

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR

**PROJETO GEOTECNIA - REGIÃO METROPOLITANA
DE CURITIBA**

MAPEAMENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO NAS

**FOLHAS COMEC A100, A103 e A093 (PARCIAL)
CONVÊNIO 04/95 - COMEC / MINEROPAR**

2º TERMO DE AJUSTE

**VOLUME I
TEXTO**

M
624.13
(816.21A)
M 664m

CURITIBA

SETEMBRO / 1997

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR

**PROJETO GEOTECNIA - REGIÃO METROPOLITANA
DE CURITIBA**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO NAS
FOLHAS COMEC A100, A103 e A093 (parcial)**

**CONVÊNIO 04/95 - COMEC/MINEROPAR
2º TERMO DE AJUSTE**

**VOLUME I
TEXTO**

**Curitiba
Setembro/1997**

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

Jaime Lerner

Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E
DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - SEID**

Deputado Nelson Justus

MINERAIS DO PARANÁ S.A. - MINEROPAR

Omar Akel

Diretor Presidente

Marcos Vitor Fabro Dias

Diretor Técnico

Heloisa Monte Serrat de Almeida Bindo

Diretora Administrativo Financeira

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO NAS
FOLHAS COMEC A100, A103 e A093 (parcial)**
Convênio 04/95 - COMEC / MINEROPAR

**PROJETO GEOTECNIA - REGIÃO METROPOLITANA
DE CURITIBA**

Gerente de Projeto

Geólogo Oscar Salazar Júnior

Elaboração

Geólogo Luís Marcelo de Oliveira

Geólogo Rogério da Silva Felipe

Geóloga Elaine A. Bonacim

Geólogo Oscar Salazar Júnior

Apoio

Geóloga Kátia Norma Siedlecki

Técnico José Eurides Langner

Técnico Antônio Perdoná Alano

Técnico Miguel Ângelo Moretti

Técnico Clóvis Roberto da Fonseca

Prospector Paulo Augustynczyk

Prospector Genésio Pinto Queiroz

Prospector Manoel de Cristo

Prospector Antonio Mariano de Brito

Desenho

Roseneide Ogleari

Datilografia

Beatriz Rodacoski

Estagiários

Edmundo Talamini Neto

Heraclides José Cordeiro

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS.....	1
3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	1
4 - EQUIPE TÉCNICA.....	2
5 - ATIVIDADES REALIZADAS E DADOS DE PRODUÇÃO.....	3
6 - ASPECTOS METODOLÓGICOS	4
6.1 - Ensaios Geotécnicos.....	5
6.2 - Registro dos Pontos Geológicos.....	8
6.3 - Registro de Ensaios, Sondagens e Perfis Magnetométricos	8
6.4 - Cadastramento de Medidas do Lençol Freático, Atividade Mineral e Pontos de Poluição	9
6.5 - Declividades	10
6.6 - Geração de Mapas Temáticos	12
7 - GEOLOGIA DA ÁREA	13
7.1 - Aluviões Recentes	13
7.2- Sedimentos Inconsolidados sobre Metacarbonatos	13
7.3- Formação Guabirotuba	14
7.4- Intrusivas Básicas	14
7.5 - Grupo Açungui	14
7.6- Calco-Xistos	17
7.7- Complexo Gnáissico-Migmatítico	17
8- MATERIAIS INCONSOLIDADOS	18
8.1 - Solos Hidromórficos sobre Aluviões e Planícies Cársticas	21
8.2 - Solos Residuais da Formação Guabirotuba	21
8.3 - Solos Residuais e/ou Transportados sobre Gnaisses e Migmatitos.	24
8.4 - Solos Residuais de Metadolomitos	25
8.5 - Solos Residuais de Metapelitos	26
8.6 - Solos sobre Rochas Quartzíticas	27
8.7 - Solos Residuais ou Transportados sobre Diabásios	27
8.8 - Solos Transportados	29

9 - ADEQUABILIDADE PARA LOTEAMENTOS RESIDENCIAIS	30
9.1 - Unidade de Terreno A	31
9.2 - Unidade de Terreno A'	32
9.3 - Unidade de Terreno GD	33
9.4 - Unidade de Terreno CR	34
9.5 - Unidade de Terreno DR	35
9.6 - Unidade de Terreno DT	36
9.7 - Unidade de Terreno MP	37
9.8 - Unidade de Terreno QZ	38
9.9 - Unidade de Terreno DB	38
9.10 - Unidades com Declividades Superiores a 30%	39
10 - RISCOS GEOLÓGICOS	39
10.1 - Inundações	40
10.2 - Afundamentos Cársticos	41
10.3 - Movimentos de Massa	47
10.4 - Erosão	53
10.5 - Poluição das Águas	55
11 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

APÊNDICE 1 - Tabulação dos Ensaios Geotécnicos

APÊNDICE 2 - Diagramas de Classificação Textural

1 - INTRODUÇÃO

O mapeamento geológico-geotécnico na região denominada Área III a Norte de Curitiba, correspondente às folhas COMEC A100, A103 e A093 (parcial), foi realizado dentro do Convênio de Cooperação Técnica nº 04/95 de 31.07.95, celebrado entre a Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação 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.

Os referidos trabalhos foram definidos no 2º Termo de Ajuste ao Convênio, assinado em 05.02.1997, com prazo estabelecido até 05.08.97 e prorrogado pelo 1º termo aditivo até 31.10.97.

2 - JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

As justificativas do trabalho se relacionam com os problemas de ocupação territorial na Região Metropolitana de Curitiba. Neste contexto os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico são necessários para a constituição de uma base de dados do meio físico que permita à COMEC reordenar a ocupação territorial. Os principais objetivos do mapeamento geológico-geotécnico são relacionados a seguir:

- a) Fornecer mapas básicos e temáticos relativos às declividades, à distribuição das unidades geológicas, às diferentes coberturas inconsolidadas, à profundidade do lençol freático, entre outros;
- b) Fornecer mapa geotécnico geral, indicando as diferentes unidades de terreno e as suas características;
- c) Fornecer mapa de adequabilidade para loteamentos, indicando as áreas mais favoráveis ou restritas aos diferentes tipos de ocupação;
- d) Constituir base de dados geográfica em meio magnético contendo os diferentes mapas, bancos de dados, medidas da profundidade do lençol freático, atividade mineral e pontos de poluição (ativo ou potencial), sondagens e ensaios geotécnicos, incluindo trabalhos realizados por outras empresas e instituições. Estes dados estão referidos à base cartográfica da COMEC na escala 1:20.000.

3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de trabalho abrange aproximadamente 267 km² (figura 01) a Norte de Curitiba, incluindo parte dos municípios de Curitiba, Almirante Tamandaré, Colombo, Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul. A área abrange as folhas topográficas A100, A103, A093 (parcial) da COMEC (1976), e foi selecionada pelo Departamento de Planejamento da COMEC como prioritária em função do adensamento populacional nos

arredores de Curitiba e pela necessidades de compatibilização da ocupação territorial com a utilização de água subterrânea para abastecimento público.

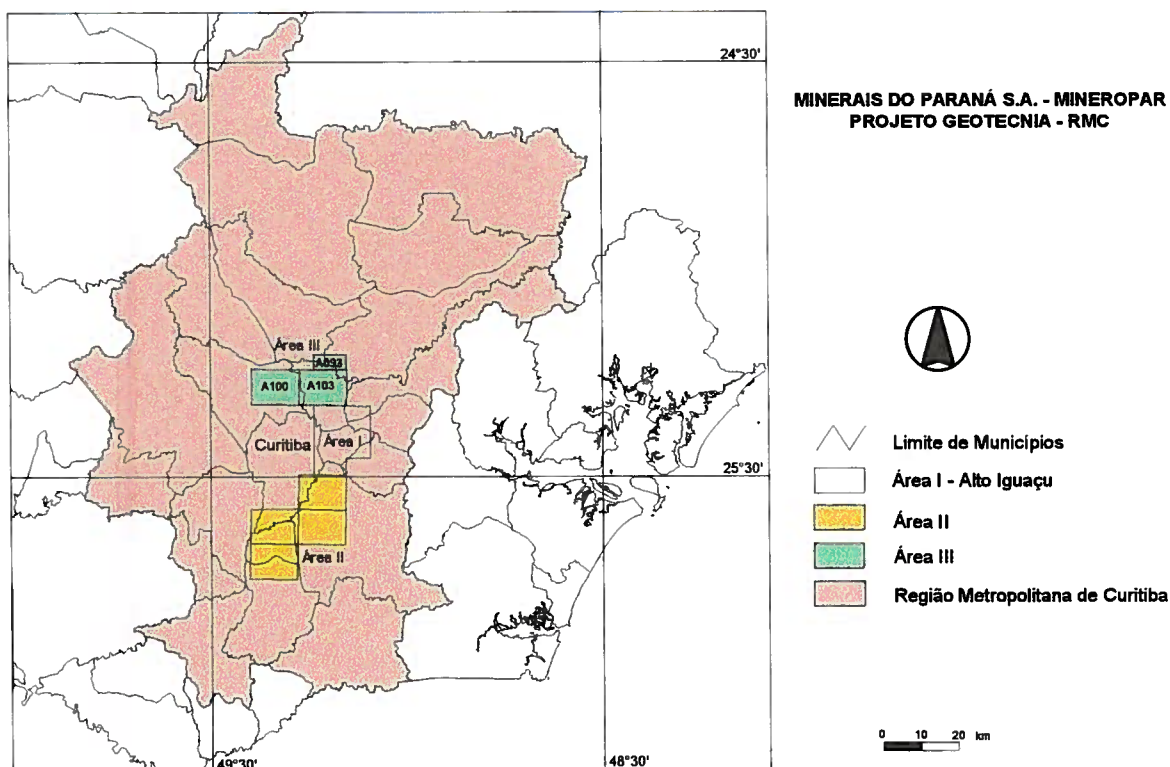


Figura 01 - Localização da Área III - folhas A100, A103, A093 (parcial).

4 - EQUIPE TÉCNICA

O projeto Área III foi executado pela MINEROPAR, com a participação da seguinte equipe técnica:

Projeto Geotecnia - RMC

Geólogo Luís Marcelo de Oliveira
 Geólogo Rogério da Silva Felipe
 Geóloga Elaine Aparecida Bonacim
 Geólogo Oscar Salazar Júnior
 Técnico José Eurides Langner
 Técnico Miguel Ângelo Moretti
 Técnico Clóvis Roberto da Fonseca
 Prospector Paulo Augustynczyk
 Prospector Genésio Pinto Queiroz
 Estagiários: Edmundo Talamini Neto
 Heraclides José Cordeiro

DILAB - Divisão de Laboratório

Geóloga Kátia Norma Siedlecki
 Técnico Antônio Perdoná Alano

Laboratoristas: Alceu da Rocha Oliveira
José Renato Dionízio

5 - ATIVIDADES REALIZADAS E DADOS DE PRODUÇÃO

No decorrer dos trabalhos foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Revisão bibliográfica.
- b) Compilação de dados geológicos e geotécnicos de trabalhos executados por outras empresas ou instituições.
- c) Fotointerpretação com aerofotos 1:25.000 e 1:60.000.
- d) Levantamentos de campo, incluindo perfilagens geológicas, descrição de afloramentos, amostragens geotécnicas e sondagens.
- e) Perfilagens magnetométricas sobre diques de diabásio.
- f) Cadastramento de pontos de poluição, medidas do lençol freático e atividade mineral.
- g) Ensaaios geotécnicos de laboratório.
- h) Digitalização dos mapas básicos e temáticos.
- i) Processamento de dados no sistema de informações geográficas Arc/Info.
- j) Interpretação de dados e elaboração de mapas básicos e temáticos.
- k) Relatório final.

Resumo dos dados de produção:

- Área cartografada: 267,29 km².

A100=116,21 km²; A103=116,22 km²; A093=34,86 km².

- Fotointerpretação: 25 aerofotos 1:25.000 e 07 aerofotos 1:60.000.

- Afloramentos descritos: 720.

A100=255; A103=339; A093=126.

- Poços cacimba medidos: 79.

A100=35; A103=26; A093=18.

- Pontos de atividade mineral cadastrados: 178.

A100=104; A103=48; A093=26.

- Pontos de poluição: 82.

A100=35; A103=32; A093=15.

- Ensaaios geotécnicos: 423 ensaios em 91 amostras.

A100=39 amostras - 170 ensaios.

A103=37 amostras - 179 ensaios.

A093=15 amostras - 74 ensaios.

- Digitalização: 1.022 horas.

- Furos a trado: 35.

A100=19; A103=16.

- Sondagens à percussão: 18.

A100=7; A103=7; A093=5.

- Perfilagem magnetométrica: 18.010m.

A100=9.790m; A103=8.220m.

- Quilometragem percorrida: 11.065km.

- Dias de campo: 83.

6 - ASPECTOS METODOLÓGICOS

O mapeamento geológico-geotécnico foi realizado segundo metodologia adaptada de Zuquette (1987) e Souza (1992), a partir de um conjunto de princípios fundamentais dentro das condições brasileiras. Os procedimentos adotados compreendem a seleção de atributos, verificação das relações atributos *versus* tipos de ocupação e elaboração para os usuários de documentos gráficos básicos e interpretativos, de prognósticos e conclusivos.

Ao longo dos projetos já realizados pela MINEROPAR para a COMEC no Alto Iguaçu (Área I - Felipe *et al.*, 1994) e sul de Curitiba (Área II - Salazar Jr. *et al.*, 1996), foram testados os diversos passos metodológicos, descritos na seqüência. Os tipos de ocupação considerados de maior interesse são relacionados a seguir (Zuquette, 1993):

Urbanas

Áreas residenciais; vias de acesso; barragens/aterros; parques industriais; áreas de extração de materiais de construção (areia, brita, argila); zonas de inundação; loteamentos; canalizações; resíduos sépticos e aterros sanitários; cemitérios; áreas de ocorrência de eventos perigosos.

Regionais

Rodovias e ferrovias; linhas de transmissão; barragens; aterros sanitários.

Rurais

Agroindústria; pecuária e agricultura; projetos de irrigação.

Em função dos diferentes tipos de ocupação verifica-se que o equilíbrio ambiental depende da aplicação de conhecimentos geológicos associados aos outros componentes do meio. Isto permite reduzir os custos dos processos de ocupação, evita o surgimento de custos futuros não previstos, decorrentes de limitações do meio ambiente, e propicia o aproveitamento de vantagens do meio físico. No trabalho foram considerados os seguintes componentes e atributos (tabela 01), de acordo com Zuquette (1993):

COMPONENTE	ATRIBUTOS
Águas	- Escoamento superficial. - Áreas de acúmulo de águas. - Densidade de canais. - Bacias hidrográficas. - Existência de aquíferos. - Profundidade do lençol freático.
Geomorfologia	- Declividade e sentido. - Formas de relevo. - Formas e comprimentos de encostas.
Geologia	- Tipo rochoso ou grupo litológico. - Mineralogia. - Densidade. - Permeabilidade. - Grau de intemperismo. - Erosão. - Assoreamento. - Movimentos de massa. - Materiais inconsolidados (textura, origem, espessura). - Capacidade de troca catiônica. - Processos de intemperismo e pedogênese. - Variação em profundidade. - Características químicas.

Tabela 01 - Componentes e respectivos atributos considerados no mapeamento geológico-geotécnico. Adaptado de Zuquette (1993).

6.1 - Ensaios Geotécnicos

Para permitir a caracterização das unidades geotécnicas foram utilizados ensaios de laboratório para obtenção de parâmetros relativos às propriedades químicas, físicas e mineralógicas das diversas amostras. A determinação destes atributos permite a avaliação do comportamento geotécnico dos materiais analisados. A relação de resultados obtidos nos ensaios geotécnicos está representada no Anexo 1 (Volume II) e um resumo por tipo de material inconsolidado encontra-se no Apêndice 1 (Volume I) e os diagramas de classificação textural no Apêndice 2 (Volume I).

A amostragem é considerada etapa crítica do mapeamento geotécnico, uma vez que o número é limitado pelo custo e há necessidade de representatividade das unidades delimitadas. Foram realizadas amostras completas em algumas unidades, para cada folha, e executadas amostras complementares com menor número de ensaios, para maior segurança na extrapolação dos valores obtidos. Os tipos de ensaios são:

Granulometria/Sedimentação

Este ensaio expressa a classe textural da amostra em função da distribuição percentual das partículas. O princípio utilizado foi a desagregação mecânica da amostra, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas por sedimentação em meio aquoso - método da pipeta e norma técnica NBR 7181/84 (ABNT).

Índices de Campo

Os índices de campo são índices físicos do solo, expressos por parâmetros representativos do seu estado na época da amostragem. Determinam-se diretamente três índices: teor de umidade, massa específica de campo e massa específica dos sólidos. Os outros índices, relativos à porosidade, índice de vazios e grau de saturação, são calculados através de fórmulas de correlação. Para a massa específica dos sólidos adotou-se a norma técnica da ABNT (NBR 6508/84). Todas as amostras ensaiadas foram submetidas à fervura em picnômetro, para expulsar gases intersticiais, conforme modelo preconizado pelo DER - PR. A massa específica seca de campo foi determinada pelo método do anel, proposto por Zuquette (1987). Com auxílio de um cilindro de PVC rígido retira-se do terreno uma amostra indeformada, de volume conhecido. O cálculo é feito após determinado o peso do solo seco.

Os parâmetros decorrentes de correlação são os seguintes:

Índice de vazios: é apresentado como um número puro e pressupõe o conhecimento do valor da massa específica dos sólidos e da massa específica de campo.

Porosidade: é normalmente apresentada em percentagem, sendo maior do que zero e menor do que 100%.

Grau de saturação (em relação à água): seus valores estão compreendidos no intervalo fechado de 0 - 100%.

Proctor Normal

Este ensaio consiste na compactação de solo em laboratório para determinar a curva de variação da massa específica seca em função do teor de umidade, para uma dada energia de compactação. Além desta curva, o ensaio fornece também a variação do grau de saturação em função do teor de umidade. Como resultado final obtém-se o valor da massa específica seca máxima e o teor de umidade ótima, que tem aplicações em obras de terra compactada, indicando as condições ideais de compactação máxima. Na execução, para diferentes teores definidos de umidade, aplica-se no corpo de prova um número especificado de golpes, seguido da pesagem do mesmo.

Limites de Liquidez e Plasticidade

Estes indicadores são definidos pelos teores de umidade que separam dois estados de consistência de um solo, caracterizando-se os limites de liquidez e de plasticidade. O limite de liquidez é definido como o teor de água, expresso em porcentagem de argila seca a 110°C, acima do qual a massa flui como líquido (metodologia de Casagrande). O limite de plasticidade é definido como o teor de água expresso em porcentagem, de argila seca a 110°C, acima do qual a massa pode ser enrolada em cilindros de 3 a 4cm de diâmetro e 15cm de comprimento (Souza Santos, 1989).

Capacidade de Troca de Cátions - CTC

Em função da característica das argilas de reação eletroquímica reversível com cátions, realiza-se este ensaio para avaliar esta capacidade de troca química. Este atributo é importante, já que os cátions permutáveis influem fortemente no comportamento agrônomo e geotécnico da fração fina (no tocante à disposição de rejeitos, erosão, retenção de poluentes, etc).

Para a determinação da CTC foi adotado o método da adsorção de azul de metileno (Beaulieu, 1979, *in* Pejon, 1992), que permite determinar ainda outros parâmetros, como a superfície específica (SE) e os índices Vb e Acb, que indicam respectivamente a quantidade de azul de metileno adsorvido em 100g de solo e em 100g de argila, sendo assim possível a caracterização da atividade da fração argilosa, bem como o comportamento do solo (Lautrin, 1989, *in* Pejon, 1992).

O azul de metileno (C-H-N-S-Cl-H-O) é um corante orgânico que em solução aquosa dissocia-se em ânions cloreto e cátions azul de metileno. O cátion de azul de metileno substitui Na, K, Ca, Mg, H e O, adsorvidos aos argilo-minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível passível de ser mensurado e indicativo da capacidade de troca de cátions. Proceda-se ao gotejamento da suspensão do solo, retirando-se depois gotas que são dispostas sobre um papel de filtro. Formando-se uma mancha escura o ensaio prossegue até o surgimento de uma auréola azul clara na borda externa da mancha. Neste momento exauriu-se a capacidade de troca de cátions, obtendo-se os índices correspondentes.

Potencial de Hidrogenação (pH)

O pH de uma argila resulta, em parte, da natureza dos cátions trocáveis presentes. A variação de cargas negativas ou mesmo positivas (em valores de pH muito baixo) pode interferir na determinação da CTC e da SE. Por esse motivo determinou-se o pH da suspensão em que o ensaio foi realizado, o pH do solo em água e em solução de KCl, conforme metodologia de Camargo & Muniz (s.d.). Quando o pH em KCl for menor que o pH em água ocorre predomínio de cargas negativas. Em caso contrário, imperam as cargas positivas na superfície dos argilos-minerais (Demattê, 1989).

Permeabilidade

A permeabilidade é expressa pelo volume de fluxo por unidade de área de uma seção, por unidade de tempo. A determinação do coeficiente de permeabilidade é dificultada pelo processo de amostragem, já que as amostras devem ser indeformadas, sendo coletadas em cilindros de PVC rígido. A amostra é muito vulnerável a fraturas, presença de raízes, espaços entre o material e o tubo. Em laboratório decidiu-se realizar dois ensaios por ponto amostrado, como medida de segurança, montando-se dois permeâmetros verticais de PVC rígido à carga constante, com filtros de areia acoplados às duas extremidades.

Erodibilidade

Nogami & Villibor (1979) propuseram um método de fácil execução para avaliação do índice de erodibilidade, que considera o efeito da secagem e permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração, baseando-se essencialmente na avaliação da absorção de água e na perda de peso por imersão.

Para o desenvolvimento do ensaio foi confeccionado equipamento composto de recipiente cilíndrico, com dimensões equivalentes ao cilindro de amostragem, ligado a um tubo de vidro graduado, disposto horizontalmente. O conjunto é preenchido com água e na porção superior do recipiente adapta-se uma rocha porosa que se mantém saturada. Sobre esta rocha coloca-se a amostra indeformada, seca e pesada, iniciando-se a contagem de tempo e procedendo-se as leituras do volume de água absorvido por intervalo de tempo.

