensaios em que é possível obter umidade de 14% acima da umidade ótima. Considerando-se o nível do lençol freático, fica sendo inadequado o uso deste solo para disposição de resíduos. Além disso, devido às suas características higroscópicas (expansão e retração), quando expostos em superfície, ressecam produzindo uma estrutura com aspecto de pequenas pastilhas soltas (empastilhamento), altamente suscetíveis à erosão.

Deste modo, no caso de implantação de grandes obras de engenharia, em que haja a necessidade de terraplenagem, haverá de se prever o projeto de estabilização de taludes com proteção vegetal ou construção de muros no caso de cortes. São necessárias obras

de dissipação do escoamento das águas para proteção dos horizontes erodíveis. Os solos maduros desta unidade, poderão ser utilizados como locais de empréstimo de argilas para aterros.

#### **10.4 UNIDADE LVgn,mg1**

O Latossolo Vermelho-Amarelo do Complexo Gnaisse-Migmatito ocupa, percentualmente, uma área de 12,02% da prancha A 139. Possui a mesma variação e inclusões de solo da unidade geotécnica LVfg1.

São solos residuais maduros com inclusões de solo transportado (colúvio) recobrimdo o saprólito (rocha alterada). Os solos residuais maduros (Horizonte B) apresentam cor marrom, por vezes vermelha, argilosos, porosos, lateríticos tendo como argilo-mineral predominante a caulinita (1:1). Possui consistência de baixa a média, permeabilidade baixa ( $10^{-4}$  cm/s) e espessura alcançando até 3,0 m.

O saprólito subjacente apresenta a cor cinza escura a avermelhada, estrutura com características da rocha original (bandamento, veios de quartzo, micas), textura sílico-argilosa a média, com permeabilidade média e poroso, tendo como argilo mineral predominante a caulinita (1:1) e secundariamente a illita (2:1) e argila de atividade baixa a alta, podendo alcançar espessuras de 4,0 a mais de 10,0 m (Horizonte C). A resistência à penetração (SPT) é crescente com a profundidade tendo o nível de lençol freático a profundidade média de 6,9 m e mostrando-se adequado em termos de fundação. Devido a apresentar suscetibilidade a erosão, haverá necessidade de proteção vegetal em caso de cortes. Nos casos em que se apresente bandamento do saprólito paralelo a inclinação da encosta, existirá a possibilidade de escorregamentos e suscetibilidade à erosão.

#### **10.5 UNIDADE LVfg3**

A unidade LVfg3 é constituída pelos Latossolo Vermelho-Amarelo da Formação Guabirota, ocupando uma área percentual na prancha, de 9,30%.

Suas características são semelhantes a unidade LVfg1, porém sua diferenciação está na variação e na inclusão de solos nesta unidade. Encontra-se como variação desta unidade, o Podzólico Vermelho-Amarelo Álico e como inclusão o Cambissolo Húmico Álico, o Rubrozén e a Terra Vermelha Brunada Estruturada Álica. Como trata-se de variações e

inclusões desses solos nesta unidade com pequenas espessuras, a atividade da argila pode ser classificada como atividade baixa, podendo assim, seu uso ser estendido às mais diversas áreas para a engenharia civil levando-se em consideração sua origem ser da Formação Guabirota.

### **10.6 UNIDADE LVgn, mg3**

Nessa unidade, a porcentagem da área de ocupação na prancha é de 14,11% sendo constituída pelo Latossolo Vermelho-Amarelo Álico do Complexo Gnaisse Migmatito. Tem como variações e inclusões, as mesmas citadas na estimativa de unidade geotécnica LVfg3 porém sua origem está no Complexo Gnaisse Migmatito, apresentando atividade baixa da argila e com as mesmas características de uso para a engenharia civil da estimativa de unidade geotécnica LVgn,mg1.