Análise Térmica Diferencial - ATD

Consiste no aquecimento, em velocidade constante, de uma argila junto com uma substância termicamente inerte (geralmente óxido de alumínio - α), registrando-se as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a argila em estudo, em função da temperatura. Quando ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas elas aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termodiferencial. Esse método teve larga aplicação na identificação de argilas e suas misturas durante o decorrer do projeto.

6.2 - Registro dos Pontos Geológicos

O mapa de documentação 01 (Volume III) contém o registro dos pontos geológicos descritos pela MINEROPAR neste projeto e pontos geológicos compilados dos mapeamentos do curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Foram considerados os trabalhos de graduação das equipes: IV/2° 82; V/2° 82; VI/2° 82; IV/2° 83; II/2° 85; I/1° 87; II/1° 87; III/1° 87; I/2° 91; IV/2° 91.

No mapa foram utilizadas as siglas RG (A100) e LM (A103 e A093) para os pontos da MINEROPAR. Os pontos registrados nos levantamentos da Universidade foram separados em cores identificando as litologias descritas, sem a numeração original.

6.3 - Registro de Ensaios, Sondagens e Perfis Magnetométricos

Neste mapa, denominado mapa de documentação 02 (Volume III), foram registrados os pontos geológicos com amostragem e ensaio geotécnico, identificando-se as amostras onde foram executados ensaios completos ou complementares. Nas amostras com ensaios completos foram obtidos dados relativos à granulometria, índices de campo, proctor normal, limites de liquidez e plasticidade, absorção de azul de metileno, pH, permeabilidade, erodibilidade e determinação do argilo-mineral. Nas amostras complementares foram realizados apenas os ensaios de granulometria, índices de campo e absorção de azul de metileno (ver Anexo 1, ensaios geotécnicos, Volume II).

Além dos pontos geológicos foram registradas neste mapa as sondagens a trado e percussivas, realizadas pela MINEROPAR, as sondagens SPT compiladas da Sanepar e da ferrovia projetada Curitiba-Rio Branco do Sul, e os poços tubulares profundos para água subterrânea da Sanepar e Surehma. As siglas utilizadas são as seguintes:

RG e LM - Amostras para ensaios geotécnicos realizados pela MINEROPAR.

ST - Sondagens a trado realizadas pela MINEROPAR.

SP - Sondagens à percussão realizadas pela MINEROPAR no decorrer do projeto, com ensaio de SPT (teste de penetração padronizado), contratadas da empresa Sondagel - Sondagens Geológicas Ltda. A numeração refere-se à folha onde foi feita a sondagem: SP-100/n - folha A100; SP-103/n - folha A103 e SP-093/n - folha A093.

FB - Sigla adotada para identificar as sondagens à percussão compiladas do projeto do Novo Ramal Ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul, nas folhas A100 e A103, da Secretaria de Estado dos Transportes (1982).

SA - Sigla adotada para identificar as sondagens à percussão realizadas pela Sanepar na folha A103.

PT - Sigla adotada para identificar os poços tubulares profundos realizados pela Sanepar e Surehma, no âmbito das folhas A100, A103 e A093.

As sondagens referidas estão reproduzidas no anexo 3, 4 e 5 do Volume II. Estas descrições foram colocadas num formato padrão, em alguns casos com modificações, indicando-se as empresas responsáveis pelas sondagens.

Nas folhas A100 e A103 foram executadas perfilagens magnetométricas ao longo de 18.010m. O objetivo deste levantamento foi obter dados de espessura e localização de diques de diabásio. Estas rochas são importantes no condicionamento do aquífero cárstico (Lisboa & Bonacim, 1995), delimitando células no âmbito das rochas carbonáticas. Os dados magnetométricos foram obtidos por meio de serviços contratados ao Departamento de Geologia e estão inseridos no Anexo 6 (Volume II). Os levantamentos indicaram a presença de pequenos diques, muitas vezes não mapeáveis na escala de trabalho e de difícil visualização em superfície, forneceram dados de espessura e mostraram, em alguns casos, a disposição inclinada destes corpos. Ficou constatado que a feição geomorfológica observada principalmente nos terrenos carbonáticos, onde os diques formam ressaltos alongados para noroeste, é mais espessa do que a espessura visível dos corpos.

6.4 - Cadastramento de Medidas do Lençol Freático, Atividade Mineral e Pontos de Poluição

O cadastramento de medidas do lençol freático, mineração e pontos de poluição está registrado no mapa correspondente (Volume III). O trabalho foi realizado nas folhas A100 e A103 pela empresa Hidrotec - Geólogos Consultores SC Ltda, e na folha A093 foram contratados os serviços do geólogo João Nogueira Filho. Foram registradas medidas do lençol freático em poços cacimba, no período de maio/1997 para as folhas A100 e A103, e agosto/1997 para a folha A093 (Anexo 2 - Volume II). O objetivo inicial de obter uma informação por km² não foi atingido, medindo-se 79 pontos. As média das profundidades por unidade geológica encontra-se na tabela 02.

Unidade Geológica	Profundidade média (m)	Nº de medidas
Aluviões	2,5	9
Formação Guabirotuba	6,63	3
Diques básicos	5,0	5
Grupo Açungui - Formação Capiu		
- Metapelitos	8,5	11
- Metacarbonatos	5,7	40
Complexo Gnáissico-Migmatítico	5,2	12

Tabela 02 - Resumo de médias da profundidade do lençol freático, efetuadas em maio/1997 (A100 e A103) e agosto/1997 (A093).

A atividade mineral foi identificada localizando-se as principais frentes de lavra ativas ou desativadas, como minas ou pedreiras e saibreiras e também as principais

instalações de beneficiamento, como fornos de cal ou instalações de britagem. As áreas principais de mineração estão localizadas na região de Morro Azul (A100), Colombo (A103) e Bacaetava (A093). Os pontos, coordenadas, substância lavrada, estágio atual de atividade e outras informações estão relacionadas no Anexo 2 (Volume II).

6.5 - Declividades

O mapa de declividades foi obtido por meio do software Arc/Info (7.0.3) em estação de trabalho do CIEG (Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento-UFPR). Foi utilizado o módulo TIN (triangulated irregular network), com geração de modelo digital do terreno a partir de curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica. Os dados planialtimétricos foram obtidos de cartas 1:10.000 da COMEC, utilizando-se intervalos de classe de 0-5; 5-10; 10-20; 20-30, 30-45 e > 45%.

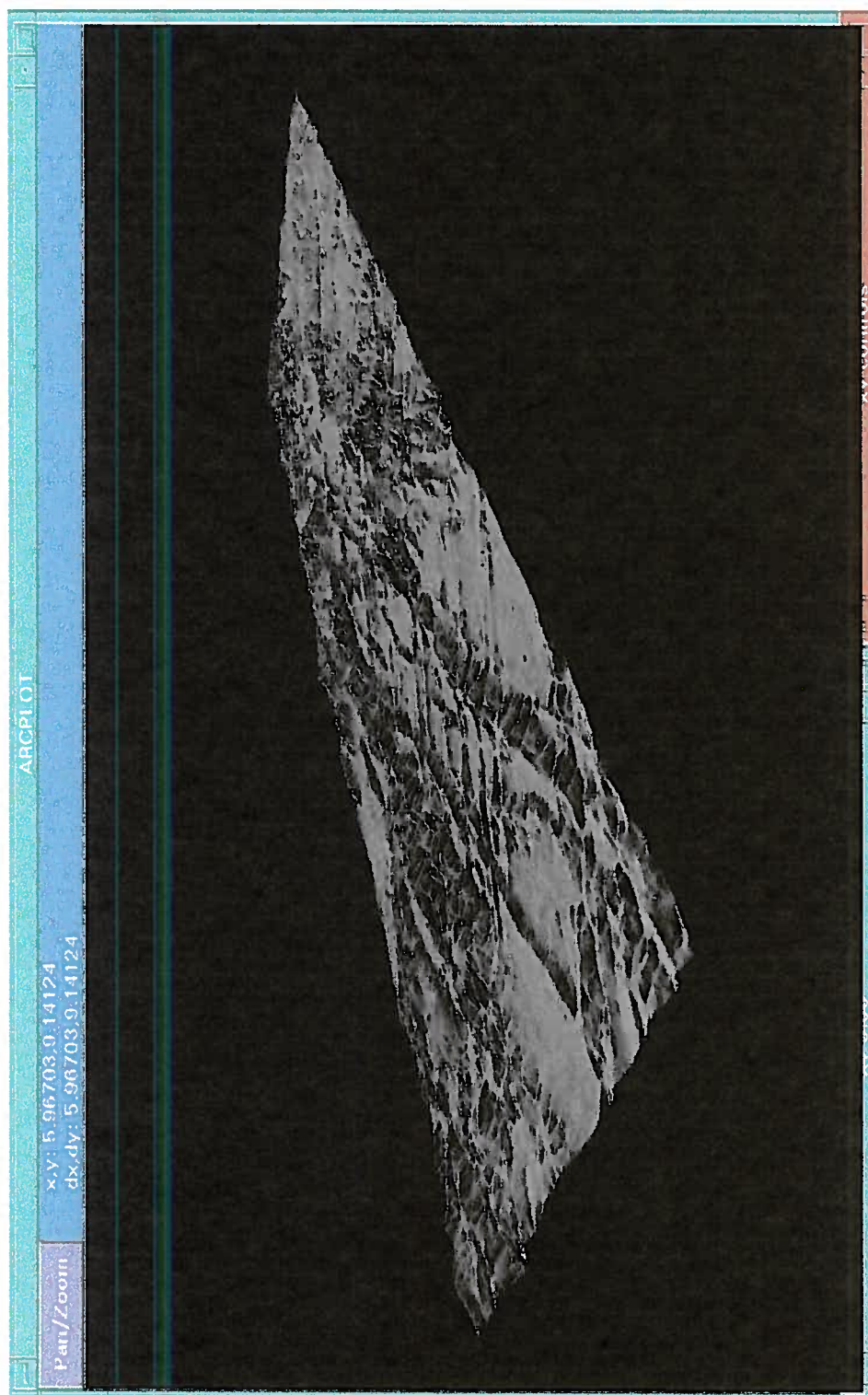
A utilização de meios computacionais na geração deste mapa justifica-se pela grande dificuldade de determinação das declividades por meios manuais, pelo excessivo número de polígonos e grande tempo de digitalização posterior. Além disso, depois de selecionado um determinado intervalo de classes, qualquer modificação implica em refazer o mapa, ao contrário do mapa de declividades digital.

O princípio do mapa de declividades a partir do Arc/Info TIN é a elaboração de um modelo digital do terreno que leva em conta diversas fontes de dados, como curvas de nível, pontos cotados e outras feições, com dados de elevação ou não. O modelo é gerado por triangulação (triangulação de Delaunay), utilizando-se os pontos vizinhos melhor distribuídos, gerando-se assim uma rede de triângulos irregulares conectados. Os rios foram acrescentados ao modelo para melhorar a qualidade, introduzidos como linhas de quebra. Na sequência os triângulos foram classificados segundo as faixas de declividades desejadas, utilizando-se uma função de dissolução entre os triângulos de mesma classe adjacentes para geração dos polígonos finais. Para depuração dos mapas foram eliminados os polígonos com área menor que 500 m². Os intervalos de classe previamente definidos pela COMEC e as respectivas inclinações do terreno estão apresentadas na tabela 03.

Intervalo %	Inclinação (graus)
0 - 5	0 - 2°51'45"
5 - 10	2°51'45" - 5°42'38"
10 - 20	5°42'38" - 11°18'36"
20 - 30	11°18'36" - 16°41'57"
30 - 45	16°41'57" - 24°13'40"
> 45	> 24°13'40"

Tabela 03 - Intervalos de declividades e inclinação dos terrenos.

Na Área III foram considerados cerca de 320.000 pontos com dados de elevação para elaboração do modelo digital (figura 02). Estes pontos foram gerados pela digitalização das curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica (rios e lagos). As curvas de nível foram fornecidas pela COMEC a partir da scanerização, vetorização automática e posterior edição pela MINEROPAR. Os valores das cotas de cada curva foram adicionados por meio do *software* ArcView. O modelo digital foi elaborado para as três folhas, e depois obtiveram-se os mapas originais por meio de um corte com os respectivos polígonos externos.



Norte ↙

Figura 02 - Modelo digital do terreno da Área III (folhas A100 e A103), gerado no Arc/Info - TIN, observador a 4.000m, posição do sol em N30E, 27° de inclinação. Notar as estruturas NW correspondentes aos diques de diabásio, as áreas rebaixadas sobre rochas carbonáticas e as cristas de metapelitos alongadas para NE.

6.6 - Geração de Mapas Temáticos

Os mapas resultantes dos levantamentos de campo e compilação de dados estão no Volume III, incluindo os mapas geológicos, de materiais inconsolidados, geotécnicos gerais e de adequabilidade para loteamentos residenciais. Os mapas de materiais inconsolidados e de adequabilidade para loteamentos serão discutidos com mais detalhes nos capítulos seguintes.

No processo de obtenção destes mapas foram utilizadas técnicas de geoprocessamento. As bases planialtimétricas e as cartas temáticas foram digitalizados manualmente a partir das bases COMEC de 1976 e 1985, na escala 1:10.000, com separação dos diferentes níveis de informações, por meio do software Maxicad. Os arquivos 1:10.000 foram agrupados no formato das cartas 1:20.000 correspondentes às folhas A100, A103 e A093. Alguns níveis de informação foram convertidos para o formato Arc/Info, para cruzamento de dados, e os arquivos resultantes serão disponibilizados no ambiente do software ArcView, permitindo a manipulação da maior parte da base de dados gerada neste projeto em meio digital.

Os mapas geotécnicos gerais estão separados em unidades de terreno com diferentes faixas de declividades, conforme a tabela 04. Este mapa foi obtido por meio do cruzamento de informações dos mapas: geológico, de materiais inconsolidados e de declividades. Deve-se ressaltar que este mapa destina-se aos técnicos familiarizados com a área de geotecnia, uma vez que reúne um grupo de atributos de grande importância na caracterização do meio físico, podendo este mapa ser utilizado para outros objetivos, interpretando-se as unidades como base para a elaboração de outras cartas de zoneamento específico, ou para a análise de outros tipos de ocupação do terreno. Neste sentido, o zoneamento visando uma utilização específica pode alterar a divisão atual. A obtenção destas cartas depende da avaliação dos pesos dos atributos considerados, ou da análise de novos atributos diretamente relacionados à finalidade considerada.

Unidade de Terreno	Descrição	Faixas de Declividades Consideradas
A	Sedimentos aluvionares	Maior parte entre 0-5%
A'	Sedimentos aluvionares sobre rochas carbonáticas	Maior parte entre 0-5%
DR	Solos residuais sobre rochas carbonáticas	0-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30%, >30%.
DT	Solos transportados sobre rochas carbonáticas	0-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30%, >30%.
GD	Solos residuais ou transportados sobre sedimentos da Formação Guabirotuba	0-10%, 10-20%, 20-30%, > 30%
MP	Solos residuais e saprolitos sobre metapelitos	0-10%, 10-20%, 20-30%, >30%.
CR	Solos residuais ou transportados sobre gnaisses-migmatitos	0-10%, 10-20%, 20-30%, >30%.
DB	Solos residuais ou transportados sobre diabásios	0-10%, 10-20%, 20-30%, >30%.
QZ	Solos litólicos ou exposições de rocha sobre quartzitos	0-10%, 10-20%, 20-30%, >30%

Tabela 04 - Unidades de terreno e faixas de declividades consideradas no mapa geotécnico geral (Volume III).

Para efeitos de planejamento sugere-se a utilização do mapa de adequabilidade para loteamentos, que simplifica a divisão de unidades do terreno e apresenta uma legenda resumindo os problemas esperados e uma avaliação destas unidades para diferentes formas de ocupação.

7 - GEOLOGIA DA ÁREA

As áreas mapeadas se caracterizam pela presença de sedimentos aluvionares recentes, sedimentos quaternários da Bacia de Curitiba, sedimentos inconsolidados sobre rochas carbonáticas, diques básicos mesozóicos, rochas do Grupo Açungui (Formação Capiu) e do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Neste relatório os dados relativos à geologia da área serão restritos a uma breve descrição das diferentes unidades, abrangendo as três folhas estudadas. Na tabela 05 apresenta-se a estratigrafia geral da área e os mapas geológicos encontram-se no Volume III.

ERA GEOLÓGICA	PERÍODO	UNIDADE GEOLÓGICA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Aluviões
	TERCIÁRIO	Formação Guabirotuba/Sedimentos Inconsolidados sobre Metacarbonatos
MESOZÓICO	JURO-CRETÁCEO	Intrusivas Básicas - Diques de diabásio
		Grupo Açungui
PROTEROZÓICO		Complexo Gnáissico-Migmatítico

Tabela 05- Estratigrafia da área mapeada.

7.1 -Aluviões Recentes

A unidade de sedimentos aluvionares recentes está representada por depósitos que ocorrem sobre as rochas do Grupo Açungui e do Complexo Gnáissico-Migmatítico, ao longo das principais drenagens da região. Os sedimentos são compostos de cascalhos e areias 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 atingem uma espessura média total da ordem de 3,0m, sendo capeados por solos hidromórficos com espessura de cerca de 1,0m.

7.2 - Sedimentos Inconsolidados sobre Metacarbonatos

No decorrer dos trabalhos de mapeamento foram identificadas espessas seqüências de sedimentos inconsolidados sobre as áreas de metacarbonatos, em contexto similar aos depósitos coluvionares que ocorrem na região de Tranqueira, conforme mencionado por Bonacim (1996). Estes sedimentos foram interpretados como uma unidade similar aos depósitos da Formação Guabirotuba, não tendo sido descritos

anteriormente em sua natureza e abrangência. As características destes sedimentos estão relacionadas no item 8.8, generalizados como solos transportados para efeitos de caracterização das unidades geotécnicas. A natureza dos sedimentos indica condições de deposição similares à Formação Guabirotuba, em prováveis condições climáticas áridas, indicando-se a necessidade de estudos de maior detalhe para a definição da unidade em termos estratigráficos.

7.3 - Formação Guabirotuba

A Formação Guabirotuba preenche a Bacia de Curitiba, tendo sido formada sob condições de clima variando do semi-árido ao úmido, provavelmente durante o Pleistoceno (Bigarella & Salamuni, 1958). É constituída por argilas, arcósios, margas, areias e cascalhos. As argilas são os litotipos predominantes, apresentando-se intercalados com lentes de arcósios. Localmente ocorrem concreções de carbonatos (Bigarella & Salamuni, 1958a; Bigarella *et al.*, 1961).

Nas áreas mapeadas, principalmente na folha A103, as litologias da Formação Guabirotuba estão representadas por sedimentos argilosos de coloração cinza esverdeada, com grânulos de quartzo e feldspato. Nestes sedimentos correm raras intercalações e lentes centimétricas a métricas de arcósio de granulação média a grossa. Também são observados arcósios e cascalhos, lenticulares, com espessuras decimétricas a métricas e, por vezes, intercalações de sedimentos argilosos. Em direção ao norte da folha A103 as exposições da Formação Guabirotuba tornam-se raras, até o âmbito da folha A093, sendo inexistentes na folha A100, a leste.

7.4 - Intrusivas Básicas

Os diques básicos juro-cretácicos ocorrem preenchendo falhas e fraturas segundo a direção geral N50-60°W, com espessuras médias em torno de 10,0 a 40,0m. São diabásios, dioritos pórfiros e quartzo-dioritos de cor cinza escura a preta, recobertos por solos de coloração avermelhada. É comum a presença de blocos de rocha apresentando esfoliação esferoidal, preservados em meio ao solo.

7.5 - Grupo Açungui

Neste mapeamento a unidade do Grupo Açungui considerada foi a Formação Capiu (Proterozóico Superior). É composta predominantemente por metacarbonatos (metadolomitos), filitos e quartzitos, e secundariamente por filitos grafitosos, metassiltitos, metarritmitos e metamargas.

As rochas metacarbonáticas desta formação ocorrem em espessos corpos lenticulares e são geralmente maciças, às vezes silicosas e com estruturas estromatolíticas originadas por algas do gênero *Collenia* (descritas por Bigarella & Salamuni, 1958b; Fairchild, 1982). Estas rochas ocorrem na sua maioria como metadolomitos e metadolomitos calcíticos e, secundariamente, como lentes de metacalcário e metacalcário magnesiano. Por vezes, observa-se a presença de fendas de dissolução desenvolvidas ao longo de planos de fratura e de acamamento (fotografias 1 e 2).



Fotografia 01 - Pedreira ativa na região de Morro Azul, evidenciando-se as estruturas de dissolução ao longo dos planos de acamamento em metacarbonatos (folha A100, Ponto RG-5189).



Fotografia 02 - Dissolução em metacarbonatos ao longo de fraturas, dando origem a condutos cársticos (folha A100, Ponto RG- 5189).

Os quartzitos apresentam-se em camadas métricas com gradações para filitos e às vezes para filitos carbonosos. Também formam lentes intercaladas em metadolomitos e metapelitos.

Os metapelitos distribuem-se em pacotes espessos, contendo, às vezes, camadas finas enriquecidas em hematita e material carbonoso e localmente estruturas sedimentares preservadas (estratificação cruzada, marcas onduladas, acamamento gradacional).