**Figura 30 - Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas da Prancha A-139**

## 11. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- na Geologia da área estudada, o solo foi classificado como solos residuais; transportados; jovens; maduros; hidromórficos e saprólito. Acima da linha de seixos, a denominação solos residuais jovens é inadequada pois o solo sempre sofre algum transporte nessa região. Por isso a denominação “solos residuais” é mais adequada aos solos do horizonte C;
- em vista do perfil típico da área em estudo e sua maior concentração sobre a Formação Guabirota, os argilo-minerais presentes na mesma são (a partir da superfície do solo) a caulinita, a ilita e a esmectita, definindo assim os horizontes B (maduro) com alto teor de caulinita e o horizonte C (jovem) com alto teor de esmectita;
- com vistas ao perfil típico da Formação Guabirota, onde ocorre a evolução química da fração argilosa em direção ao horizonte superficial, traduzida por diminuição progressiva da relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ; o horizonte B se apresentará como solo maduro com predominância de caulinita como argilo-mineral, não havendo ocorrência de argilo-minerais alteráveis e havendo possibilidade do uso deste solo em obras de engenharia;
- ocorrerá intemperismo químico na Formação Guabirota, quando da retirada da camada vegetal na superfície do solo, o qual irá alterar significativamente o perfil do solo, ocasionando lixiviação de bases e sílica produzidos por hidrólise e alteração da umidade do solo. Como a umidade do solo em algumas profundidades chega a ser maior que a umidade ótima, pode ocorrer o empastilhamento do material (argilo-mineral:esmectita) e conseqüentemente limitações para fundações de obras de engenharia;
- devido a heterogeneidade da Formação Guabirota, a caracterização geotécnica precisa da área fica extremamente difícil como mostra a complexidade das unidades dos materiais inconsolidados;
- devido aos problemas referentes às diferentes escalas dos mapas geológico (1:20.000), materiais inconsolidados (1:20.000), pedológico (1:250.000) e o planialtimétrico (1:20.000), existiram problemas no cruzamento dos mapas. Mesmo

com o uso de métodos computacionais, houve necessidade de ajustes na delimitação das unidades pedológicas para a estimativa das unidades geotécnicas;

- devido ao problema de escala entre os mapas supra citados, adotou-se aproximadamente a cota de 5 m superior a cota do leito dos rios, fazendo assim com que a unidade pedológica solos hidromórficos estivesse enquadrada na unidade geológica dos aluviões;
- as unidades geotécnicas LVgn,mg1 e LVgn,mg3, estimadas, podem em princípio, ser utilizadas como material de empréstimo e para aterros, levando-se em consideração a laterização do solo (maduro)-argilo-mineral predominante;
- as unidades geotécnicas LVfg1 e LVfg3, estimadas, não poderão ser usadas como material de empréstimo e quando de sua ocorrência, as mesmas deverão ser retiradas para implantação de obras de engenharia civil, devido a ocorrência da montmorilonita a qual ocasionará expansão e empastilhamento do solo;
- as características das estimativas das unidades geotécnicas LVfg1, LVfg3 e LVgn,mg1, LVgn,mg3 são praticamente as mesmas, tendo sua diferenciação nas variações e inclusões de outros tipos de solos;
- as fundações poderão ser assentes nas camadas com presença de lentes arcossianas encontradas na base do Horizonte C;
- na unidade HOal e At, o material subjacente ao solo turfoso, poderá ser fonte de areia para a construção civil e argila para cerâmica vermelha;
- quando da ocorrência dos diques de rochas básicas (doleritos e dioritos), os mesmos poderão ser explorados para a construção civil (saibro), com o uso de explosivos;
- tendo em vista a grande área de aluvião, a mesma poderá ser usada como implantação de parques e áreas de preservação.