De acordo com a compartimentação proposta por Fiori (1994), as folhas mapeadas encontram-se no bloco E (figura 03), formado por quatro conjuntos litológicos distintos: Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina. O conjunto Juruqui é representado por filitos com intercalações pouco frequentes de quartzitos; o conjunto Rio Branco, por metacarbonatos com intercalações de filitos e quartzitos. O conjunto

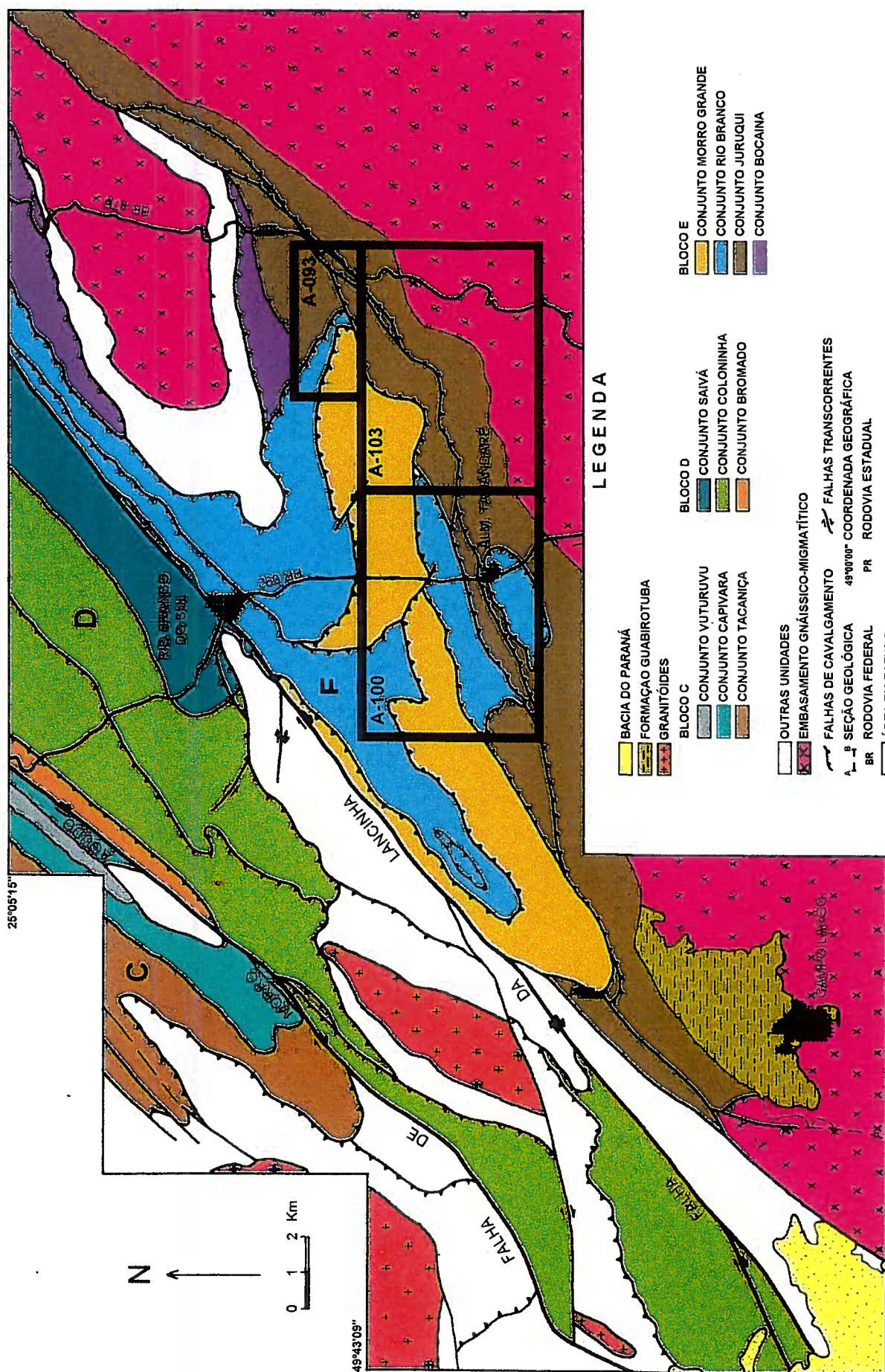


Figura 03 - Localização das áreas mapeadas pelo Convênio Comec-Mineropar. Adaptado de Fiori (1994) por Bonacim (1996).

Morro Grande é constituído pela alternância de bancos ou camadas de quartzitos, filitos e metacarbonatos, com espessuras da ordem de dezenas de metros; os filitos e metacarbonatos são geralmente bandados ou rítmicos e os quartzitos são homogêneos. O conjunto Bocaina é composto por xistos e quartzitos intercalados com filonitos e/ou milonitos.

Na Formação Capiu os litotipos apresentam-se em sua maioria deformados, devido a superposição de três eventos tectônicos principais: um primeiro, relacionado a uma tectônica de cavalgamentos, um posterior, referente a um dobramento generalizado das estruturas anteriormente formadas e um terceiro associado a uma tectônica transcorrente. O metamorfismo regional associado à tectônica de cavalgamento é de fácies xisto verde, zona da clorita a início da zona da biotita. O evento tectônico transcorrente ocorreu em condições do fácies xisto verde, zona da clorita, sendo a Falha da Lancinha a principal estrutura formada. Os conjuntos litológicos da Formação Capiu apresentam-se truncados em blocos separados por falhas de cavalgamento e expostos em sinformes e antiformes (eixos NE-SW).

A foliação principal, predominantemente desenvolvida nos metapelitos, apresenta-se paralelizada ou sub-paralela a níveis de diferente composição, interpretados como acamamento sedimentar. Essa foliação, relacionada à tectônica de cavalgamento, sofreu uma deformação posterior caracterizada por dobramento heterogêneo. Como resultado deste último ocorreu a geração de uma segunda foliação (clivagem de crenulação), não havendo, na maior parte das rochas, cristalização e/ou recristalização de minerais (Reis Neto & Soares, 1987).

7.6 - Calco-Xistos

Estas rochas encontram-se principalmente na porção sudeste da folha A100 e secundariamente na porção sudoeste da A103. Apresentam duas foliações bem desenvolvidas e uma terceira incipiente, com granulometria fina a média, podendo chegar a grossa. Os fortes efeitos de cisalhamento e a posição intermediária entre os metassedimentos Capiu e o Complexo Gnáissico-Migmatítico sugerem a possibilidade de tratar-se de uma sequência tectono-metamórfica entre estas unidades. Predominam variedades do tipo quartzo-mica xistos, principalmente sericita e biotita e a recristalização de quartzo em “ribbons” constitui uma feição marcante.

7.7 - Complexo Gnáissico-Migmatítico

O Complexo Gnáissico-Migmatítico apresenta migmatitos estromáticos e oftálmicos com paleossoma de biotita gnaisses, biotita-hornblenda gnaisses, e hornblenda gnaisses, com intercalações 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. As bandas claras neoformadas são de provável composição granodiorítica a granítica.

Neste estudo as rochas gnáissico-migmatíticas estão representadas principalmente na folha A103 e secundariamente na porção sudeste da folha A100. Estas rochas apresentam espessos saprolitos, preservando blocos de rocha não alterada em meio à massa alterada e na superfície do solo.

8 - MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Além dos solos no sentido pedológico são materiais inconsolidados os sedimentos aluvionares, sedimentos da Formação Guabirotuba e saprolitos de diabásios, metapelitos, metacarbonatos, e gnaisses-migmatitos, excluindo-se apenas as ocorrências de rocha dura. No mapa de materiais inconsolidados (Volume III), a representação em cores está relacionada com o primeiro nível de cobertura inconsolidada, que inclui o solo e a parte superior dos sedimentos ou da rocha alterada.

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.

O mapeamento e a caracterização dos materiais inconsolidados envolveu várias fases. Os critérios utilizados para sua classificação encontram-se descritos a seguir:

1ª FASE

- Fotointerpretação na escala 1: 25.000.
- Análise de dados de sondagens à percussão e índice de resistência à penetração (SPT) da MINEROPAR, RFFSA, SANEPAR e mapas da UFPR.

2ª FASE

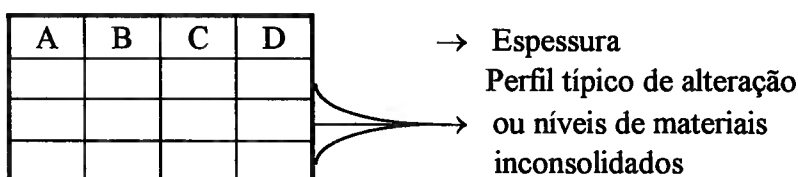
- Reconhecimento de campo com descrição sistemática de litologias e dos perfis de alteração, com observações qualitativas e quantitativas.
- Revisão da fotointerpretação com base nos dados de campo.

3ª FASE

- Reconhecimento de campo para observações finais e coleta de amostras por nível de alteração em cada unidade representada.
- Realização de ensaios de laboratório.
- Elaboração do mapa de materiais inconsolidados.

Nas áreas mapeadas foram separados quatro tipos superficiais de materiais inconsolidados, a saber: solos hidromórficos (aluviais e sobre planícies cársticas); solos residuais (sobre sedimentos da Formação Guabirotuba, gnaisses-migmatitos, metapelitos, metacarbonatos e diabásios); solos transportados e solos com matacões e/ou lajes sobre diabásios e quartzitos.

Estes tipos são diferenciados através de cores no mapa de materiais inconsolidados. Visando caracterizar as variações em profundidade foram representados os sucessivos níveis de materiais inconsolidados por um código de hastes cujas linhas (horizontais) representam estes níveis. Estas linhas são divididas em quatro partes iguais, preenchidas por letras maiúsculas que representam as características geotécnicas de cada nível. A legenda está resumida a seguir:



A - ORIGEM

Residual (R)

Colúvio (C)

Aluvião (A)

B - ROCHA ORIGINAL/SUBSTRATO ROCHOSO

a - metapelitos

b - quartzitos

c - metadolomitos

d - calcoxistos

e - gnaisses-migmatitos

f - diabásios

g - argilas

h - arcósios, conglomerados e cascalhos

C - TEXTURA

1 - solo hidromórfico

2 - solo com matacões

3 - muito argilosa

4 - argilosa

5 - siltosa

6 - média

7 - arenosa

D - CARACTERÍSTICAS

a - Solo coluvial (transportado) de cor variegada (avermelhado, amarelado, marrom), imaturo. Ocorrem linhas de seixos (*"stone line"*) de quartzo e metassedimentos. Paleocanais de pequenas dimensões preenchidos por seixos de quartzo. Argilo-minerais: caulinita (1:1), esmectita (2:1) e gibbsita.

b - Solo maduro ou jovem de cor vermelha, amarela, por vezes variegado, contendo concentrações de sílica (semelhante a quartzito fino, sacaróide, friável), resíduos da dissolução de carbonatos. Argilo-minerais: caulinita (1:1), esmectita (2:1) e gibbsita.

c - Solo maduro ou jovem de cor castanho clara a amarela, normalmente muito raso, desenvolvido sobre metapelitos, diabásios e gnaisses-migmatitos. Argilo-mineral: caulinita (1:1), esmectita (2:1) e gibbsita.

d - (A103) - Solo maduro ou jovem, vermelho ou amarronado, de espessuras variadas, produto da alteração de argilas da Formação Guabirotuba. Argilo-minerais: caulinita (1:1).

d - (A100 e A093) - Saprolito de diabásio de cor variegada (avermelhada-pardacenta), apresentando as formas dos minerais, contudo intemperizados. Não raramente apresenta blocos e matacões de rocha. Argilo-minerais: caulinita (1:1) e esmectita (2:1).

e - (A103) - Argila cinza-esverdeada por vezes variegada, erosiva (empastilhamento). Argilo-mineral predominante: esmectita (2:1).

e - (A100 e A093) - Saprolito de metapelitos (filitos, metassiltitos, metargilitos, metarritmitos e xistos), de cor avermelhada/amarelada por vezes variegada, bandado.

f - (A103) - Arcósio de cor avermelhada por vezes variegada com percentagem de finos de 20-50%. Lateralmente descontínuos e com forma irregular. Ocorrem pacotes de cascalhos associados. Na fração fina o argilo-mineral predominante é esmectita (2:1).

f - (A100) - Saprolito de gnaisses-migmatitos, de cor rósea, vermelha, castanha e verde. Argilo-mineral predominante: caulinita (1:1), secundariamente, esmectita (2:1).

g - (A103) - Saprolito de diabásio de cor variegada (avermelhada-pardacenta), apresentando as formas dos minerais intemperizados. Pode apresentar blocos e matacões de rocha. Argilo-minerais: caulinita (1:1) e esmectita (2:1).

g - (A100 e A093) - Solo de cor negra, por vezes marrom escura, com restos de matéria orgânica.

h - (A103) - Saprolito de metapelitos (filitos, metassiltitos, metargilitos, metarritmitos e xistos), de cor avermelhada-amarelada. Argilo-mineral: caulinita (1:1).

h - (A100) - Areia média a fina, de depósito aluvionar.

i - (A103) - Saprolito de gnaisses-migmatitos, de cor rósea, vermelha, castanha e amarelada. Argilo-mineral predominante: caulinita (1:1).

i - (A100) - Argila cinza esbranquiçada, plástica. Argilo-mineral: caulinita (1:1).

j - Saprolito de quartzitos, friáveis, esbranquiçados.

k - Solo de cor negra, por vezes marrom escura, com matéria orgânica.

l - Depósitos aluvionares (argila, areia, cascalho).

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

Solo hidromórfico: Sob esta denominação estão compreendidos os solos mal drenados ou muito mal drenados, regidos pela influência da água em função do relevo e do material originário.

Solo transportado (colúvio): Solo com fragmentos rochosos transportados ao longo das encostas de morros, devido a ação combinada da gravidade e da água. Possui características diferentes das rochas ou solos subjacentes.

Solo residual maduro: Solo desenvolvido no local da própria 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.

Solo residual jovem: Solo desenvolvido no local da própria alteração da rocha (*in situ*), pouco evoluído, início do processo pedogenético, com estrutura incipiente da rocha original, eventualmente argilas expansivas.

Saprolito: 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 sã.

A seguir é feita a descrição das unidades de materiais inconsolidados:

8.1- Solos Hidromórficos sobre Aluviões e Planícies Cársticas

Ocorrem associados às áreas de fundo de vale e/ou baixios sobre planícies cársticas, tendo como perfil típico:

- Solo orgânico de cor negra, por vezes turfoso, textura argilosa, poroso, baixa permeabilidade, mole a muito mole, plástico. A espessura varia de 1,0 a 2,0m, com resistência à penetração (SPT) muito baixa.
- Argila intermediária, cinza escura, plástica, mole a muito mole, porosa, baixa permeabilidade. Espessura em torno de 1,0m, com resistência à penetração baixa a muito baixa.
- Areia fina a grossa e/ou cascalhos fofos, por vezes compactos, permeabilidade média a elevada, com espessuras inferiores a 1,0m. Ocorrem sotopostos e interdigitados com as argilas intermediárias. Nas áreas de planícies cársticas, este nível pode estar ausente.

O nível freático nesta unidade é inferior a 2,5m, podendo ocorrer aflorante junto às dolinas existentes nas áreas das planícies cársticas.

8.2- Solos Residuais da Formação Guabirotuba

Esta unidade tem maior expressão na folha A103, sendo constituída de solos residuais (maduro e jovem, horizonte B, sedimentos argilosos e arenosos), com inclusões de solos transportados (colúvios), não 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 inferiores a 1,5m, enquanto o solo residual (maduro ou jovem), cor predominante avermelhada e espessuras que variam de 0,50 a 3,0m, conforme a posição da vertente (normalmente são mais rasos na meia encosta). Intercalam-se níveis lenticulares de arcósios, conglomerados e cascalhos, com espessuras de até 3,0m, que sustentam a topografia local devido a sua maior resistência ao intemperismo.

O perfil típico desta unidade, compreende:

- Solo transportado (colúvio), argilo-arenoso, poroso, de cor marrom escura a negra, espessura inferior a 1,5m, baixa resistência à penetração.
- Linha de seixos de quartzo com espessuras centimétricas (“*stone line*”).
- Solo residual maduro, textura argilosa, com estrutura maciça, argilo-mineral predominante caulinita (1:1), e em menor proporção illita e gibbsita. Comumente se observam níveis centimétricos de laterita. A espessura varia de 0,5 a 3,0m. A permeabilidade é baixa (10^{-4} cm/s), resistência à penetração baixa a média. Apresenta comportamento não laterítico ($V_b > 1,5$) e A_{cb} e SE indicam uma baixa reatividade da argila, conforme ensaios de adsorção do azul de metileno. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de $1,5\text{g/cm}^3$, com umidade ótima em torno de 26,3%, LL e LP = 57,2/34,5. A erodibilidade deste material em talude não é elevada, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores E maiores que 1.
- Arcósios e cascalhos de cor avermelhada, compacidade média a alta, permeabilidade média a alta, espessuras de até 3,0m. O pacote exhibe níveis irregulares e lenticulares de arcósios médios a grossos até cascalhos de matriz argilosa, englobando fragmentos subarredondados de quartzo e quartzito, principalmente. A porcentagem de fragmentos, em relação à matriz, atinge até 50% do total (fotografia 03). Estes sedimentos rudáceos ocorrem principalmente nas partes altas do relevo, sustentando o topo das colinas arredondadas.



Fotografia 03 - Aspecto dos cascalhos da Formação Guabirota, que ocorrem nas partes altas do relevo, sustentando a topografia local.

Loteamento Monte Castelo (folha A103, Ponto LM-7670).

- Solo inferior, residual, jovem (saprolito), não laterítico, de cor variegada, vermelha a violácea, contendo grãos de quartzo e feldspatos alterados. Mostram baixa permeabilidade, consistência baixa a média, com argila de alta atividade - esmectita (2:1), expansiva e retrativa. Os cátions trocáveis são predominantemente bivalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} (limita expansão e força). É comum o empastilhamento e trincas de retração. A espessura é variável, de 2,0 a 5,0m.
- Argila de cor cinza esverdeada, por vezes variegada, contendo grãos de quartzo e feldspatos alterados, textura predominantemente argilosa a muito argilosa, por vezes média a siltosa, permeabilidade baixa (10^{-4}cm/s). O argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1) e em menor proporção illita (2:1) e caulinita (1:1). As espessuras variam de 1,0 a mais de 10,0m. São característicos desta argila o empastilhamento e trincas profundas em forma conchoidal, propiciando a instalação de processos erosivos. Os ensaios de adsorção do azul de metileno, indicam um valor $V_b = 7,93 \text{ g/100g}$, prevendo-se um comportamento não laterítico, e valores $A_{cb} = 23,53 \text{ g/100g}$ e de SE (superfície específica) de $575,7 \text{ m}^2/\text{g}$, indicando uma alta reatividade nesta argila. Apresenta massa específica ótima em torno de $1,3 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima em torno de 31,0%. No entanto, esta argila possui umidade natural acima da umidade ótima de compactação, em alguns casos acima de 14%, como na área da fábrica de automóveis Renault. A resistência à penetração deste material é gradual, de média a alta. A erodibilidade em talude é muito elevada, conforme observado no campo e por meio de ensaios de permeabilidade que apresenta os valores de E menores que 1.
- Arcósios de cor avermelhada ou variegada, lenticulares, textura média a grossa, com porcentagem variável de finos (esmectita, illita 2:1). Os minerais da fração areia grossa a fina são constituídos de quartzo, feldspatos e caulim (alteração dos feldspatos). Ocorrem de maneira dispersa em diversos níveis de profundidade (fotografia 04). Apresentam permeabilidade baixa (10^{-4}cm/s). O ensaio de adsorção do azul de metileno, indica um $V_b = 0,85 \text{ g/100g}$, prevendo-se um comportamento laterítico. Os valores $A_{cb} = 9,28 \text{ g/100g}$ e $SE = 227,2 \text{ m}^2/\text{g}$ confirmam uma média atividade para a fração argilosa.



Fotografia 04 - Nível de arcósios de granulação grossa recobrendo argilas da Formação Guabirotuba, Loteamento Monte Castelo (folha A103, Ponto LM-7672).

A resistência à penetração é média. A erodibilidade deste material observada em talude e por meio do teste de erodibilidade é média, com valor de E igual a 1.

As espessuras máximas dos sedimentos da Formação Guabirubá, na área, são estimados em torno de 15,0m.

8.3 - Solos Residuais e/ou Transportados sobre Gnaisses e Migmatitos

Esta unidade é constituída predominantemente de solos residuais (maduro ou jovem e saprolito), com eventuais inclusões de solos transportados (colúvios), separados no campo pela existência de um nível de seixos de quartzo entre ambos que é a base dos solos transportados (fotografia 05).



Fotografia 05 - Perfil de solo desenvolvido sobre migmatitos, mostrando saprolito recoberto por material coluvionar (transportado). Notar a existência de “stone line” entre as unidades (folha A103, Ponto LM-7594).

O perfil típico desta unidade compreende:

- Solo transportado (colúvio) argilo-arenoso, poroso, de cor castanha clara a amarela, com espessuras inferiores a 1,0m, marcados por um pavimento basal de seixos de quartzo subangulosos, com espessuras centimétricas e resistência à penetração (SPT) baixa.
- Solo maduro (quando homogêneo-horizonte B) ou jovem (quando ainda é possível verificar algumas características da rocha original), espessura inferior a 1,0m, textura argilosa, cor castanha clara a amarela, argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1) e gibbsita. A resistência à penetração e a permeabilidade são baixas.

- Saprolito apresentando cores rósea, vermelha, castanha e amarelada, textura siltosa a média, 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. Permeabilidade baixa (10^{-4} cm/s), resistência à penetração baixa a média. Os ensaios de absorção do azul de metileno indicam um valor médio de $V_b = 1.16$ g/100g, prevendo-se um comportamento laterítico. Os valores A_{cb} médio de 9,86g/100g e SE variando de 69,5 a 445,4 m^2/g indicam que a reatividade desta argila varia de baixa a alta. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,6 g/cm³ com umidade ótima em torno de 21%. A massa específica de campo situa-se em torno de 1,32g/cm³. A erodibilidade, observada no respectivo teste, apresenta valores de E inferiores a 1, indicando um alto potencial a erosão.

8.4 - Solos Residuais de Metadolomitós

Esta unidade é constituída de solo maduro ou jovem de cor vermelha (*terra rossa*), amarela, por vezes variegada, contendo concentrações de sílica (semelhante a areia fina, sacaróide, friável), proveniente da dissolução de rocha carbonática (principalmente metadolomito e, secundariamente, metacalcários).

Este solo apresenta transição direta com o metadolomito. Nas pedreiras existentes na área podem-se observar reentrâncias irregulares em forma de “v” no topo rochoso, produto da dissolução cárstica, preenchidas pelo solo acima citado, com espessuras variando de 0,5 a mais de 20,0m (fotografia 06).



Fotografia 06 - Solo residual maduro originado a partir da dissolução de rochas carbonáticas. Notar as reentrâncias irregulares do topo rochoso em função da dissolução cárstica (folha A100, Ponto RG-5185).