Nos estudos voltados a projetos de obras civis, os levantamentos de solos contém informações que podem ser úteis, contribuindo (no caso de estradas) para a concepção do traçado mais viável para ferrovias, em termos técnicos e econômicos, sugerindo a indicação de locais de ocorrência de materiais de construção e a previsão de fenômenos geológico-geotécnicos, como erosão e escorregamentos, tanto em taludes naturais como artificiais. Quando da utilização dos mapas pedológicos, a necessidade de consultar os

boletins que acompanham estes mapas é fundamental, pois neles são encontradas as informações sobre o meio físico, assim como tipos de relevo, litologias, clima, cobertura vegetal e descrições detalhadas das classes de solos, bem como as descrições de seus horizontes, com os respectivos dados analíticos.

## 12. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

Após a análise dos dados desta pesquisa, pode-se estabelecer as seguintes recomendações e sugestões a serem implementadas no trabalho de doutoramento:

- verificar, em campo, a acurácia das as aproximações feitas para ajuste do mapa Pedológico;
- elaborar o mapa pedológico da região estudada em meio digital numa escala mais adequada que a utilizada na elaboração desse mapeamento geotécnico;
- elaborar mapas temáticos da região tais como erodibilidade, nível freático, declividades, hidrográfico (delimitação da bacia hidrográfica), para estudar uma melhor adequabilidade do uso do solo;
- analisar mais detalhadamente os solos que compõe a região tendo em vista a heterogeneidade e descontinuidade da Formação Guabirota;
- coletar amostras para ensaios geotécnicos, dos diversos tipos de solos que compõem as unidades geotécnicas, tais como cisalhamento, adensamento e caracterização;
- obter o maior número possível de resultados de ensaios de sondagem à percussão com circulação de água, mais próxima da realidade, dos perfis do terreno;
- analisar minuciosamente o mapeamento planialtimétrico juntamente com o mapa de materiais inconsolidados, para estabelecer, com precisão, as regiões de latossolo com vistas ao mapeamento pedológico;
- ampliar a escala do mapa pedológico para melhor caracterizar as inclusões existentes nas áreas de latossolos tendo em vista a heterogeneidade da Formação Guabirota;
- mapear as áreas para empréstimo de materiais para uso da engenharia civil.

### 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB' SABER, A . N.** Notas a respeito do sítio urbano de Curitiba. Geomorfologia. São Paulo (3): 1-7. 1960.
- ABNT .** Solos e Rochas : NBR 13441. Rio de Janeiro. 1995.
- ABNT.** Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos: NBR-6484. Rio de Janeiro, 1980.
- AGUIAR, R.L.** Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos – SP: contribuição ao planejamento. São Carlos. 2v. Depto. Geotecnia. EESC/USP. São Paulo, 1989. Dissertação de Mestrado.
- ALMEIDA, F.F.M. de.** Novas ocorrências de camadas supostas Pliocênicas nos Estados de São Paulo e Paraná, Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 1, pp. 53-58, São Paulo. 1952.
- ANTUNES, Franklin dos Santos.** O uso da Pedologia na Engenharia. II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL; 29-30 novembro e 1º de dezembro. Porto Alegre – RS. CPGEC/UFRS.
- BECKER, R.** Aspectos geológicos, sedimentológicos e geomorfológicos da Bacia de Curitiba, Tese de Doutorado, UFRS. 1982.
- BIGARELLA, João José. & SALAMUNI, Riad.** Considerações sobre o Paleoclima da Bacia de Curitiba. Bol. Inst. Hist. Natural, Geologia, 1, 10 p., Curitiba.1958.
- BIGARELLA, João José. & SALAMUNI, Riad.** Notas complementares à Planta Geológica da Cidade de Curitiba e arredores, Inst. Bol. Pesq. Tec., Bol. Nº40, 14 p., c/ mapa, Curitiba. 1959.
- BIGARELLA, João José. & SALAMUNI, Riad.** Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Boletim da UFPR- Geologia n.7 (1ª parte). Conselho de Pesquisa - Instituto de Geologia .1961.
- BIGARELLA, João José., SALAMUNI, Riad., AB'SABER, Aziz N.** Origem e ambiente de deposição da Bacia de Curitiba – PR. UFPR. 1962.

- CAPUTO**, Homero Pinto. Mecânica dos Solos - e suas aplicações. Livros Técnicos e Científicos Editora AS-RJ-1973.
- CASANOVA**, F. J. O Ensaio do Azul de Metileno na Caracterização de Solos Lateríticos. Anais da 21ª Reunião Anual de Pavimentação. ABPJ. Rio de Janeiro.1986. v. 2 p. 276-283.
- CHAMECKI**, Paulo Roberto. & **KORMANN**, Alessander C. M.; **NASCIMENTO**, Ney Augusto.; **DYMINSKI**, Andreia S. Sítio Experimental de Geotecnia da UFPR – objetivos e dados preliminares. 1996, p. 819-826.
- CHEN**, T.J.; **SANTOS**, P.S; **FERREIRA**, H.C.; **CALIL**, S.F.; **ZANDONADI**, A R.; **CAMPOS**, L.V. Determinação da capacidade de troca de cátions e da área específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo azul de metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. Cerâmica, 79, pp.305-326.1974.
- COELHO**, A.M.L.G. A cartografia geotécnica no planejamento regional urbano: experiência de aplicação na região de Setubal. Lisboa: LNEC. 157p.
- COULON**, F.K. Mapa geotécnico das folhas de Morretes e Montenegro.(RS). Porto Alegre : FAPERGS, 1974.
- COSTA**, J.B. Caracterização e constituição do solo. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p.527 . 1973.
- CUISSET**, O . Proprietés électrocinétiques des particules argileuses. Application de la méthode électrophorétique aux problemes d’environnement et d’identification des sols. Rapport de recherche. Labo Central des Ponts et Chaussées, 96. Paris. 1980.
- DEARMAN**, W.R., **FOOKES**, P.G. Engineering geological mapping for civil engineering practice in the United Kingdon. Quartely Journal of Engineering Geology, v.7, p. 223-256. 1974
- DIAS**, Regina D. et al. – Proposição de um método de obtenção de características geotécnicas de solos superficiais utilizando levantamentos pedológicos, topográficos e geológicos. Anais do 4º Congresso Brasileiro de geologia de Engenharia, ABGE, Belo Horizonte, 1984.v.2. pp 367-386

- DIAS**, Regina D. Investigação de solos utilizando levantamentos pedológicos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL. Porto Alegre. 1985.UFRS. Curso Pós graduação em Engenharia Civil. p. 17-36.
- DIAS**, Regina D. Aplicação de Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro .1987
- DIAS**, Regina D. Geomecânica dos solos lateríticos do sul do Brasil. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, 2, Porto Alegre. 1989. CPGEC/UFRGS,1989. P.96-120.
- DUARTE**, Joaquim Monteiro Garcez. Um estudo geotécnico sobre o solo da Formação Guabirotuba, com ênfase na determinação da Resistência Residual, na USP-SP, 1986. Dissertação de Mestrado.
- EMBRAPA**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Definição e notação de horizontes e camadas do solo. 2 ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1988 . 54p. (Documento, 3).
- FARIAS**, I.C. et al. S.d. Guia para la elaboration de estudio del médion físico: contemido y metodologia. 2 ed. Madrid: CEOTMA/MOPU. 572. II. (Serie Manueles,3). 1984.
- FEREIRA**, S.R.M. et. al. Parâmetros de solos não convencionais utilizados em barragens de terra no Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. Anais...São Paulo: ABGE, 1987. v.1 p.123-124.
- FELIPE**, R.S. et. al. Mapeamento geológico-geotécncio na região do Alto Iguaçu. Curitiba : MINEROPAR, 1994, 2V. Convênio COMEC-MINEROPAR.
- FELIPE**, Rogério da Silva. A erodibilidade da Formação Guabirotuba. (ANAIS DE MESA REDONDA).Imprensa Universitária da UFPR. Artigos – Contexto Geológico da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, UFPR – MINEROPAR S/A .Curitiba, PR, 1999.