A textura é argilosa a muito argilosa, com argilo-mineral predominante caulinita (1:1). Apresenta alta porosidade (50,5%), permeabilidade média a baixa (10^{-3} cm/s) e resistência à penetração variável de baixa a média. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor médio de $V_b = 1,10$ g/100g, prevendo-se um comportamento laterítico. Os valores de A_{cb} variando de 1,97 a 5,76g/100g e SE de 48,4 a 140,9 m^2/g indicam que a reatividade desta argila é baixa. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,5g/cm³ com umidade ótima em torno de 24,1%. A massa específica de campo situa-se em torno de 1,37g/cm³. Os resultados dos testes

revelam erodibilidade baixa a alta, por vezes apresentando valores de E menores que 1 (erosiva).

8.5 - Solos Residuais de Metapelitos

Sob esta denominação estão incluídos os solos residuais de filitos, metargilitos, metassiltitos, metarritmitos e xistos, com pequenas inclusões de solos transportados. O perfil típico compreende:

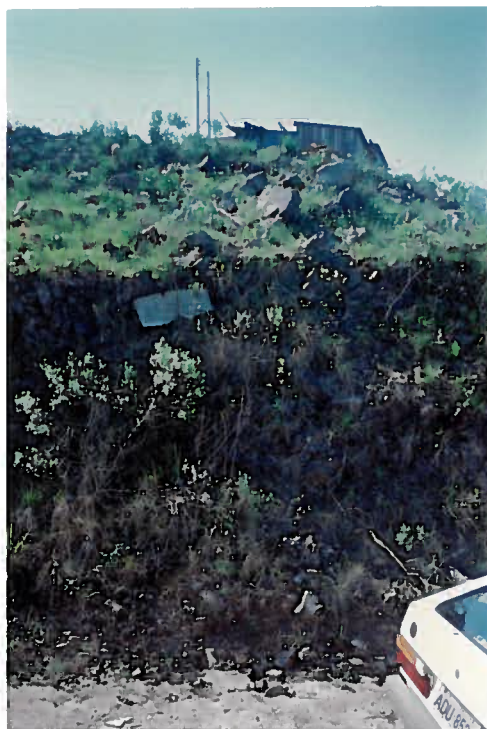
- Solo residual maduro, por vezes jovem, de cor castanha clara a amarelada, espessura inferior a 1,0m. Apresenta textura siltosa, porosidade alta (50%), permeabilidade baixa a muito baixa (10^{-3} e 10^{-8} cm/s), com argilo-mineral predominante: caulinita (1:1). O ensaio de adsorção do azul de metileno indica um comportamento não laterítico (V_b médio = 0,59g/100g). Os valores A_{cb} médio de 3,72g/100g, e SE médio de 91,1m²/g, indicam uma baixa atividade desta argila. A erodibilidade desse material é baixa, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E médio maior que 1, embora em uma amostra o valor de E é inferior a 1 (erosivo). A resistência à penetração (SPT) é baixa.
- Saprolito de coloração vermelha a amarelada, apresentando forte bandamento, com inclinações variando de 30° a 90° (fotografia 07). A espessura é variável de 3m a mais de 10m. A textura é siltosa por vezes média, com argilo-mineral predominante caulinita (1:1). Porosidade alta (44,89%) e permeabilidade baixa (10^{-4} cm/s). Limite de liquidez e plasticidade com valores de 31,7 e 24,4, respectivamente. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor médio de V_b = 0,55g/100g, prevendo-se um comportamento laterítico. Os valores A_{cb} variando de 5,10 a 21,15g/100g e SE de 124,8 a 517,5g/100g, indicam que a reatividade desta argila varia de média a alta. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,6g/cm³, com umidade ótima de 22,4%. A erodibilidade deste material em talude é baixa, apesar do respectivo teste apresentar valor médio de E menor que 1.



Fotografia 07 - Saprolito de metassedimentos rítmicos, fortemente bandados, recobertos por solo raso (folha A103, Ponto LM-7392).

8.6 - Solos sobre Rochas Quartzíticas

Esta unidade apresenta solos pouco desenvolvidos, predominando rocha alterada em relação ao solo propriamente dito. Sua ocorrência está restrita à área de exposição dos quartzitos, normalmente nas cristas dos morros, onde são comuns matacões de diversos tamanhos (fotografia 08) e lajes de rocha fresca. Apresentam cores esbranquiçadas a amareladas, granulação fina, por vezes, friáveis.



Fotografia 08 - Afloramento de rochas quartzíticas na forma de blocos e matacões. Nesta unidade o solo é pouco desenvolvido ou inexistente (folha A100, Loteamento Monte Santo - Almirante Tamandaré).

8.7- Solos Residuais ou Transportados sobre Diabásios

Estes solos tem sua origem relacionada aos processos de decomposição dos diabásios e transporte destes materiais. Ocorrem ao longo de cristas de topo achatado com vertentes íngremes e convexas, bem visíveis em fotografias aéreas, principalmente nas áreas rebaixadas de ocorrência de rochas carbonáticas quando ressaltam na topografia (fotografia 09). Formam faixas de alguns quilômetros de comprimento por algumas dezenas de metros de largura. Quando associados a franjas de colúvio chegam a atingir larguras da ordem de centenas de metros. Esses materiais englobam fragmentos e blocos arredondados de rocha fresca mostrando decomposição esferoidal.

O perfil típico destes solos compreende:

- Solo transportado de cor amarronzada a castanho avermelhada, matriz argilosa envolvendo blocos e matacões de diabásio, dispostos transversalmente à crista (franjas de colúvio - fotografia 10).



Fotografia 09 - Aspecto geomorfológico de dique de diabásio, formando cristas alongadas de topo achatado. A estrutura ressalta na topografia em áreas rebaixadas das zonas cársticas (folha A103 - Ponto LM-7433).



Fotografia 10 - Franja de colúvio associada aos diques de diabásio. Notar a presença de blocos e matacões em meio a matriz argilosa (folha A103 - Ponto LM-7422).

- Solo residual maduro, argiloso, de cor castanha clara a avermelhada (fotografia 11), com espessuras inferiores a 3,0m. Porosidade alta, permeabilidade baixa (10^{-4} cm/s), argilo-mineral predominante caulinita (1:1).



Fotografia 11 - Perfil de solo residual maduro desenvolvido sobre diabásios (folha A103, Ponto LM-7451).

Os ensaios de absorção do azul de metileno indicam um valor de V_b variando de 0,97 a 1,55g/100g, ou seja, um comportamento laterítico, embora uma amostra tenha resultado em valor superior a 1,5g/100g, de comportamento não laterítico. Os valores de $A_{cb} = 3,69$ g/100g, na média, e SE variando de 38,7 a 133,0m²/g, indicam que a reatividade desta argila é baixa. A erodibilidade desse material em talude é baixa, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valor médio de E maior que 1.

- Saprolito de cor avermelhada pardacenta ou variegada, textura siltosa por vezes média, espessura superior a 5m, com presença de matacões arredondados com vários diâmetros. O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1). A porosidade é alta (65,8%) e permeabilidade baixa (10⁻⁴cm/s). Resistência à penetração (SPT) média a alta. Os ensaios de adsorção do azul de metileno indicam um valor de V_b médio 0,82 g/100g, prevendo-se um comportamento laterítico. Os valores médios de $A_{cb} = 9,86$ g/100g e SE variando de 69,5 a 445,4m²/g, indicam que a reatividade desta argila varia de baixa a alta. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de 1,4g/cm³ com umidade ótima de 33,4%. A massa específica de campo situa-se em torno de 1,02g/cm³, LL e LP = 52,6/41,6, respectivamente. A erodibilidade deste material em talude é média a baixa, conforme observado no campo e no teste de erodibilidade que apresentou valor médio de E maior que 1.

8.8 - Solos Transportados

São considerados solos transportados os solos depositados fora do local de sua formação, incluindo solos coluvionares ou desenvolvidos sobre depósitos de talus ou pé-de-monte. Neste relatório também incluem os sedimentos inconsolidados que recobrem a unidades carbonáticas, mencionados na geologia da área (item 7).

Os solos transportados encontram-se principalmente nas planícies cársticas (áreas rebaixadas associadas aos metacarbonatos - fotografia 12), recobrimdo metadolomitos. Apresentam cores variegadas, com tons avermelhados, amarelados e castanhos (fotografia 13). Localmente observam-se até 3 níveis de “stone line” de quartzo ou de metapelitos, indicando três episódios de deposição. Foram também observados paleocanais de pequenas dimensões preenchidos por seixos de quartzo. Nas planícies cársticas os solos transportados mostram espessuras de 1,0 a mais de 30,0 metros, como observado nos poços tubulares executados pela Sanepar e furos SPT executados pela MINEROPAR.



Fotografia 12 - Vista geral das áreas rebaixadas de planícies cársticas, via de regra preenchidas por espesso pacote de sedimentos e solos transportados (folha A100, Ponto RG-5299).



Fotografia 13 - Aspecto dos solos transportados associados a planícies cársticas. Notar a presença de linhas de seixos (*“stone lines”*), denotando diferentes episódios de deposição (folha A100, Ponto RG-5185).

Estes solos possuem textura predominantemente argilosa, embora algumas variações possam ocorrer com textura siltosa e média. Mostram porosidade alta (52,21%) e permeabilidade baixa (10^{-4} cm/s). O argilo-mineral predominante é a caulinita (1:1). A resistência a penetração (SPT) é média a alta.

O ensaio do azul de metileno indica $V_b = 1,04\text{g}/100\text{g}$ prevendo-se um comportamento laterítico. O valor de A_{cb} médio $2,83\text{g}/100\text{g}$ e $SE = 68,43\text{m}^2/\text{g}$ indica uma baixa reatividade destas argilas. A massa específica seca máxima do proctor normal situa-se em torno de $1,4\text{g}/\text{cm}^3$ e umidade ótima 31,4%. A massa específica de campo situa-se em torno de $1,67\text{g}/\text{cm}^3$. LL e $LP = 57,4/39,9$. A erodibilidade desse material em talude é baixa, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade que apresenta valores de E maiores que 1.

9- ADEQUABILIDADE PARA LOTEAMENTOS RESIDENCIAIS

O mapa de adequabilidade para loteamentos residenciais, apresentado no Volume III, foi obtido por meio do cruzamento de informações dos mapas geológico, de materiais inconsolidados, de declividades e geotécnico geral. Tem como objetivo facilitar e sintetizar as informações para o planejador urbano, uma vez que os documentos gerados exigem uma avaliação técnica mais específica.

Para este fim foram caracterizadas nove unidades de terreno (U.T.), com características bastante uniformes em termos de litologia e material inconsolidado (gênese, textura, espessura, argilo-minerais, resistência à penetração - SPT, escavabilidade e declividade). Essas unidades de terreno foram avaliadas quanto à adequabilidade para:

- loteamentos residenciais

- construção de estradas
- disposição de resíduos
- obras enterradas.

Quanto aos problemas de riscos geológicos, geotécnicos e ambientais, quanto à susceptibilidade de:

- erosão
- enchentes e inundações
- movimentos de massa
- afundamentos de terreno (colapsos de solo e subsidências)
- poluição de aquíferos
- fundações

Quanto à potencialidade de recursos naturais, consideraram-se:

- recursos hídricos superficiais e subterrâneos
- recursos minerais relativos a materiais de construção (argilas para cerâmica vermelha e metacarbonatos -“*calcário*”- para diversos usos).

Convém salientar que o objetivo deste estudo é prevenir, orientar e recomendar, considerando a escala utilizada (1:20.000). Portanto, qualquer projeto de ocupação local na área em questão deverá necessariamente buscar informações mais específicas, em trabalho de detalhamento para complementação dos dados aqui apresentados. Abordando-se a avaliação das unidades de terreno, pode-se analisar:

9.1 - Unidade de terreno A

Classificação

Sedimentos aluvionares de fundo de vale, com camada superficial orgânica, hidromórfica, plástica, mole a muito mole, baixa permeabilidade, com espessuras de 1,0 a 2,0m. Nível freático médio em torno de 2,5m. Abaixo desta camada, tem-se argila intermediária mole a muito mole, plástica, baixa permeabilidade, com espessuras em torno de 1,0m. Na base, pavimento de areia fina a grossa e/ou cascalhos fofos, por vezes compactos, porosos, permeabilidade média a elevada e espessuras inferiores a 1,0m.

A resistência à penetração (SPT), ao longo de todo o intervalo é baixa.

Problemas esperados

- Nível freático raso ou aflorante
- Áreas suscetíveis a enchentes e inundações
- Áreas relacionadas a mananciais superficiais e subterrâneos, vulneráveis à poluição de rios e de aquíferos

Avaliação

Terrenos com declividade de 0 a 5%

- Áreas de equilíbrio hidrológico

- Áreas de preservação permanente e proteção de mananciais superficiais e subterrâneos, adequadas, por exemplo, à construção de tanques
- Áreas de alto potencial hidrogeológico
- Áreas com potencial para a extração de argilas para cerâmica vermelha
- Áreas não recomendadas para loteamentos residenciais (exigem construções em aterros elevados e drenagem eficiente nas fundações; implantação de sistemas de escoamento de águas pluviais e servidas)
- Inadequadas para implantação de infra-estrutura enterrada
- Inadequadas à disposição de resíduos

9.2 - Unidade de Terreno A'

Classificação

Sedimentos aluvionares e solos hidromórficos em planícies cársticas. Camada superficial orgânica, hidromórfica, plástica, mole a muito mole, baixa permeabilidade, espessuras de 1,0 a 2,0m. Argila intermediária, cinza escuro, mole a muito mole, plástica, baixa permeabilidade, espessuras em torno de 1,0m. Na base, areias e cascalhos fofos, por vezes compactos, permeabilidade média a elevada, com espessuras inferiores a 1,0m. Solo argiloso hidromórfico de cor negra, mole a muito mole, baixa permeabilidade, espessuras de até 4,0m. Nível freático médio em torno de 2,5 metros.

Resistência à penetração (SPT) em ambos os casos é baixa.

Problemas esperados

- Nível freático raso ou aflorante
- Áreas suscetíveis a enchentes, inundações e assoreamentos
- Áreas de preservação permanente e proteção de mananciais superficiais e subterrâneos
- Áreas potencialmente suscetíveis a afundamentos do terreno (colapsos de solo e subsidências), naturais ou induzidos pela ação antrópica (extração de água subterrânea, atividades de mineração, ocupação urbana desordenada)
- Problemas de recalques em fundações

Avaliação

Terrenos com declividades de 0 a 5%

- Áreas de equilíbrio hidrológico
- Áreas de preservação permanente e proteção de aquíferos superficiais e subterrâneos, adequadas, por exemplo, para a construção de tanques.
- Inadequadas para a implantação de loteamentos residenciais, instalações industriais ou aterros sanitários.
- Inadequadas para a disposição de resíduos
- Zonas susceptíveis a afundamentos de terreno, na forma de colapsos de solo e subsidências, naturais ou induzidos pela ação antrópica
- Áreas com potencial hidrogeológico (fonte de recursos hídricos)
- Adequadas para ocupação rural com controle e monitoramento do nível de agrotóxicos utilizados em áreas de plantio e lavouras adjacentes

9.3 - Unidade de Terreno GD

Classificação

Materiais inconsolidados da Formação Guabirotuba (solos residuais, transportados, argilas, arcósios e cascalhos), com espessuras variáveis desde métricas até mais de uma dezena de metros, depositados sobre uma superfície irregular de rochas alteradas (saprolitos) de gnaisses-migmatitos. Relevo de colinas suaves com topos aplainados e vertentes íngremes.

Solo residual, maduro, argiloso, parcialmente laterítico, poroso, permeabilidade baixa, argila de baixa atividade catiônica, comportamento isotrópico de expansão, consistência baixa, espessura de 0,5 a 3,0m. Argilo-mineral predominante: caulinita. Possui comportamento distinto dos horizontes de arcósios, solos residuais jovens ou saprolíticos e das argilas características desta formação.

Assenta sobre níveis irregulares e descontínuos de arcósios ou cascalhos, de compactidade média a alta, com matriz argilosa, argilo-mineral: esmectita (2:1).

Solo inferior, residual, jovem (saprolítico), não laterítico, de cor variegada, vermelho a violáceo, contendo grãos de quartzo e feldspato alterados. Baixa permeabilidade, consistência baixa a média, argila de alta atividade: esmectita (2:1), expansiva e retrativa. Os cátions trocáveis são predominantemente bivalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} (limita expansão e força). É comum o empastilhamento e trincas de retração. Apresenta espessura variável de 2,0 a 5,0m.

Na base, argila de cor cinza-esverdeada, não laterítica, com grãos de feldspatos alterados, de alta atividade - esmectita (2:1), expansiva e retrativa. Os cátions trocáveis são predominantemente bivalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} (limita expansão e força). É comum o empastilhamento e trincas de retração. Todo o perfil apresenta consistência média a alta e permeabilidade baixa. A escavabilidade é de primeira categoria e resistência à penetração (SPT) é crescente com a profundidade.

Ocorrem inclusões de solos transportados. O nível freático médio encontra-se a 6,63m de profundidade.

Problemas esperados

- Suscetível à erosão por ravinamento com a retirada da camada superficial de solo, em áreas sem proteção vegetal
- Potencialmente instáveis a escorregamentos em declividades superiores a 20%

Avaliação

Terrenos com declividade de 0 a 20%

- Adequados com restrições para a implantação de loteamentos residenciais e vias de circulação principais e secundárias.
- Adequados com restrições para implantação de infra-estrutura enterrada
- Suscetibilidade crescente à erosão com o aumento da declividade
- Baixos a moderados volumes a serem trabalhados em terraplenagem

- Necessidade de proteção vegetal nos cortes e aterros e necessidade de obras para estabilização de taludes
- Inadequadas para disposição de resíduos
- Ruim para material de empréstimo

Terrenos com declividades de 20 a 30 %

- SEVERAS RESTRIÇÕES na implantação de loteamentos e vias de circulação principais e secundárias
- Ruim para a implantação de infra-estrutura enterrada
- Inadequadas à disposição de resíduos
- Terraplenagem com grandes volumes a serem trabalhados
- Necessidade de projetos de contenção e estabilização de cortes e aterros
- Ruim para material de empréstimo
- Suscetibilidade alta à erosão, sendo necessárias obras de proteção de cortes. Devem ser evitados os decapeamentos extensivos (retirada do solo superficial e exposição das argilas)

9.4 - Unidade de Terreno CR

Classificação

Solos residuais e/ou transportados sobre gnaisses e migmatitos. Relevo na forma de mar de morros com colinas arredondadas e vertentes convexas. Esta unidade exibe um perfil completo de intemperismo e formação de solos, desde a rocha sã (gnaisse-migmatitos), passando pela rocha alterada (saprolito), podendo ou não conter matacões, com espessura variável de 4,0 a mais de 10,0m. A textura é média a siltosa, com argilo-mineral predominante caulinita (1:1). Os solos são residuais (jovem ou maduro), mostram textura argilosa, lateríticos, porosos, permeabilidade média, com argilo-mineral predominante caulinita (1:1).

Estes solos são recobertos por solos transportados (coluviais), com espessuras inferiores a 1,0m. A resistência à penetração dos solos transportados e residuais gradua de baixa a média com a profundidade, podendo atingir o impenetrável a poucos metros.

O nível freático médio é 5,2m, sendo mais profundo nas partes altas do terreno.

Problemas esperados

- Alta suscetibilidade à erosão e potencialmente instáveis a escorregamentos e rastejos de solos em declividades superiores a 20%
- Movimentos de massa e escorregamentos localizados

Avaliação

Terrenos com declividades de 0 a 20%

- Adequados para loteamentos residenciais com facilidades na implantação de infra-estrutura enterrada e vias de circulação principais e secundárias
- Baixa a média necessidade de terraplenagem, com compensação entre aterros e cortes

- Suscetibilidade baixa a erosão, havendo necessidade de proteção vegetal nos cortes e aterros

Terrenos com declividades de 20 a 30%

- Adequados com restrições para loteamentos residenciais e implantação de vias de circulação, evitando cortes transversais à encosta
- Ruim para implantação de infra-estrutura enterrada
- Terraplenagem com grandes volumes a serem trabalhados
- Inadequados para a disposição de rejeitos
- Necessidade de projetos de contenção e estabilidade de cortes e aterros
- Suscetibilidade à erosão, com necessidade de proteção vegetal nos cortes

9.5 - Unidade de Terreno DR

Classificação

Solos residuais sobre rochas carbonáticas. Relevo na forma de morros com colinas arredondadas e vertentes convexas. Esta unidade é composta de solos residuais, maduros ou jovens, argilosos a muito argilosos, secundariamente siltosos a médios, de cor avermelhada, amarela, por vezes, variegada. É comum a presença de concentrações locais de sílica (semelhante à areia, fina, friável e sacaróide), resultante da dissolução das rochas carbonáticas. Os solos residuais são lateríticos, porosos, de baixa permeabilidade, com argilo-minerais: caulinita (1:1) e secundariamente esmectita (2:1) e gibbsita (1:1). As espessuras variam entre 0,5 e 20,0m (nas porções acima das zonas irregulares do topo rochoso).

A consistência é baixa a média, com resistência à penetração (SPT), homogênea ao longo do perfil, atingindo o impenetrável no contato com a rocha fresca. A escavabilidade é de primeira categoria. O nível freático médio é 5,7m.