- FORTES, R.M.** Método Expedito de Identificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias, utilizando-se anéis de PVC rígido. Escola Politécnica da USP.PTR.São Paulo, 1990. Dissertação de Mestrado.
- FORTIN, P.** Mobilisation, fractionnement et accumulation de terres rares lors del'alteration lateritique de sediments argilo-sableux du Bassin de Curitiba (Brésil). Oaris 1989. Tese de Doutorado. École de Mirs de Paris.
- GIUSTI, Donizeti Antônio.** Contribuição a Geologia Ambiental no município de Curitiba - PR. USP-SP, Instituto de Geociências. 1989. Dissertação de Mestrado.
- GODOY, M.C.F.F.** Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente – SP. São Carlos. Dissertação de Mestrado. EESC-USP, São Paulo, 1989.
- GRANT, K.** Terrain features of the Mt. Isa-Djara region and a assesment of their significance in relation to potencial engineering land use. Austrália: CSIRO. Soil Mechanics Section. p. 3-110. (Technical Paper,1). 1965.
- GRANT, K. FINLAYSON, A. A.** The assesment and evaluation of geotechnical resources in urban or regional environments. Eng. Geol., nº 12, p. 219-293. 1978.
- GREHS, S.A.** A importância do geólogo no estudo preventivo de escorregamentos, deslizamentos e outros aspectos correlatos. In: CONGRESSO DE GEOLOGIA, 21, 1967. Curitiba. Anais...Curitiba:SBG. P. 119-123
- GUERRA, Antônio Teixeira & GUERRA, Antônio José.** Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Rio de Janeiro:Editora Bertrand do Brasil, 1997.
- HABERLEHNER, H.** Análise sismotectônica do Brasil; notas explicativas sobre o mapa sismotectônico do Brasil e regiões correlacionadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, 1978, São Paulo. Anais...São Paulo:ABGE,1978.v.1 p.297-330.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY.** Comission on Engineering Geological Maps. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: UNESCO. 79p. (Earth Science, 15). 1976.
- KING, L.C.** A Geomorfologia do Brasil Oriental, Rev. Bras. Geografia, ano XVIII, nº2, pp. 147-263, Rio de Janeiro. 1957.

- LAN, T.N.** Un nouvel essai d'identification des sols: l'essai au bleu de méthylène. Bull. Liason Labo. Ponts et Chaussées, 88, pp. 136-137. Paris. 1977.
- LAN, T.N.** L'essai au bleu de méthylène. Un progrès dans la mesure et le contrôle de la propreté des granulats. Bull. Liason Labo. Ponts et Chaussées, 107, pp. 130-135. Paris. 1980.
- LAN, T.N.** Utilisation de l'Essai au Bleu de Méthylène en terrassement routier. Bull. Labo. Ponts et Chaussées, 111, pp 5-16. Paris. 1981.
- LARACH, Jorge Olmos I. & CARDOSO, Alcides., CARVALHO, Américo Pereira de., HOCHMÜLER, Délcio Peres. FASOLO, Pedro Jorge., RAÜEN, Moacyr de Jesus.** Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, tomo I e tomo II, EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Vinculada ao Ministério de Agricultura. Serviço Nacional de Levantamentos e Conservação de Solos, Boletim Técnico n.57 e IAPAR - Fundação Instituto do Paraná vinculada a Secretaria de Estado da Agricultura - Projeto Especial Levantamento de Solo – Boletim Técnico n.16, Londrina : PR, 1984.
- LAUTRIN, D.** Une procédure rapide d'identification des argiles. Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées, 152 pp. 75-84. Paris. 1987.
- LAUTRIN, D.** Utilisation Pratique des Paramètres Derivés de l'Essai au Bleu de Méthylène dans les Projets de Genie Civil, Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées, 53-65. Paris. 1989.
- LOPES, Antônio Urroz.** Nota Explicativa da Folha Geológica de Curitiba. Boletim UFPR, nov. 1966, Geologia n. 20.
- MAACK, R.** Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Arquivos de Biologia e tecnologia. 1947.
- MACIEL FILHO, Carlos Leite.** Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria, RS. Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1977. 123p. Dissertação de Mestrado.
- MACIEL FILHO, Carlos Leite.** Introdução à Geologia de Engenharia. Editora da UFSM, 1997- UFSM-CPRM.

- MATHEWSON, C.C., FRONT, R.G.** Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process. In: THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. Engineering geology: cases histories. 1974
- MATULA, M.** Recommended symbols for engineering geological mapping. Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. Bul IAEG, nº 24, p. 227-234. 1981.
- MEIRELES, J.M.F.** Erosão de taludes de estradas. Segunda Jornada Luso-Brasileira de Engenharia Civil. Rio de Janeiro e São Paulo. 1967.
- MENDES, José Camargo.** Boletim Paranaense de Geografia, n.4 e 5, nov. 1961, Artigos. Algumas considerações sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná. 1961.
- NOGAMI, Job Shuji. & COZZOLINO.V.M.N.** Identificação de Solos Tropicais: Dificuldades e Propostas de um Método Preliminar. Anais da XX Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro. 1985. vol.1 p. 115/134.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.** Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 19pp. 196-199. 1979.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.** Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. Anais Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, vol.1 30/41. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 1981.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.** Os Solos Tropicais Lateríticos e Saprolíticos e a Pavimentação. Anais da 18ª Reunião Anual de Pavimentação, Porto Alegre, vol. 2, 463/484. ABPv. Rio de Janeiro. 1983.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.** Identificação Expedida dos Grupos de Classificação MCT para Solos Tropicais. Anais do X COBRAMSEF-Foz do Iguaçu, vol 4. 1994.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.** Pavimentação de baixo custo com Solos Lateríticos. São Paulo. 1995.
- NOGAMI, Job Shuji. & VILLIBOR, Douglas Fadul.; BERNUCCI, Ledi Bariani.** Comparações entre os Métodos Tradicionais e a MCT no estudo geotécnico de

solos tropicais para Pavimentação. 31ª Reunião Anual de Pavimentação. São Paulo. out. 1998. p. 721-740.

**OENNING, I.** et al. Pedologia. Levantamento exploratório de solos. In: IBGE. Folha SG.22 Curitiba, parte da folha SG. 23 Assuncion e folha SG. 23 Iguape/ no prelo/.

**OLIVEIRA, João Bertoldo de., JACOMINE, Paulo Klinger T., CAMARGO, Marcelo Nunes.** Classes gerais de solos do Brasil - guia auxiliar para seu reconhecimento. FUNEP (produzido por Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia e São Francisco Gráfica e Editora Ltda.- Ribeirão Preto-SP) e UNESP, 1992.

**OLIVEIRA, A. M dos Santos, BRITO, Sérgio Alves.** Geologia de Engenharia. ABGE-CNPQ-FAPESP.1998.

**PEJON, Osni José. & RODRIGUES, J. E.** Análise Geológica – Geotécnica da região de Araraquara, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 5, 1987, São Paulo. (Anais). São Paulo. ABGE, 1987. v. 2, p. 279-290.

**PEJON, Osni José.** Mapeamento Geotécnico regional da folha de Piracicaba – SP. (escala 1:1000.000) estudos de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1992. V.2. Tese de Doutorado.

**PEREIRA, Eliana M., & PEJON, Osni J.** Estudo do Potencial expansivo dos Materiais Argilosos da Formação Guabirotuba na Região do Alto Iguazu – PR. (ANAIS DE MESA REDONDA) set. 1999, Curitiba- Imprensa Universitária da UFPR. Artigos – Contexto Geológico da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, UFPR - Departamento de Geologia. 1999.