Problemas esperados

- Recalque em fundações devido a irregularidades da espessura do solo em zonas irregulares do topo rochoso (formadas devido à dissolução cárstica)
- Migração de solo em fendas de dissolução e ruptura de teto de cavernas
- Possibilidade de substrato rochoso subaflorante, com presença de cavidades, cavernas e condutos cársticos
- Conflito com atividades de mineração de “*calcário*”

Avaliação

Terrenos com declividades de 0 a 30%

- SEVERAS RESTRIÇÕES para implantação de loteamentos residenciais. Torna-se viável desde que obedecidos critérios técnicos adequados e em consonância com planos de mineração e aproveitamento de recursos hídricos (superficiais e subterrâneos)
- Necessidade de estudos preliminares de subsolo que permitam delimitar o topo rochoso (pavimento cárstico), para implantação de obras ou loteamentos

- Necessidade de obras especiais de fundações (ancoragem, estaqueamentos e outros) e obturações, injeções de caldas e argamassas em cavidades e vazios subterrâneos
- Dificuldades na implantação de infra-estrutura enterrada nas proximidades do topo rochoso (uso de explosivos)
- Necessidade de adequação para tamanho mínimo de lote e estudos detalhados para seleção de áreas de descarga de efluentes, esgotos e resíduos em geral
- Áreas vulneráveis à poluição de aquíferos (freático e cárstico), com presença de dolinas e sumidouros
- Inadequadas para a instalação de indústrias ou disposição de resíduos
- Áreas de alto potencial para mineração, principalmente em altas declividades
- Áreas suscetíveis a afundamentos cársticos (colapsos de solo e subsidências), naturais ou induzidos pela ação antrópica

9.6 - Unidade de Terreno DT

Classificação

Solos transportados sobre rochas carbonáticas, em planícies cársticas de relevo suave. A unidade compreende solos de coloração variegada (avermelhada, amarelada e amarronada), imaturos, de textura predominantemente argilosa, lateríticos, porosidade elevada e baixa permeabilidade. Espessuras de 1,0 a mais de 30 m. Escavabilidade de primeira categoria e resistência à penetração (SPT) baixa a média, homogênea ao longo do perfil, atingindo o impenetrável no contato com a rocha fresca. Argilo-minerais: caulinita (1:1) e secundariamente gibbsita e ilita (2:1).

São comuns linhas de seixos (“*stone line*”) de quartzo e metassedimentos, e paleocanais de pequenas dimensões preenchidos por seixos de quartzo. O nível freático médio é 5,7m.

Problemas esperados

- Possibilidade de colapsos de solo e subsidências de terreno
- Recalques em fundações
- Migração de solo em profundidade
- Áreas de carste coberto, com possibilidade de contaminação do lençol freático e do aquífero cárstico

Avaliação

Terrenos com declividade de 0 a 30%

- SEVERAS RESTRIÇÕES para a implantação de loteamentos residenciais. Torna-se viável desde que obedecidos critérios técnicos adequados e em consonância com planos de mineração e aproveitamento de recursos hídricos do carste (superficiais e subterrâneos)
- Necessidade de estudos preliminares de subsolo até uma profundidade de 60 m (sondagens, geofísica, etc), para implantação de obras ou loteamento

- Necessidade de obras especiais de fundações (ancoragem, estaqueamentos e outros) e obturações, injeções de caldas e argamassas em cavidades e vazios subterrâneos
- Necessidade de adequação do tamanho mínimo de lote e estudo detalhado para seleção de áreas de descarga de efluentes e resíduos em geral
- Inadequadas para a disposição de resíduos ou instalação de indústrias poluidoras
- Áreas com potencial hidrogeológico
- Áreas suscetíveis a afundamentos cársticos (colapso de solo e subsidências), naturais ou induzidos pela ação antrópica (extração de água subterrânea, atividades de mineração, ocupação desordenada, etc.)
- Possibilidade de rupturas e avarias nas redes coletoras e de distribuição (água, esgoto)
- Áreas de carste coberto, vulneráveis à poluição de aquíferos, com presença de dolinas, fontes e sumidouros, favorecendo a infiltração das águas no subsolo
- Adequadas para ocupação rural com uso de técnicas de manejo do solo e monitoramento dos níveis de agrotóxicos utilizados nos plantios e lavouras

9.7 - Unidade de Terreno MP

Classificação

Solos residuais e saprolitos de metapelitos (filitos, metassiltitos, metargilitos e metarritmitos). Relevo forte de cristas alongadas, descontínuas ou não, ressaltadas na topografia. Encostas abruptas, retilíneas e convexas.

Compreende solos residuais (maduros ou jovens), de cor castanho clara a amarelada, lateríticos, siltosos, alta porosidade, argila com alta capacidade de troca catiônica. Consistência baixa e espessuras inferiores a 1,0m. Argilo-mineral predominante: caulinita (1:1).

Os solos residuais gradam a saprolitos de cor amarelada a avermelhada, lateríticos, textura siltosa, baixa permeabilidade e alta porosidade. Espessuras superiores a 10,0m. Argilo-mineral predominante: caulinita (1:1). Apresentam pronunciada foliação/acamamento, com inclinações entre 30° e 90°. Resistência à penetração (SPT), crescente com a profundidade. Escavabilidade de primeira categoria.

Problemas esperados

- Possibilidade de escorregamentos ou movimentos de massa em cortes e vertentes, que interceptem no mesmo sentido os planos de foliação/acamamento.

Avaliação

Terrenos com declividade de 0 a 30 %

- Adequadas com restrições para a implantação de loteamentos e vias de circulação
- Adequação de cortes e taludes com altura limite de 3,0m, principalmente no sentido do mergulho das camadas

- Necessidade de projetos de contenção e estabilização de cortes e aterros e proteção vegetal
- Projetos de loteamentos e vias de circulação em conformidade com a topografia
- Baixa suscetibilidade à erosão
- Adequadas para disposição de resíduos sólidos, cemitérios e outros, desde que obedecidos critérios técnicos e características locais do terreno (declividade, espessura e tipo de cobertura, nível freático e outros)

9.8 - Unidade de Terreno QZ

Classificação

Rochas quartzíticas aflorantes na forma de lajes e blocos de dimensões métricas, por vezes formando campos de matacões. Relevo de cristas alongadas com vertentes íngremes (altos topográficos).

A unidade é constituída por quartzitos esbranquiçados a amarelados, de granulação fina a média, localmente friáveis, com elevada porosidade.

Problemas esperados

- Queda de blocos

Avaliação

Terrenos com declividades de 0 a 30%

- Inadequadas para a ocupação urbana e outras, principalmente em função da situação topográfica e altas declividades
- Dificuldades na implantação de infra-estrutura enterrada (rocha aflorante)
- Escavabilidade ruim (uso de explosivo)
- Suscetibilidade à queda de blocos

9.9 - Unidade de terreno DB

Classificação

Solos residuais e transportados sobre diabásios, em cristas alongadas com morros de topo aplainado e vertentes convexas e íngremes. A unidade exhibe perfil completo de alteração desde a rocha sã (diabásio), passando para rocha alterada (saprolito) e solo residual maduro.

Os solos residuais, lateríticos, mostram coloração avermelhada, por vezes parda, textura argilosa, baixa permeabilidade, porosidade média e espessuras inferiores a 1,0m. Argilo-minerais: caulinita (1:1) e esmectita (2:1).

Os saprolitos apresentam textura siltica a média, cor avermelhada a pardacenta, lateríticos, medianamente porosos e baixa permeabilidade, espessuras superiores a 5,0m, com matacões arredondados apresentando decomposição esferoidal. Estes materiais podem estar recobertos por solos transportados, de cor amarronada a castanho-avermelhada, matriz argilosa, envolvendo blocos e matacões. Distribuem-se

transversalmente aos diques de diabásio, formando franjas de colúvio com extensão lateral de até 250m. A resistência à penetração (SPT) é crescente com a profundidade, com passagem brusca ao impenetrável no contato com a rocha fresca.

Problemas esperados

- Escorregamentos naturais ou induzidos em encostas
- Instabilidade de cortes e taludes
- Apoio de fundações sobre blocos isolados nas áreas de colúvio, provocando recalques

Avaliação

Terrenos com declividades de 0 a 30%

- Ocupação urbana com restrições
- Possibilidade de implantação de sistemas lineares de loteamentos, com adequação do tamanho mínimo do lote ao longo da crista de topo aplainado
- Dificuldades na implantação de infra-estrutura enterrada e abastecimento de água
- Inadequadas à disposição de resíduos sólidos
- Adequadas à ocupação rural com técnicas de manejo do solo em áreas de alta declividade

9.10 - Unidades com Declividades Superiores a 30%

Avaliação

- Inadequadas à ocupação urbana e implantação de vias de circulação devido aos inúmeros problemas geotécnicos associados e dificuldades na implantação de infra-estrutura enterrada
- Áreas impróprias à ocupação urbana, conforme a legislação vigente
- Áreas para preservação permanente

10 - RISCOS GEOLÓGICOS

A noção de risco geológico aqui empregada diz respeito a todo processo de alteração no meio físico (natural ou induzido), que pode gerar danos econômicos ou sociais para alguma comunidade e cuja previsão, prevenção e correção utiliza-se de critérios geológicos. Neste sentido, foram caracterizados nos limites das áreas A100, A103 e A093 (parcial), os seguintes processos causadores de riscos geológicos:

- Inundações
- Afundamentos cársticos
- Movimentos de massa
- Erosão
- Poluição de aquíferos

10.1 - Inundações

As inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica fluvial, atingindo periodicamente as várzeas, também chamadas planícies de inundação. Este processo constitui problema quando afeta os terrenos ocupados junto às drenagens. A urbanização avança com frequência sobre as áreas inundáveis sem adoção de medidas para o controle das cheias e sem a previsão adequada das alterações nos parâmetros que as condicionam.

A ocupação pode levar ao incremento das áreas inundáveis, que passam a abranger espaço mais amplo do que o tomado originalmente pelas várzeas, quando esta ocupação resulta no entulhamento das planícies de inundação ou na redução da calha de drenagem, por assoreamento ou por implantação de obras civis. O assoreamento pode ser causado pelo aporte de sedimentos gerados a partir da erosão por ravinas, boçorocas e de erosão urbana. Em termos de problemas relacionados à riscos geológicos, são as inundações os que oferecem as maiores dificuldades no seu controle e prevenção. Os problemas decorrentes das cheias são variados, e via de regra derivados da utilização inadequada das áreas suscetíveis à inundações, em especial pela população de mais baixa renda.

A ocupação desordenada dos baixios, além de causar o desequilíbrio ambiental de uma região, traz consigo sérios problemas de natureza sócio-econômica, principalmente no setor de saúde pública e infra-estrutura. As obras necessárias para promover a “proteção” das comunidades assentadas em aluviões são muito onerosas se comparadas aos baixos custos de ações para viabilizar o uso e ocupação destes solos. As áreas de baixios são suscetíveis à enchentes e inundações (figura 04), onde distingue-se:

Inundação: nível que as águas atingem quando ultrapassam o canal normal do rio alcançando os limites da planície de inundação (várzea ou aluvião). Esta, por sua vez, funciona como um regulador do equilíbrio hidrológico, absorvendo o excesso de água nas situações de cheias.

Enchentes: nível que as águas atingem quando correm fora do canal normal do rio, além dos limites da planície de inundação, sendo causadas por fenômenos sazonais de alta pluviosidade ou pela interferência do homem no meio físico (construção de aterros, diques, loteamentos, e outros).

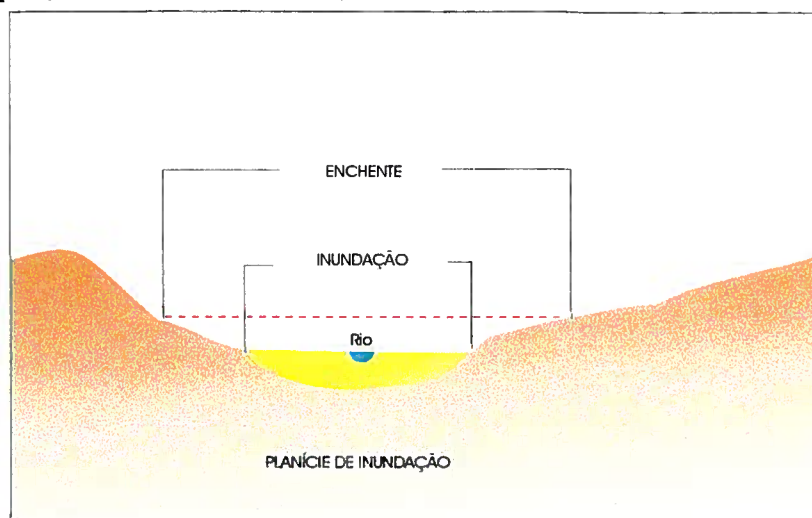


Figura 04- Perfil esquemático com representação do nível atingido pelas inundações e enchentes.

Nos limites das folhas A100, A103 e A093 (parcial), as áreas de planícies de inundação, com nível freático raso ou aflorante, são ocupadas por sedimentos aluvionares e/ou solos hidromórficos, que mostram o seguinte perfil:

- Camada superficial orgânica, de cor negra, com espessuras de 1,0 a 2,0m.
- Argila intermediária cinza escura, muito mole, plástica, com espessuras em torno de 1,0m.
- Areias e cascalhos basais, fofos, por vezes compactos, com espessuras inferiores a 1,0m.

Estes sedimentos, dado o seu péssimo comportamento mecânico, são considerados problemáticos para a engenharia e merecem, por esta razão, atenção especial no processo de uso e ocupação do solo. Constituem-se, principalmente na porção superior, de solos extremamente compressíveis, moles, com baixos valores de coesão e baixa capacidade de suporte de carga, o que inviabiliza tecnicamente qualquer obra de engenharia tais como fundações, construções, aterros diretos (fotografia 14), obras enterradas, e outros.



Fotografia 14 - Aterro direto sobre sedimentos aluvionares de fundo de vale, potencializando os riscos de adensamento de solo (folha A100, PR-092 Curitiba-Rio Branco do Sul).

Como sua ocorrência está intimamente relacionada às áreas de inundações (aluviões), a forma mais racional de encaminhar soluções no processo de planejamento urbano ou uso e ocupação do solo, é restringir e/ou evitar loteamentos e construções nestes locais, optando por usos voltados à preservação destas áreas, tais como construções de tanques, parques e outros. Entretanto, se inevitável, a solução mais segura, até porque suas espessuras são relativamente pequenas (até 4,0m), é a remoção pura e simples e sua substituição por material mais adequado ou utilização do substrato rochoso subjacente para apoio de fundações, com eficiente sistema de drenagem.

10.2 - Afundamentos Cársticos

São os afundamentos de terreno que têm como condicionante principal a presença de substrato rochoso constituído de rochas carbonáticas, submetidas a dissolução por circulação de águas agressivas, pelos ácidos nelas contidos (ácido carbônico, ácidos húmicos, fúlvicos e tânico). A dissolução destas rochas, a partir de

planos de acamamento e fraturas, resulta na formação de cavidades subterrâneas, condição fundamental para desencadear afundamentos na superfície do terreno.

A presença de cobertura de materiais inconsolidados (aluviões, colúvios e solos de alteração) sobre rochas carbonáticas em dissolução tende a aumentar o significado geotécnico deste processo, quer pela ampliação física da área em afundamento, quer pelo próprio mascaramento de corpos carbonáticos, produzindo até mesmo terrenos de topografia mais suave em relação ao entorno, que podem atrair usos mais intensos.

Os afundamentos se manifestam na forma de colapsos de solo e subsidências de terreno e podem se desenvolver de maneira natural ou ser acelerados ou deflagrados por ações próprias do uso do solo, principalmente aquelas que resultam em alterações na dinâmica e nas características de circulação da água subterrânea (figura 05).

Os colapsos de solo se caracterizam por desabamentos bruscos, circulares em forma de crateras, com seção lateral de tronco invertido. Podem ocorrer mesmo sem sinais prévios denunciadores e são apontados como os principais causadores de acidentes graves em áreas de carste.

As subsidências de terreno se caracterizam por processos de adensamento e/ou rebaixamento do solo, consistindo de movimentos mais lentos em relação aos colapsos, e que podem provocar recalques nas fundações, sendo responsáveis pela ruína total ou parcial de edificações (trincas, rachaduras e desabamentos).

Segundo Prandini *et al.* (1987), nos países onde são observados fenômenos de colapsos e subsidências há muito tempo, considera-se extremamente difícil estabelecer previamente o local, as dimensões e o momento da ocorrência desses fenômenos.

Nas áreas cársticas cobertas por materiais inconsolidados observa-se uma tendência natural dos materiais de recobrimento em preencherem as cavidades do substrato rochoso. Este preenchimento, segundo Nakazawa *et al.* (1987), faz-se tanto pela migração dos materiais para o interior das cavidades (figura 06), como pelo desabamento de teto de cavernas. Os efeitos em superfície desses mecanismos, que são desenvolvidos em subsuperfície, podem ser detectados através de afundamentos do terreno, agravados pela sobrecarga causada por estruturas urbanas.

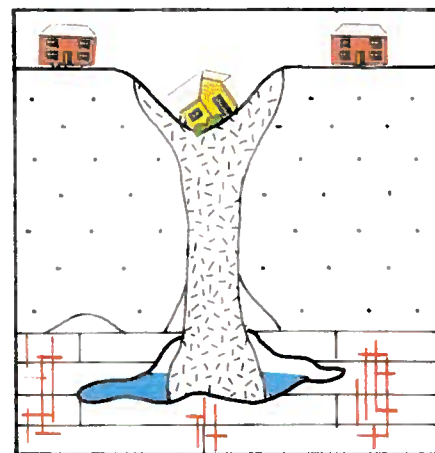
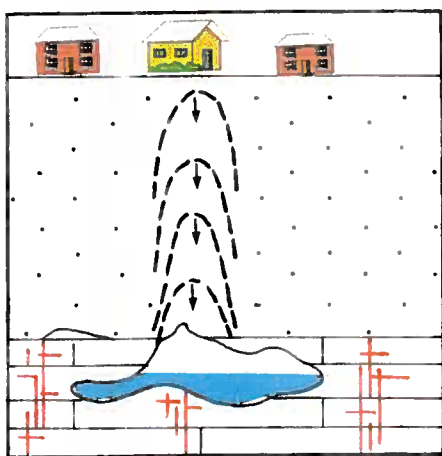
Os principais agentes de deflagração e evolução dos mecanismos acima citados estão relacionados às oscilações ou mudanças bruscas do nível hidrostático. Portanto, relacionam-se às variações de pressão, direção e velocidade do fluxo da água no interior do substrato carbonático, e às forças resultantes da ação da gravidade. Essas oscilações do nível hidrostático podem ser provocadas pelas próprias variações sazonais, ou pelas operações de bombeamento em poços tubulares, que produzem oscilações rápidas e cíclicas (Prandini *et al.*, 1987).

As vibrações induzidas por explosões em pedreiras também podem contribuir para a desestruturação dos materiais de cobertura, favorecendo a sua migração para o interior das cavidades ou provocando o desabamento das porções superiores destas cavidades (figura 07).

As condições geológicas existentes nas faixas carbonáticas das folhas estudadas, principalmente naquelas recobertas por solos transportados, com espessuras superiores 30 m (figura 08), mostram grande potencialidade para o desenvolvimento de afundamentos do terreno, com casos já relatados de colapsos e subsidências (Colombo, Fervida, Tranqueira e Almirante Tamandaré - Fotografias 15 e 16).

AFUNDAMENTOS CÁRSTICOS

- 1 . COLAPSO DE SOLO : MOVIMENTOS BRUSCOS, ESTRUTURA DE TRONCO INVERTIDO, FEIÇÕES CIRCULARES, DESABAMENTOS / ALTO RISCO



- 2 . SUBSIDÊNCIAS : MOVIMENTOS LENTOS, ADENSAMENTO DE SOLO, RECALQUES EM FUNDAÇÕES, TRINCHAS, RACHADURAS.

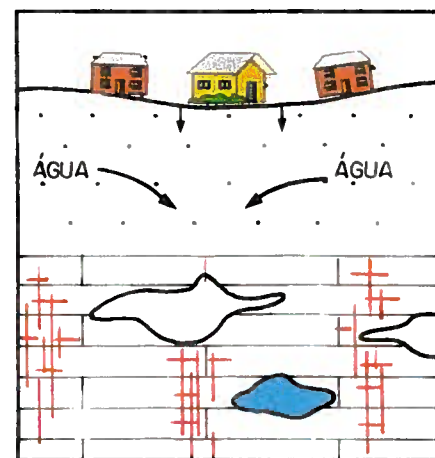
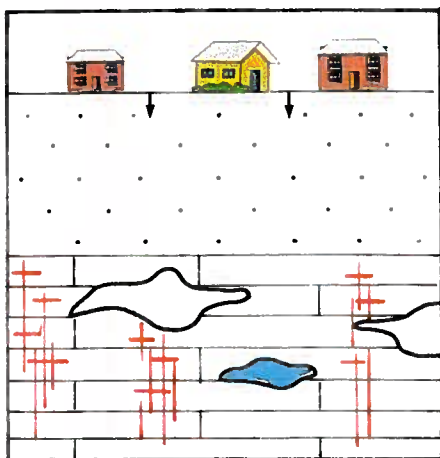


FIG. 05 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE AFUNDAMENTOS CÁRSTICOS.

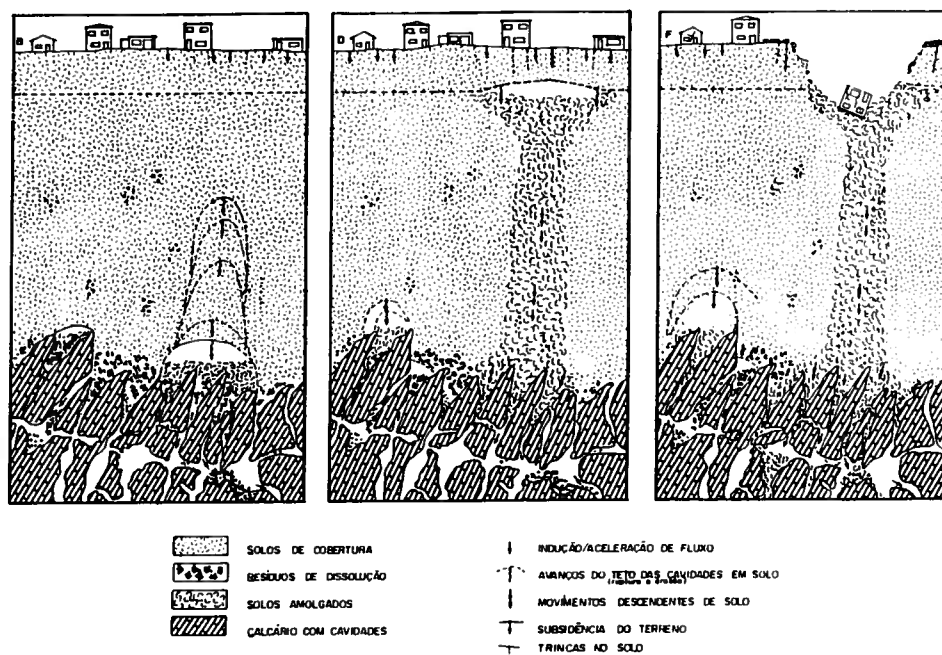


Figura 06 - Representação esquemática da migração do material de cobertura para o interior de cavidades no substrato carbonático. Adaptado de Nakazawa *et al.* (1987).