**SALAMUNI, Eduardo.** Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba(PR). Universidade Estadual Paulista-UNESP/Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Campus Rio Claro. Curitiba, PR, dez., 1998. Tese de Doutorado

**SALAMUNI, Eduardo., SALAMUNI, Riad.** Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba (ANAIS DE MESA REDONDA) set. 1999, Curitiba-Imprensa

Universitária da UFPR. Artigos - Contexto Geológico da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, UFPR - Departamento de Geologia. 1999.

**SALAZAR JÚNIOR**, Oscar *et al.* Mapeamento Geológico – Geotécnico nas Folhas COMEC A137, A138, A139 e A140. Convênio 04/95 – COMEC/MINEROPAR – Mineropar – Minerais do Paraná S/A . Curitiba. nov. 1996.

**SANEJOUAND, R.** La cartographie géotechnique en France. Paris: Ministère de l'Équipement et du Logement, 1972. 95p.

**SANTOS**, Glaci. Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia. Tese de Doutorado. UFRS/Escola de Engenharia/Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM, Porto Alegre, 1997.

**SANTOS**, Glaci. Características Geotécnicas dos Solos em Florianópolis. 1º Curso Catarinense – geotécnicos em geotecnia e meio ambiente. 1999.

**SANTOS**, M.P.P. & **CASTRO**, E. Soil erosion in roads. Memória 282. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1966.

**SANTOS**, M.P.P. & **CASTRO**, E. Estudos sobre erosão em taludes. Segunda Jornada Luso-Brasileira de Engenharia Civil. Rio de Janeiro e São Paulo. 1967.

**SANTOS**, Pérsio de Souza. Tecnologia de Argilas- aplicada às argilas brasileiras. v. 1 Fundamentos, v. 2 – Aplicações. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., Editora da Universidade de São Paulo, 1975.

**SIELDLECKI**, Katia N., **FIORI** Alberto Pio. Comportamento Geotécnico do Solo Residual da Formação Guairotuba (PR) à interação com Soluções Contaminantes. Mineropar – Minerais do Paraná SA, Curitiba -PR. UFPR - Departamento de Geologia. 1999.

**SOUZA**, Noris Costa Diniz Coelho de. Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração, USP - Escola de Engenharia de São Carlos 1992. Dissertação de Mestrado.

**TEIXEIRA**, Victor Hugo. Geologia – ECV 5139. UFSC - Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 1982.

- TOMAS, A.** Réflexion sur la cartographie géotechnique. In: International Congress of the International Association of Engineering Geology,1, 1970. Paris. Proceedings... Paris: IAEG.
- UNESCO.** ZAEG Engineering geological maps. A guide to their preparation. Paris: The Unesco press, 1976. 79 p.
- VARGAS, Milton.** Introdução à Mecânica dos Solos. São Paulo:McGraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.
- VIEIRA, Lúcio S. & VIEIRA, Maria de Nazareth F.** Manual de Morfologia e Classificação de Solos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1983.
- VILAR, O.M..** Formulação de um modelo matemático para erosão dos solos pela chuva. Tese de Doutorado. EESC – USP-SP, 1987.
- VILLIBOR, D.F; NOGAMI, J.S.; FABRI, G.T.P.** Proteção à erosão de pavimentos de baixo custo. 21ª Reunião Anual de Pavimentação-ABPV.Salvador-Ba. 1986.
- ZUQUETTE, Lázaro Valentim.** Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos, 1967. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos. USP, 673 p.
- ZUQUETTE, Lázaro Valentim.** Mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos. EESC-UPS. Dissertação de Mestrado. 1981.
- ZUQUETTE, Lázaro Valentim.** Importância do Mapeamento Geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração, USP São Carlos, Departamento de Geotecnia, 1993. Tese de Livre Docência.