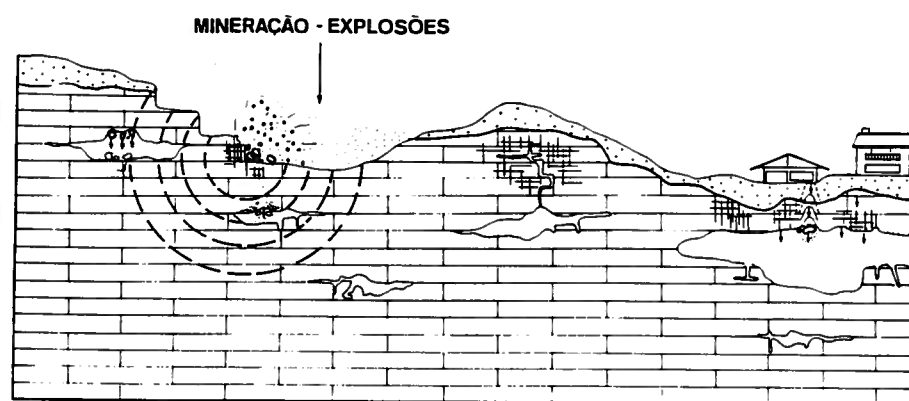


Fig. 07 - Afundamentos associados a vibrações causadas pelo uso de explosivos em pedreiras (Oliveira, 1997).

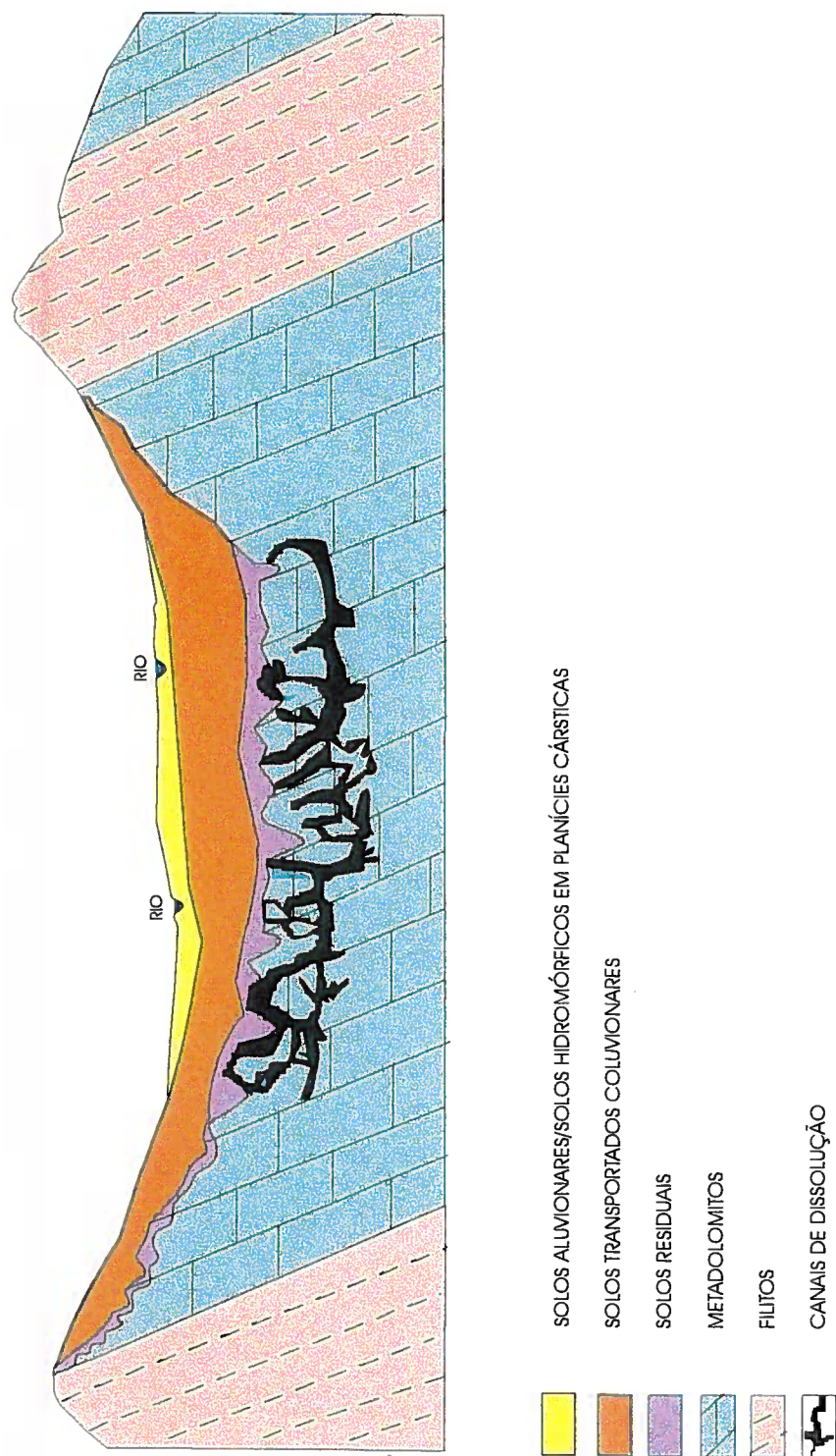


Figura 08 - Perfil esquemático das áreas carbonáticas recobertas por solos transportados (Bonacim, 1996).



Fotografia 15 - Detalhe das rachaduras e trincas causadas por subsidências do terreno em áreas de carste coberto (folha A103, Ponto LM-7653).



Fotografia 16 - Cratera originada por colapso de solo em meio ao pavimento da rodovia que liga Colombo a Almirante Tamandaré (folha A100, Ponto RG-5268).

Estes fenômenos podem se desenvolver de maneira natural ou ser deflagrados ou acelerados por ações próprias do uso do solo, caso não observados critérios técnicos adequados para a ocupação urbana e aproveitamento dos recursos naturais do carste (água subterrânea, mineração de “*calcário*”, patrimônio espeleológico).

Para tanto torna-se necessária a implantação de um programa integrado para o desenvolvimento de áreas cársticas, conforme modelo proposto a seguir (figura 09):

Considera-se que o planejamento integrado é o instrumento de gestão mais adequado e racional para viabilizar a ocupação urbana e a exploração dos recursos naturais do carste, sem oferecer riscos à economia e as comunidades locais.

O ambiente cárstico deve ter tratamento especial e diferenciado em qualquer programa de desenvolvimento territorial e urbano.

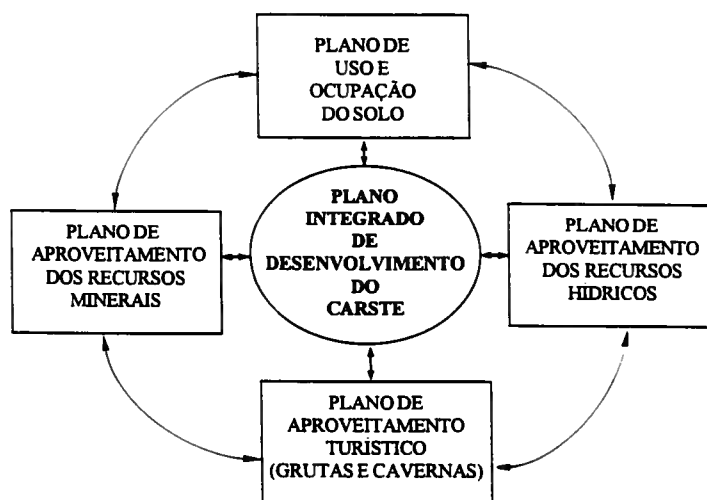


Figura 09 - Modelo proposto para gestão de áreas cársticas (Oliveira, 1997).

10.3 - Movimentos de Massa

Compreendem todos os movimentos gravitacionais que promovem a movimentação de partículas ou parte do regolito pela encosta abaixo. Entre os fatores predisponentes para o processo, destacam-se: os tipos de complexos geológico-geomorfológicos e climáticos-hidrológicos, o calor solar, tipo de vegetação e, obviamente, a ação da gravidade.

Nos limites das folhas em estudo podem ocorrer através dos seguintes processos:

- rastejos;
- escorregamentos;
- quedas de bloco.

Rastejos

Correspondem aos deslocamentos das partículas, promovendo movimentação lenta e imperceptível dos vários horizontes do solo (poucos centímetros por ano). Esses movimentos podem ser contínuos ou pulsantes, associados a alterações climáticas sazonais (umedecimento e secagem).

Podem ser evidenciados, de acordo com Christofolletti (1974), pelos seguintes indícios (figura 10):

- (A) deslocamento de blocos;
- (B) presença de árvores com troncos recurvados;
- (C) acamação para jusante de blocos intemperizados e fraturados;

- (D) deslocamento de postes, cercas e marcos;
- (E) deslocamento ou rupturas de muros e muretas de proteção;
- (F) existência de rodovias ou ferrovias fora do alinhamento;
- (G) presença de matações rolados;
- (H) ocorrência de cascalheiras ou linhas de fragmentos de rocha (*stone line*), na base do regolito.

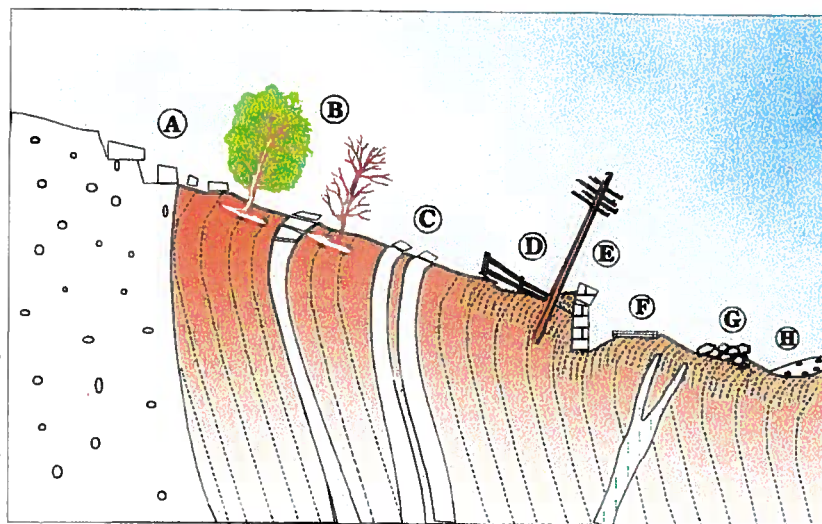


Figura 10 - Perfil esquemático de encosta submetida a processo de rastejo e os indícios do fenômeno. Modificado de Christofolletti (1974).

O rastejo afeta grandes áreas do terreno e atua, tanto nos horizontes superficiais das encostas (solo superficial), quanto nos estratos mais profundos, deslocando e abrindo fendas no solo residual e na rocha.

As regiões suscetíveis ao processo de rastejo e que podem oferecer riscos à ocupação urbana, nos limites das folhas A100, A103 e A93 (parcial), correspondem àquelas de solos residuais e/ou transportados sobre gnaisses-migmatitos, quartzitos e filitos, em declividades superiores a 20% (fotografia 17).



Fotografia 17 - Indícios de movimentos de massa (rastejo), manifestados pela acumulação a jusante de blocos intemperizados e fraturados. O corte mostra sequência de filitos intercalados a finas camadas de quartzitos que ressaltam na superfície, devido a sua maior resistência (folha A100, Ponto RG-5390).

Escorregamentos

Os escorregamentos se constituem de movimentos rápidos, bruscos, com limites laterais e profundidades bem definidas. Podem envolver solo, solo e rocha ou apenas rocha. Sua geometria pode ser circular, planar ou em cunha (figura 11), em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionam a formação das superfícies de ruptura.

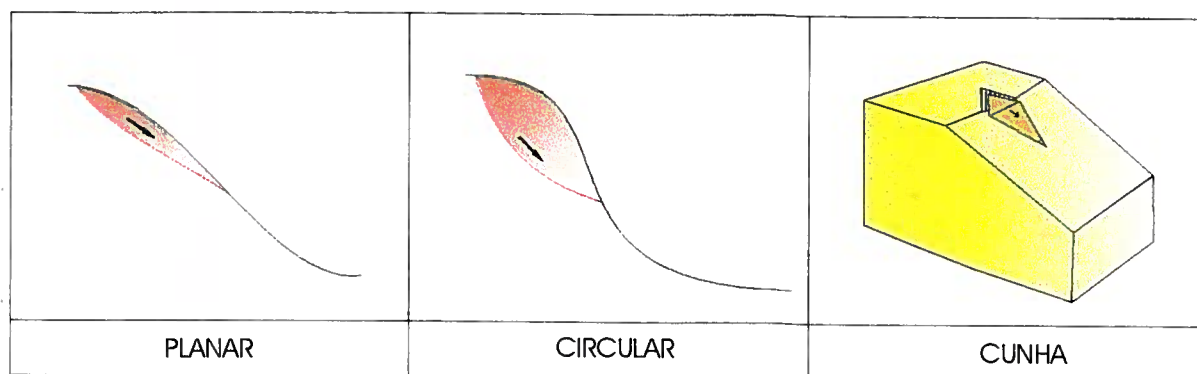


Figura 11 - Geometria dos movimentos de massa associados a escorregamentos.

O principal agente deflagrador deste processo é a água das chuvas, muitas vezes associado a desmatamentos em encostas, erosão, variações de temperatura, oscilações do nível freático e de fontes. Nestas condições, a infiltração das águas da chuva se dá ao longo de planos preferenciais, que geram superfícies de ruptura. O escorregamento acontece quando o limite de saturação admitido pelo material envolvido é atingido (solo/solo+rocha), conforme ilustra a figura 12.

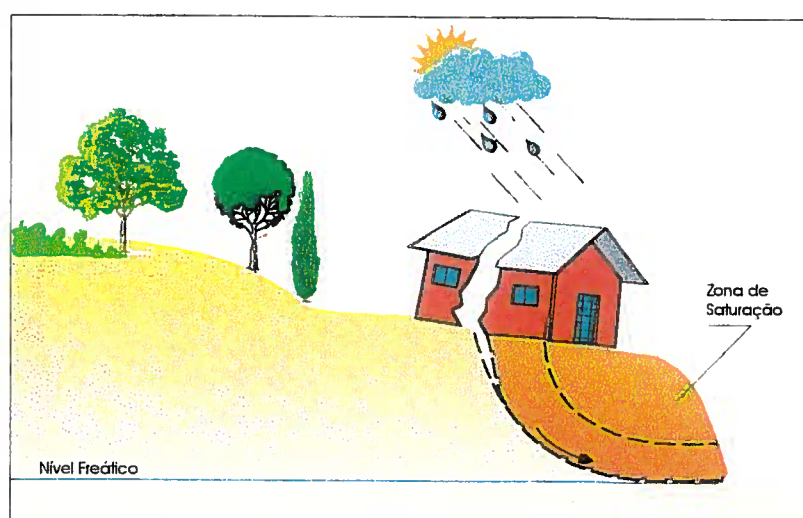


Figura 12- Perfil esquemático da situação de risco de escorregamentos em encostas desmatadas com alta declividade.

Os escorregamentos podem também ser induzidos, ou seja, ter sua deflagração potencializada pela ação antrópica, que muitas vezes mobiliza materiais produzidos pela própria ocupação (aterros, entulhos, lixo - figura 13).

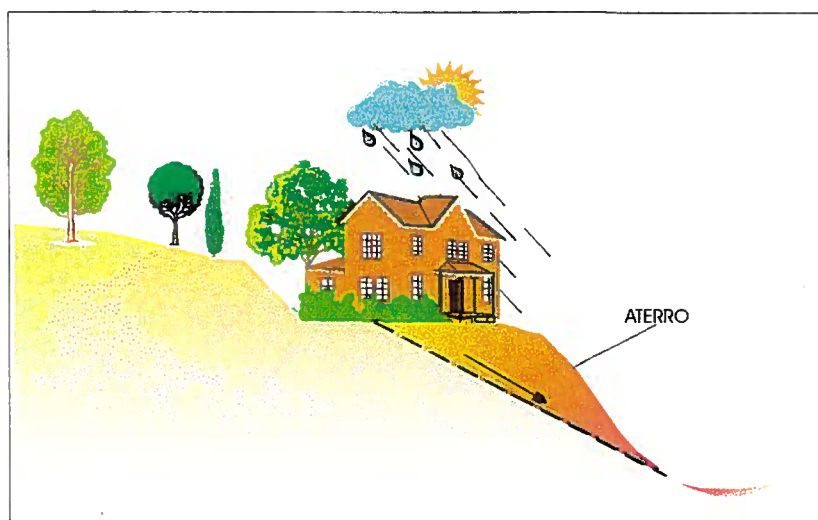


Figura 13 - Situação de risco de escorregamentos em superfície de ruptura originada na interface solo x aterro.

As situações de riscos de escorregamentos, nos limites das folhas A100, A103 e A093 (parcial), estão associadas a:

- Áreas de ocorrências de depósitos de tálus e rampas de colúvio, localizadas no pé de encostas íngremes (relevo de serras e montanhas). São terrenos de estabilidade precária, nos quais os movimentos de massa fazem parte da dinâmica natural da evolução do terreno. Estão associadas a metapelitos, gnaisses-migmatitos e diabásios (fotografia 18), via de regra, em declividades superiores a 20% (figura 14).



Fotografia 18 - Escorregamentos nas encostas de diques de diabásio, provocados por cortes e taludes inadequados na porção basal do morro (folha A100, Ponto RG-5289).

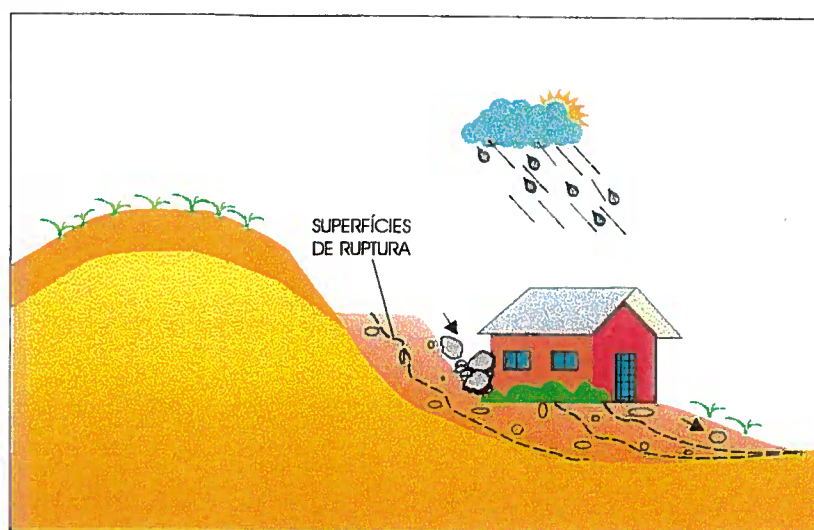


Figura 14 - Ocupação urbana em áreas de rampas de colúvio, constituídas por material instável e incoerente, com suscetibilidade à escorregamento.

- Áreas de ocorrência de metapelitos com cortes e taludes efetuados no sentido do mergulho da camada. Esta situação passa a oferecer risco de escorregamentos em cortes com altura superior à 3,0 metros, sendo a cobertura de solo muito rasa (figura 15).

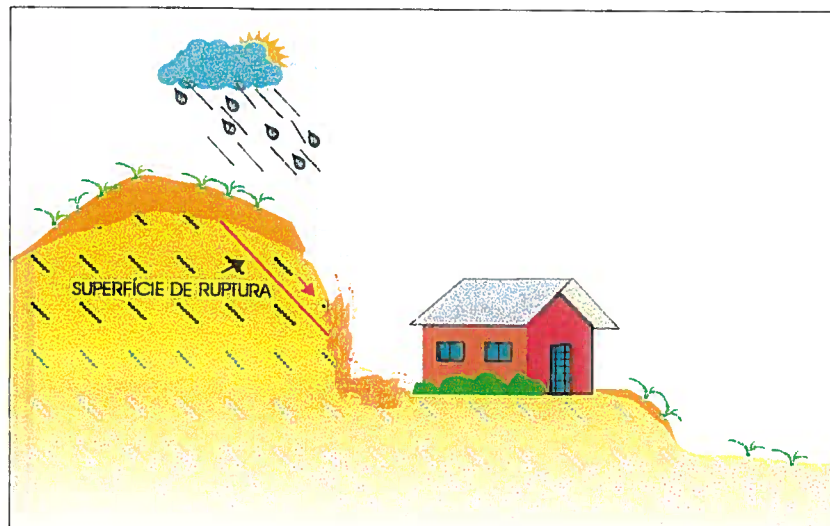


Figura 15 - Situação de risco de escorregamentos em cortes efetuados no sentido do mergulho da camada em metapelitos.

- Áreas de ocorrência de sedimentos argilosos da Formação Guabirotuba. As situações de riscos de escorregamentos são oferecidas pelas alterações introduzidas pelo próprio uso do solo, em função de problemas ligados a variações volumétricas dos sedimentos pela presença de argilo-minerais expansivos. Estas alterações resultam da exposição dos sedimentos argilosos a ciclos de umedecimento e ressecamento, em taludes, cortes e mesmo terraplenagens, gerando fenômenos de empastilhamento. A

existência de fraturamento conchoidal favorece a formação de superfícies de ruptura, potencializando a movimentação de fatias do terreno (figura 16). As áreas que oferecem maior risco são aquelas com declividades superiores a 20%, desprovidas do solo de cobertura e vegetação.



Figura 16 - Risco de escorregamentos em sedimentos da Formação Guabirotuba, desprovidos de solo e cobertura vegetal.

Queda de Blocos

São movimentos rápidos e envolvem blocos ou lascas de rocha em movimentos de queda livre. A ocorrência destes processos está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, sendo potencializada pelas variações térmicas (dilatação e contração de rocha), por discontinuidades (planos de fraqueza, como planos de acamamento e de fratura), erosão ou ação das águas das chuvas que escavam as camadas superficiais do solo e liberam blocos e matacões encosta abaixo (figura 17).

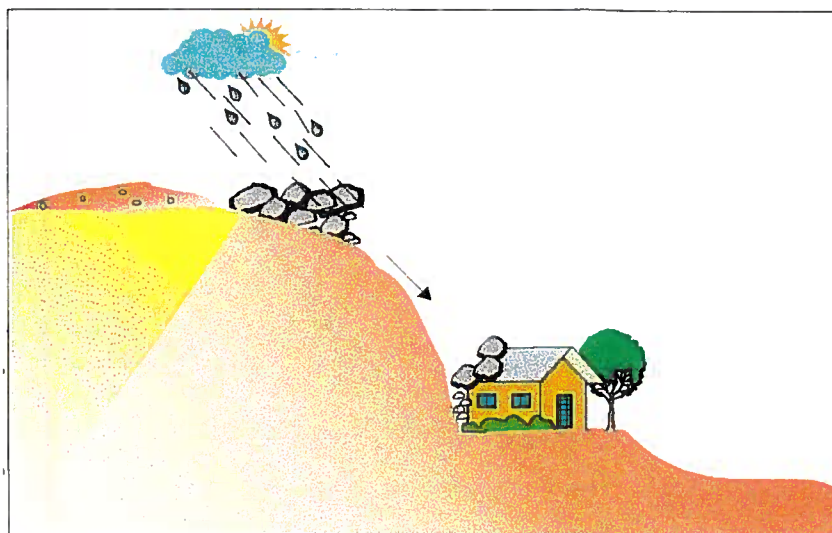


Figura 17 - Ocupação urbana em áreas sujeitas à queda de blocos.

Os locais que mostram potencialidade para o fenômeno são aqueles associados às áreas de ocorrência de rochas quartzíticas que, via de regra, afloram nos altos topográficos na forma de blocos e matacões instáveis (ver fotografia 08).

10.4 - Erosão

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provoca o destacamento e o transporte de materiais sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são a água da chuva, rios, geleiras, mares e ventos. Dentre estes, as águas pluviais têm grande importância, por propiciarem o escoamento superficial e o transporte do material inconsolidado. Pode-se classificar a erosão causada pelo escoamento superficial das águas da chuva em natural e antrópica de acordo com Oliveira *et al.* (1987) e Dage (1990) in Pejon (1992).

A erosão é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente controlado pelos fatores naturais. Esta erosão pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo. A remoção do material inconsolidado pode tornar-se mais rápida do que sua geração a partir dos processos de intemperismo das rochas, o que caracteriza o fenômeno como de erosão acelerada. Outro tipo de erosão está relacionado à ação do homem, que provoca desequilíbrios pela interferência no ambiente natural, recebendo o nome de erosão antrópica e caracterizando-se por uma aceleração dos fenômenos erosivos, num processo mais rápido do que a erosão acelerada natural, podendo evoluir em poucos anos e atingir áreas extensas.

Tanto a erosão normal quanto a acelerada podem ocorrer de duas maneiras principais: como erosão laminar ou por escoamento concentrado. A erosão laminar afeta a superfície do solo como um todo, quando o escoamento da água de chuva ocorre sem concentrar-se em canais definidos. Quando ocorre a formação de filetes ou canais de água arrastando material tem-se a erosão concentrada.

Os fenômenos de erosão concentrada podem apresentar proporções diferentes, desde pequenos sulcos ou ravinas que apresentam dimensões relativamente pequenas, até processos que atingem grandes áreas, com o aprofundamento dos canais até dezenas de metros, interceptando muitas vezes o nível d'água. Estas erosões totalmente descontroladas denominadas boçorocas causam grandes danos, em áreas rurais e urbanas (figura 18).

Os ravinamentos observados na área de trabalho localizam-se sobre os sedimentos da Formação Guabirotuba, cuja área de ocorrência é mais significativa nos limites da folha A103 (fotografia 19). Estes sedimentos incluem argilas expansivas, com argilo-mineral esmectita (2:1). Apresentam retração e expansão muito grande, pela perda e absorção de água (argila higroscópica). Este fato aliado ao fenômeno do empastilhamento, faz com que estas argilas sejam facilmente transportadas pelas águas superficiais.

Este processo é agravado pela ação antrópica com a retirada da camada de solo residual ou transportado (colúvio) para construção de estradas, implantação de loteamentos, retirada de material de empréstimo e outros, deixando a argila exposta. Estas argilas perdem a umidade natural e se retraem, se rehidratam e se expandem com as águas das chuvas, formando uma lama facilmente transportada mesmo em pequenos gradientes em que a água se concentre em filetes e canais. Desta maneira inicia-se o processo de ravinamento que pode alcançar grandes dimensões se não forem tomadas medidas mitigadoras, e cuja evolução causa grandes danos tanto em áreas rurais como em áreas urbanas.

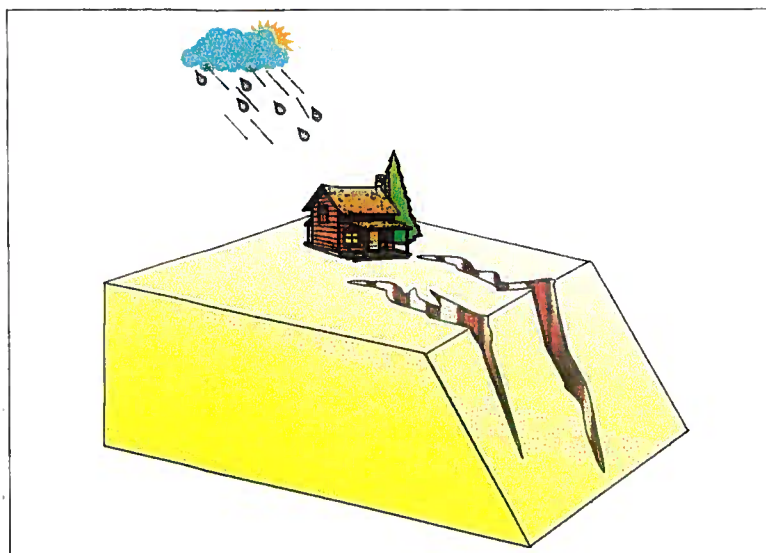


Figura 18 - Ravinas e sulcos causados por fenômenos de erosão, constituindo riscos para a ocupação urbana que pode potencializar o processo.



Fotografia 19 - Ravinas e sulcos desenvolvidos sobre argilas erosivas da Formação Guabirotuba, Loteamento Monte Castelo (folha A103, Ponto LM-7671).

As regiões que mostram maior potencial para desencadear fenômenos de erosão são as que apresentam declividades maiores que 20%, nos sedimentos da Formação Guabirotuba.

Nas outras unidades geológicas, merecem mais atenção os saprolitos derivados de gnaisses-migmatitos, nas regiões onde a declividade é maior que 20%.

10.5 - Poluição das Águas

Com o aumento da população nos centros urbanos, a poluição das águas tende a aumentar nas mesmas proporções. Isto porque as atividades antrópicas são as principais responsáveis pelos processos de degradação das condições ambientais. Quando o homem contamina diretamente a água, usando-a e devolvendo-a à natureza com suas características totalmente alteradas, é o responsável pela produção de substâncias nocivas, que os fenômenos naturais cuidam de incorporar aos cursos dos rios e aos mananciais subterrâneos.

O conhecimento dos diferentes agentes que podem ocasionar a poluição dos recursos hídricos tem destacada importância no processo de planejamento urbano. Esses agentes precisam ser detectados para que suas atuações possam ser controladas.

A grande diversidade de fontes poluidoras de águas torna bastante difícil uma síntese da mesma. A classificação que segue, procura mostrar as principais origens da poluição de águas superficiais e subterrâneas, a saber:

- **Esgotos domésticos:** provocam a contaminação tanto bacteriológica, por meio de dejetos humanos, como química, pela presença de produtos químicos de uso doméstico, entre eles os detergentes.
- **Esgotos Industriais:** estão aqui incluídos todos os tipos de águas residuais de indústrias em geral, inclusive as de atividades mineradoras e de usinas nucleares. São poluentes essencialmente químicos.
- **Percolação em Depósitos de Resíduos Sólidos:** compreende as águas que antes de chegarem aos rios ou áreas de recarga de aquíferos, percolam depósitos de resíduos

sólidos domésticos ou industriais, como é o caso dos aterros sanitários. Enquanto nos resíduos domésticos predominam os poluentes bacteriológicos, nos resíduos industriais são mais comuns os químicos.

- **Produtos Químicos Agrícolas:** são os adubos, corretivos de solo, inseticidas e herbicidas, freqüentemente usados na lavoura e que as águas de escoamento podem carrear para o leito dos rios e aquíferos, provocando a contaminação química dos mesmos.
- **Produtos de Atividades Pecuárias e Granjeiras:** este é um tipo de poluição essencialmente orgânico e biológico. Os poluentes, muito semelhantes aos das atividades domésticas são levados pelas águas superficiais aos rios. As purinas das criações de porcos constituem os contaminantes mais expressivos, enquanto os produtos de granjas avícolas, de um modo geral são menos poluentes.

As principais fontes de poluição, existentes nas folhas A100, A103 e A093 (parcial), acham-se cadastradas no mapa específico (Volume III) e no Anexo 2, Volume II. Estão associadas a atividades de mineração e beneficiamento de “calcário”, depósitos clandestinos de lixo industrial e doméstico, ao longo de vias de circulação e pedreiras abandonadas (fotografias 20 e 21), postos de combustíveis, garagens, oficinas, ferrovias, cemitérios (fotografia 22), depósitos de plástico e papel, e agrotóxicos utilizados nas lavouras e plantios que constituem importante atividade da região.



Fotografia 20 - Depósito de pneus e resíduos tóxicos (resinas de poliéster), em pedreira desativada, potencializando os riscos de contaminação dos mananciais da região. O referido material é utilizado indevidamente nos fornos de cal da região (folha A100, PontoRG-5192).



Fotografia 21 - Deposição de lixo doméstico e esgoto a céu aberto sobre depressão em área cárstica. Isto potencializa a contaminação dos mananciais da região. Notar a ocupação indevida sobre terrenos sujeitos a adensamentos e subsidências de solo (folha A100, Jardim Planalto - Almirante Tamandaré).



Fotografia 22 - Cemitério instalado inadequadamente sobre planície cárstica, com possibilidade de contaminação das águas subterrâneas (folha A100 - Tranqueira).

11 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A ocupação urbana acelerada traz à COMEC grandes dificuldades no planejamento e ordenamento territorial, muitas vezes pela carência de dados do meio físico, o que se pretende suprir em parte com os mapeamentos geológico-geotécnicos. Os trabalhos demonstram, desde os mapeamentos realizados no Alto Iguaçu (Área I) e na Área II, a sul de Curitiba, como na Área III, a norte, que o entorno de Curitiba apresenta fortes limitações no meio físico que precisam ser consideradas no processo de planejamento regional.

As áreas aluvionares ou de planícies cársticas, com domínio de solos hidromórficos, devem ser de ocupação restrita, sendo indicadas à preservação permanente. Além dos problemas de enchentes e de saneamento básico relacionados com estes terrenos os aluviões também representam uma fonte de água para consumo. Sobre as áreas cársticas somam-se os riscos geológicos associados à ocupação destes terrenos.

As unidades de argilas da Formação Guabirota apresentam riscos de erosão pelas características de seus componentes mineralógicos, devendo ser evitadas as extensivas remoções dos solos argilosos estáveis que as capeiam, principalmente como material de empréstimo ou nas diferentes obras de engenharia.

As áreas de domínio de rochas carbonáticas têm grandes restrições de uso, havendo necessidade de compatibilizar a questão da ocupação urbana, de uso agropecuário e mineração, com a preservação do patrimônio espeleológico e a exploração de água subterrânea.

Sobre as rochas gnáissico-migmatíticas devem ser verificadas as condições de declividade e de remoção dos solos residuais, além das áreas com matações aflorantes, antes de serem iniciados os processos de ocupação.

As áreas de declividades superiores a 30% sobre todas as unidades não devem ser ocupadas, sendo indicadas para preservação permanente, conforme a legislação vigente.

Os riscos geológicos na Área III referem-se a possibilidades de enchentes/inundações nas áreas de fundos de vale (aluviões e planícies cársticas), aos afundamentos cársticos (colapsos de solo e subsidências) em áreas de domínios de

rochas carbonáticas, movimentos de massa nas áreas de maior declividade (rastejos, escorregamentos e quedas de blocos) e erosão (principalmente nas áreas da Formação Guabirota).

Além das unidades geológicas já descritas anteriormente, foram reconhecidos extensos depósitos de sedimentos inconsolidados sobre as unidades de metacarbonatos da Formação Capiru, cujas características estão descritas no item 8.8. Estes depósitos devem constituir uma sequência de provável idade Terciário-Quaternária, similar à Formação Guabirota.

Em adição aos dados obtidos nos trabalhos anteriores, o conjunto de informações gerado no mapeamento geológico-geotécnico da Área III indica a necessidade de atuação do poder público, para compatibilizar a demanda ocupacional com a fragilidade do meio físico. Este processo implica em ação coordenada a nível estadual e municipal, restringindo-se a ocupação das unidades de terreno consideradas inadequadas, e exigindo-se estudos adicionais de caracterização das áreas passíveis de ocupação.

Recomenda-se a continuidade dos estudos geológico-geotécnicos na Região Metropolitana de Curitiba para minimizar os custos ambientais dos processos inadequados de uso e ocupação do solo que se verificam atualmente, trabalhando-se com maior detalhe nas zonas urbanas. A ação do Estado deve pautar-se pela orientação e cooperação com o poder municipal, complementando com a fiscalização e aplicação dos dispositivos legais pertinentes. É necessário, também, levar a informação geotécnica à população, para que se disseminem as formas mais adequadas de intervenção no meio físico.

A complexidade e grande quantidade de dados e informações gerada neste trabalho de mapeamento dificultam a utilização por parte da COMEC, no processo de planejamento. Porém, é necessário o registro global dos dados para constituição do acervo de características do meio físico, permitindo-se outros usos e interpretações, específicos ou não. Para atender diretamente ao planejador, contornando-se esta dificuldade, foi elaborado o mapa de adequabilidade para loteamentos residenciais, buscando sintetizar e condensar as características das unidades de terreno e seus aspectos favoráveis e desfavoráveis ao processo de ocupação. Além disso, o conjunto de dados gerado está disponível em meio digital, em formato compatível com o software de visualização de dados geográficos ArcView, para disponibilizar consultas das entidades e seus atributos em computadores PC.

Cabe ressaltar que o presente trabalho não contempla estudos ou informações específicas da dinâmica das águas subterrâneas, em especial do sistema cárstico, cuja complexidade hidrogeológica é merecedora de estudos especializados (áreas de recarga, condutividade, escoamento, fluxo, vazão, armazenamento e outros), próprios do campo da hidrogeologia. Tais estudos estão sendo desenvolvidos na região por empresas e entidades de pesquisa, entre elas a Sanepar, a Suderhsa, a COMEC e a UFPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BIGARELLA, João José, SALAMUNI, Riad. Considerações sobre o paleoclima da bacia de Curitiba. Notícias Geomorfológicas. Campinas, n. 3, p. 33-39, abr, 1958a.
- 2 BIGARELLA, João José & SALAMUNI, Riad. Contribuição à geologia da região sul da Série Açungui (Paraná). *Bol. Paulista de Geog.*, 29: 3-19. 1958b.
- 3 _____. et al. Origem e ambiente de deposições da Bacia de Curitiba. Bol. Paran. Geogr. Curitiba, n. 415, p. 71-81, 1961.
- 4 BONACIM, E.A. Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira - Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 162 pg. (Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Geologia da UFPR). 1996.
- 5 CAMARGO, O.A. de, MUNIZ, A.C. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas : Instituto Agrônômico de Campinas, s.d. (Boletim Técnico, n. 106).
- 6 CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1974.
- 7 DEMATTÉ, J.L.I. Curso de gênese e classificação dos solos. Piracicaba : Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1989. 210 p.
- 8 FAIRCHILD, T. New stromatolites from the Upper Pre-Cambrian Açungui Group, eastern Paraná, Brazil and their potential stratigraphic use. *Bol. IG/ USP*, 13:43-50. 1982.
- 9 FELIPE, Rogério da Silva et al. Mapeamento Geológico-Geotécnico na Região do Alto Iguaçu. Curitiba: MINEROPAR, 1994, 2v. Convênio COMEC/MINEROPAR.
- 10 FIORI, A. P. Evolução Geológica da Bacia Açungui. *Bol. Par. De Geoc.* nº 42, p. 7 a 27, Curitiba, Ed. UFPr. 1994.
- 11 LISBOA A. A. & BONACIM E. A. Sistema aquífero cárstico - reservatório elevado da região metropolitana de Curitiba. *Sanare*, (4): 26-30. 1995.
- 12 NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, F. A.; ÁVILA, I. G. DE. Et al. Cajamar - carst e urbanização : Investigação e Monitoramento. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, (1987 : São Paulo). Anais... São Paulo : ABGE, 1987. V. 2, pg. 443-460.

- 13 NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. São Paulo : DER, 1979. "Não paginado".
- 14 OLIVEIRA, Luís Marcelo de. A Gestão de Riscos Geológicos Urbanos em Áreas de Carste (Monografia de Especialização), 1997.
- 15 PEJON, Osni José. Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba - SP (escala 1:100.000) estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1992. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia), 1992.
- 16 PRANDINI, F. L.; PONÇANO, W. L.; SANTAS, A. M. et al. Cajamar - carst e urbanização : a experiência internacional (Síntese bibliográfica). In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, (1987: São Paulo : ABGE, 1987. V. 2, pg. 431-441.
- 17 REIS NETO & SOARES P. C. Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro-estruturas dos grupos Açungui e Setuva (PR). In : Simp. Sul-Brasileiro de Geologia, 3, Curitiba. Atas... Curitiba : SBG, 1987. V. 1, pg. 147-165. 1987.
- 18 SALAZAR Jr. Oscar et al. Mapeamento Geológico-Geotécnico nas folhas COMEC A137, A138, A139 e A140. Curitiba. MINEROPAR, 1996, 3v. Convênio COMEC/MINEROPAR.
- 19 SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES. Novo ramal ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul. Relatório final. 1982.
- 20 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. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1992. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), 1992.
- 21 ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1987. 3 v. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil - Geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1987.
- 22 ZUQUETTE, Lázaro Valentin. Importância do mapeamento geotécnico uso e ocupação do meio físico : fundamentos e guia para elaboração. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, 1993. 2 v. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1993.

APÊNDICE 1 - Tabulação dos Ensaios Geotécnicos

**TÁBUA DE IDENTIFICAÇÃO DE ABREVIACÕES
E RESPECTIVAS UNIDADES**

Ag	Argila (partículas <0,002 mm)
Si	Silte (0,002 a 0,02 mm)
Ar	Areia (0,02 a 2,0 mm)
ρ_s	Massa específica dos sólidos - g/cm ³
ρ_{dc}	Massa específica seca de campo - g/cm ³
eo	Índice de vazios natural
η	porosidade - %
Sr	Grau de saturação - %
ρ_{dmx}	Massa específica seca máxima - g/cm ³
wot	Teor de umidade ótima do solo - %
S	Índice de absorção de água
P	Perda de peso por imersão - %
E	Índice de erodibilidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
CTC	Capacidade de troca de cátions - meq/100 g
SE	Superfície específica - m ² /g
Vb	Valor de adsorção de azul de metileno do solo - g/100 g
Acb	Valor de adsorção de azul de metileno na fração argila - g/100 g
Ph	Potencial hidrogeniônico
C	Caulinita
G	Gibbsita
T	Talco

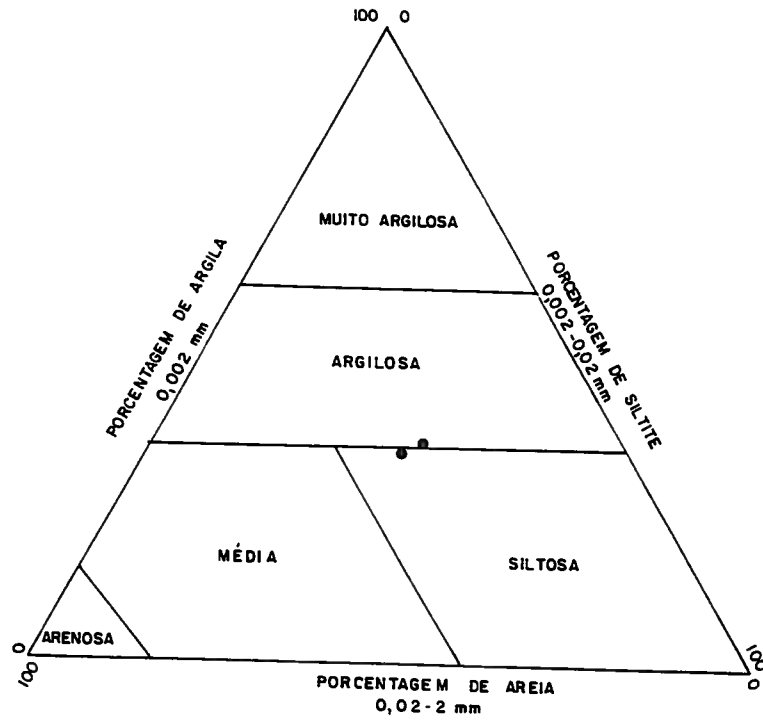
	SEDIMENTO									ÍNDICE DE CAMPO														
	Ag %			Si %			Ar %			ps g/cm ³			pdc g/cm ³			eo			n %			Sr %		
Mat. Incons.	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max
Solo Res. Guab.	33	35	37	36	37	38	25	28	31	2,76	2,86	2,95	1,22	1,37	1,53	0,8	1,1	1,4	44,6	51,5	58,4	69,0	77,15	85,3
Argila Guab.	20	32,5	45	38	38,5	39	17	29	41	2,81	2,84	2,88	1,24	1,28	1,32	1,2	1,25	1,3	54,3	55,1	44,9	80,4	82,1	83,8
Arcócio Guab.	6	11	19	16	21	25	52	68	78	2,74	2,76	2,80	1,46	1,52	1,59	0,7	0,8	0,9	42,5	44,1	46,5	48,8	50,7	53,4
Solo residual-calc.	4	36	75	8	22	56	17	42	63	2,71	2,79	3,09	1,11	1,37	1,67	0,6	1,1	1,8	38,5	50,5	64	27,2	56,2	81,9
Solo Resid. Metapel.	2	16	26	49	70	86	6	14	32	2,78	2,81	2,88	1,22	1,38	1,57	0,8	1,0	1,3	42,0	49,18	57,3	33,9	62,6	83,9
Saprolito Metapel.	1	5	12	43	72	86	6	23	53	2,71	2,79	2,88	1,32	1,39	1,86	0,5	0,83	1,5	33,9	44,89	52,9	28,7	59,8	90,8
Solo Res. Diabásio	18	40	62	25	39	58	12	21	32	2,48	2,95	3,10	1,02	1,21	1,40	0,8	1,46	2,0	43,4	57,9	66,5	54,1	62,7	72,6
Saprolito Diabásio	5	10	17	42	46	58	37	44	49	2,99	3,01	3,03	0,93	1,02	1,20	1,5	1,9	2,2	60,0	65,8	69,2	35,0	56,0	80,7
Saprolito Mig./Gnais.	1	9	17	25	40	56	34	51	70	2,73	2,79	2,92	1,01	1,32	1,67	0,6	1,1	1,8	37,9	52,4	64,4	30,2	57,4	68,6
Solo Transport.	8	38	59	12	32	56	5	30	70	2,67	2,83	3,00	1,11	1,35	1,61	0,7	1,13	1,7	41,4	52,21	62,8	25,1	68,45	86,9
Saprolito Qtzito	1	1	1	26	45	60	39	54	73	2,68	2,71	2,76	1,30	1,67	1,93	0,4	0,6	1,1	27,8	38,62	52,8	14,2	58,05	66,9

	PROCTOR NORMAL						LL			LP			CTC MEQ/100g						SE m ² /g					
	pdmx g/cm ³			wot %			min	med	max	min	med	max	SOLO			ARGILA			SOLO			ARGILA		
	min	med	max	min	med	max							min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max
Mat. Incons.	-	1,5	-	-	26,3	-	-	57,2	-	-	34,5	-	5,54	7,63	9,73	-	-	-	43,3	59,7	76,1	117,1	175,7	234,3
Solo Res.Guab.	-	1,3	-	-	31,0	-	-	72,5	-	-	53,0	-	33,56	24,77	12,99	-	-	-	201,7	193,9	286,2	508,4	575,7	643,1
Argila Guab.	-	1,8	-	-	15,4	-	-	40	-	-	23,7	-	2,01	2,66	3,79	-	-	-	15,7	20,8	29,7	156,2	227,2	283,9
Arcósio Guab.	-	1,5	-	-	24,1	-	-	51,1	-	-	31,2	-	1,58	3,98	8,07	6,14	7,6	10,5	12,3	31,1	63,2	48,4	77,9	140,9
Solo residual-calc.	-	1,5	-	-	23,1	-	-	37,1	-	-	27,8	-	1,09	1,85	3,16	5,26	11,64	20,28	8,5	15,3	28,8	41,1	91,1	158,8
Solo Resid. Metapel.	-	1,6	-	-	22,4	-	-	31,7	-	-	24,4	-	0,88	1,81	4,19	-	-	-	6,9	13,6	32,8	124,8	283,1	517,5
Saprolito Metapel.	-	1,4	-	-	31,5	-	-	62	-	-	37,1	-	3,02	3,87	4,84	9,04	11,98	16,99	23,7	30,3	37,9	38,7	91,9	133
Solo Res. Diabásio	-	1,4	-	-	33,4	-	-	52,6	-	-	41,6	-	0,76	2,57	3,72	-	21,88	-	5,6	20,1	29,1	69,5	241,3	445,4
Saprolito Diabásio	-	1,6	-	-	21,6	-	-	38,45	-	-	31,7	-	1,35	3,64	10,94	-	13,50	-	10,6	28,5	85,6	105,7	439,1	1136,5
Saprolito Mig./Gnais.	1,3	1,4	1,5	26,4	31,4	36,4	43,9	57,4	67,3	31,8	39,9	45,2	0,84	3,26	6,33	4,17	7,98	13,13	6,6	25,61	47,3	15,1	68,43	114,4
Solo Transport.																								

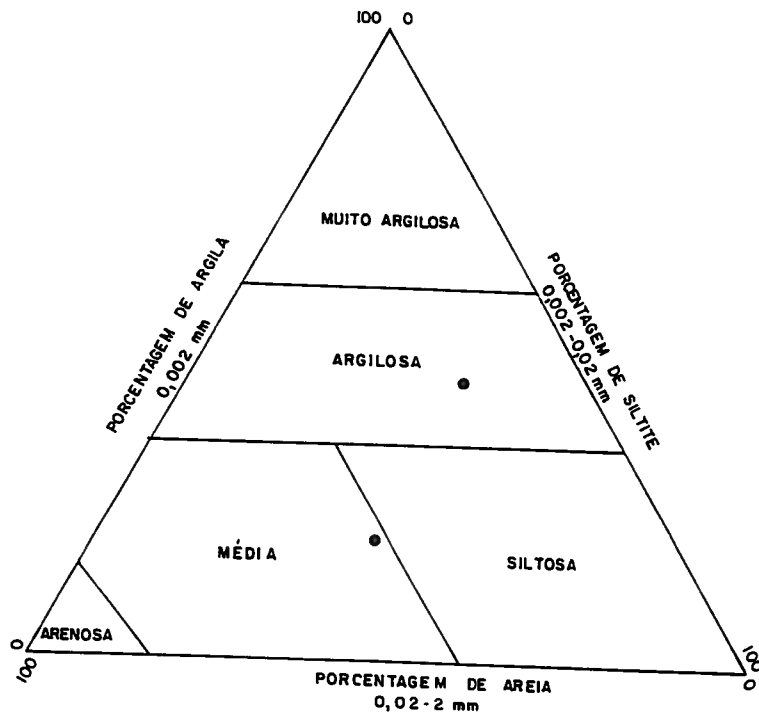
	Vb			Acb			pH DO SOLO									PERMEABILIDADE			ERODIBILIDADE								
							em água			em KCl			ΔpH			min	med	max	S			P %			E		
	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max				min	med	max	min	med	max	min	med	max
Mat. Incons.																											
Solo Res.Guab.	1,77	2,44	3,11	4,79	7,18	9,58	-	5,17	-	-	4,01	-	-	-1,16	-	-	10 ⁻⁴	-	-	0,2	-	-	1,2	-	-	7,6	-
Argila Guab.	4,16	7,93	11,70	20,78	23,53	26,28	-	5,33	-	-	3,71	-	-	-1,62	-	-	10 ⁻⁴	-	-	0,4	-	-	33,9	-	-	0,4	-
Arcósio Guab.	0,64	0,85	1,21	6,38	9,28	11,60	-	4,81	-	-	4,03	-	-	-0,78	-	-	10 ⁻⁴	-	-	0,3	-	-	9,7	-	-	1,1	-
Solo residual-calc.	0,50	1,10	2,58	1,97	3,18	5,76	4,8	5,51	6,2	3,86	4,57	6,7	-0,5	-0,8	-1,37	10 ⁻³	-	10 ⁻⁴	0,2	0,7	1,5	1,6	11,7	34,7	0,5	7,5	27
Solo Resid. Metapel.	0,35	0,59	1,01	1,68	3,72	6,49	4,9	5,0	5,0	3,5	3,7	3,9	-1,0	-1,2	-1,5	10 ⁻³	-	10 ⁻⁴	0,1	0,15	0,2	2,2	43,75	85,3	0,5	2,0	3,5
Saprolito Metapel.	0,28	0,55	1,34	5,10	11,57	21,15	4,8	5,08	5,37	4	4,23	4,47	-0,80	-0,85	-0,90	10 ⁻⁴	-	10 ⁻⁴	0,1	0,15	0,2	41,2	45,7	50,2	0,1	0,15	0,2
Solo Res. Diabásio	0,97	1,23	1,55	1,58	3,69	5,44	5,01	5,35	5,70	4,31	4,95	5,60	-0,1	-0,4	-0,7	10 ⁻³	-	10 ⁻⁴	0,7	0,85	1,0	1,0	8,0	15,0	2,7	16	29,3
Saprolito Diabásio	0,23	0,82	1,19	2,84	9,86	18,20	4,9	5,22	5,45	3,9	4,17	4,44	-1,0	-1,0	-1,01	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	0,2	0,65	1,1	1,1	4,45	7,8	5,6	7,05	8,5
Saprolito Mig./Gnais.	0,43	1,16	3,50	6,98	17,9	46,45	3,25	4,07	4,89	4,07	4,11	4,15	-0,82	-0,9	-1,10	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	0,2	0,5	0,8	31,2	32,5	33,5	0,3	0,6	0,9
Solo Transport.	0,27	1,04	2,03	1,49	28,3	4,68	4,62	5,17	6,80	3,6	4,25	6,40	-0,37	-0,92	-1,50	1x10 ⁻³	1,87x10 ⁻⁴	6x10 ⁻⁴	0,1	0,4	0,7	0,02	15,99	58,6	0,1	59,0	263

APÊNDICE 2 - Diagramas de Classificação Textural
(TRIÂNGULOS DAS CLASSES TEXTURAIS SIMPLIFICADAS: USDA)

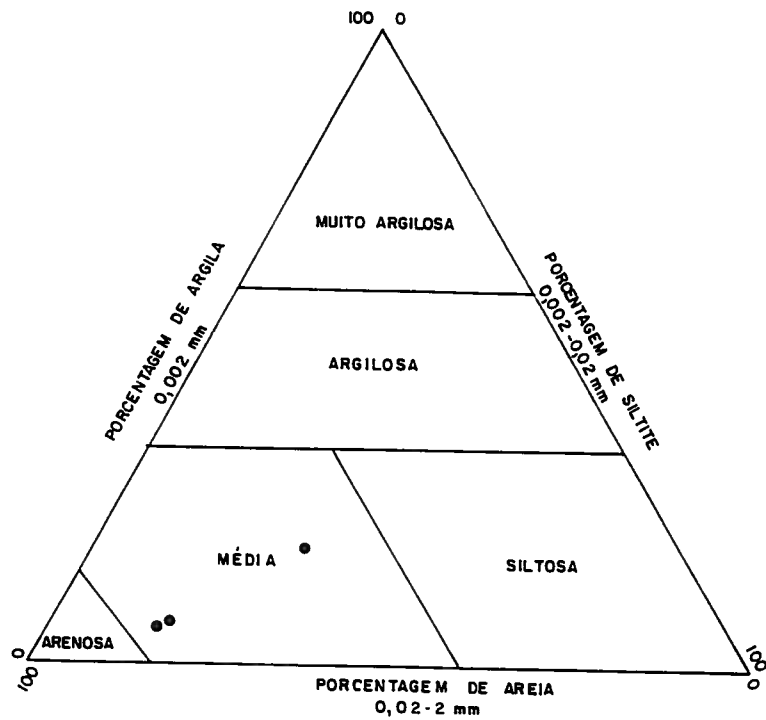
SOLO RESIDUAL - ARGILA VERMELHA (FM. GUABIROTUBA)



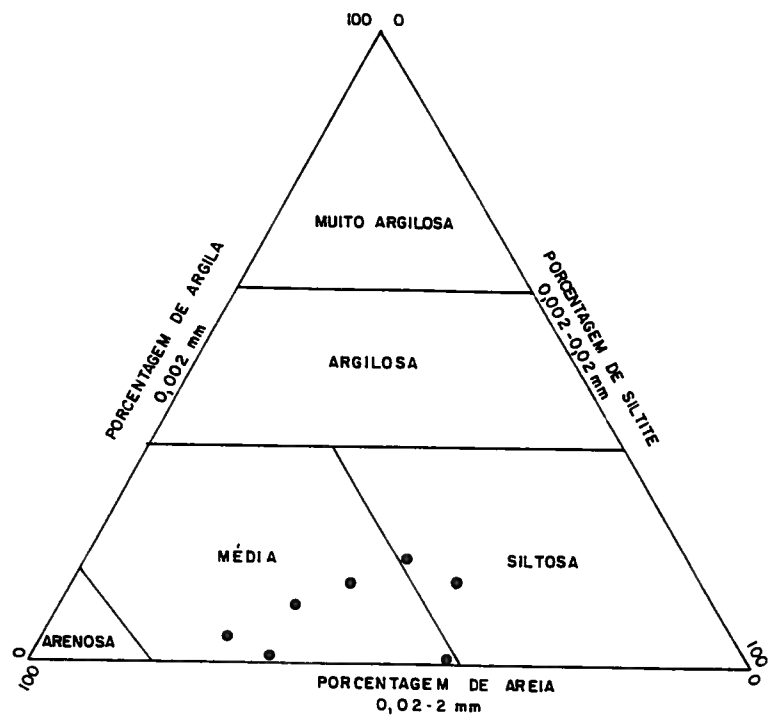
ARGILA CINZA ESVERDEADA - FM. GUABIROTUBA



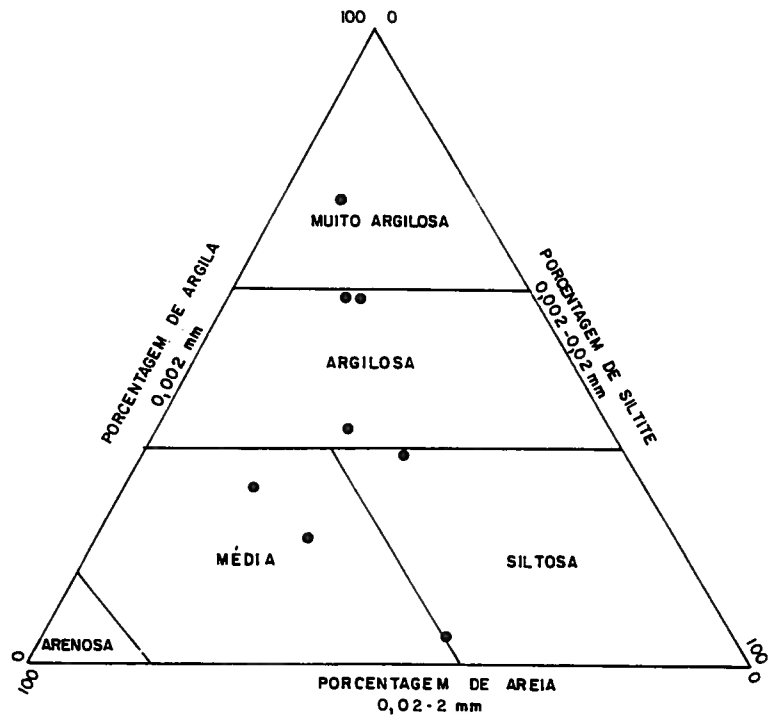
SOLO RESIDUAL - ARCÓCIO FM. GUABIROTUBA



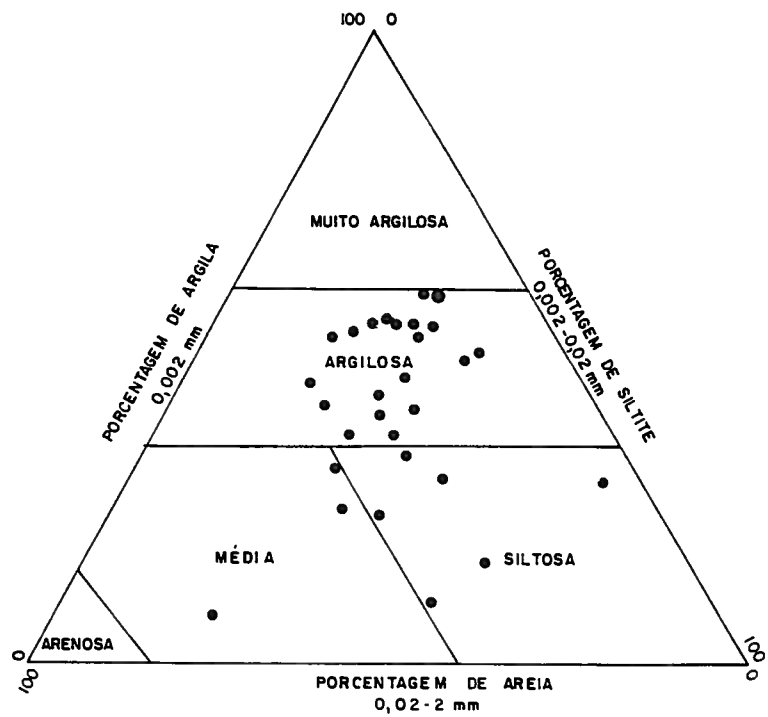
SAPROLITO DE MIGMATITO

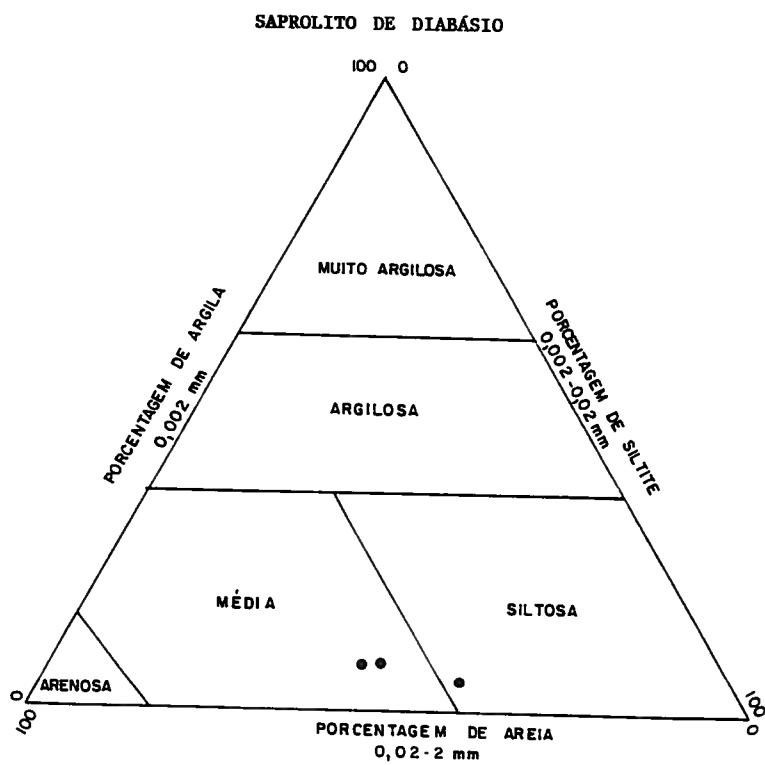
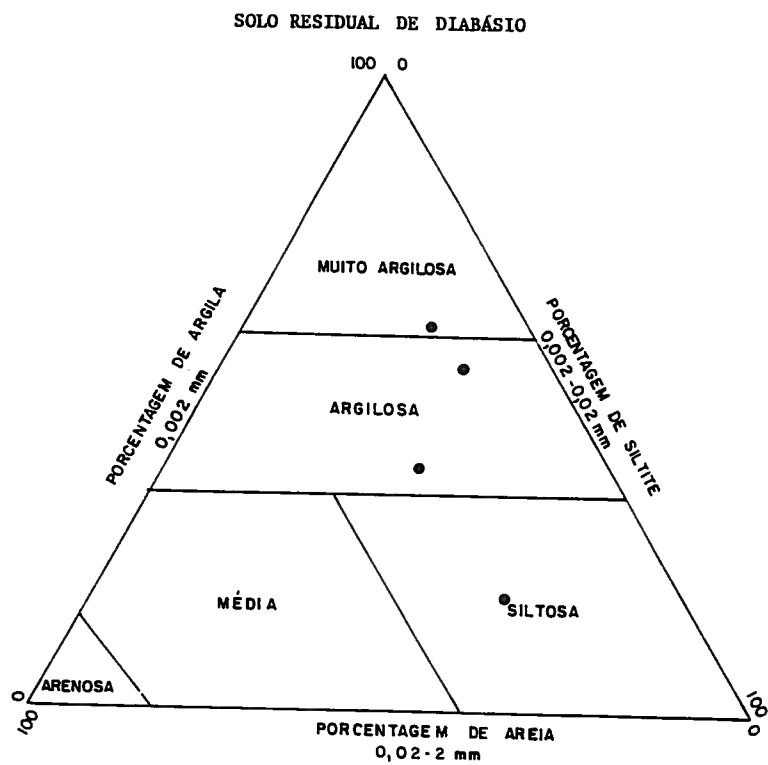


SOLO RESIDUAL DE METADOLOMITO

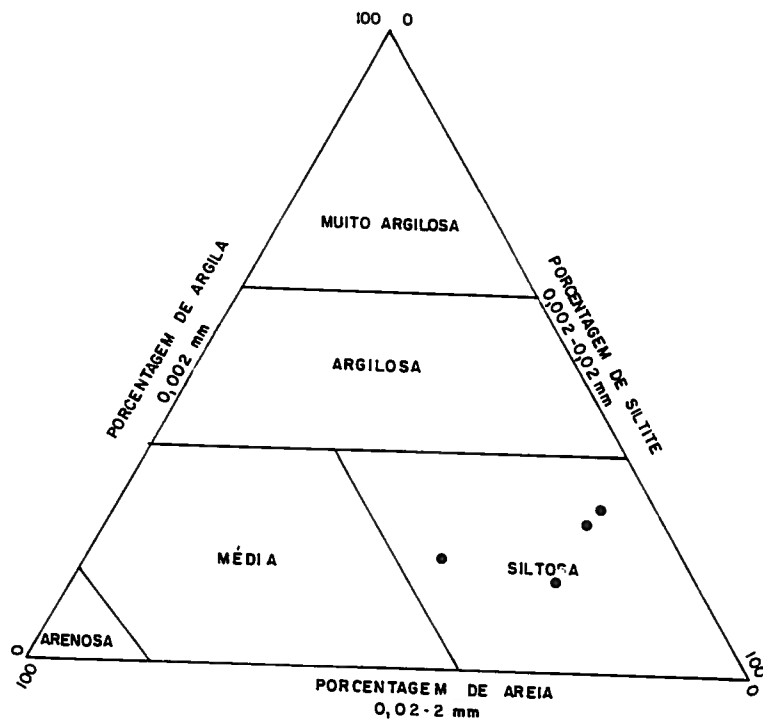


SOLO TRANSPORTADO

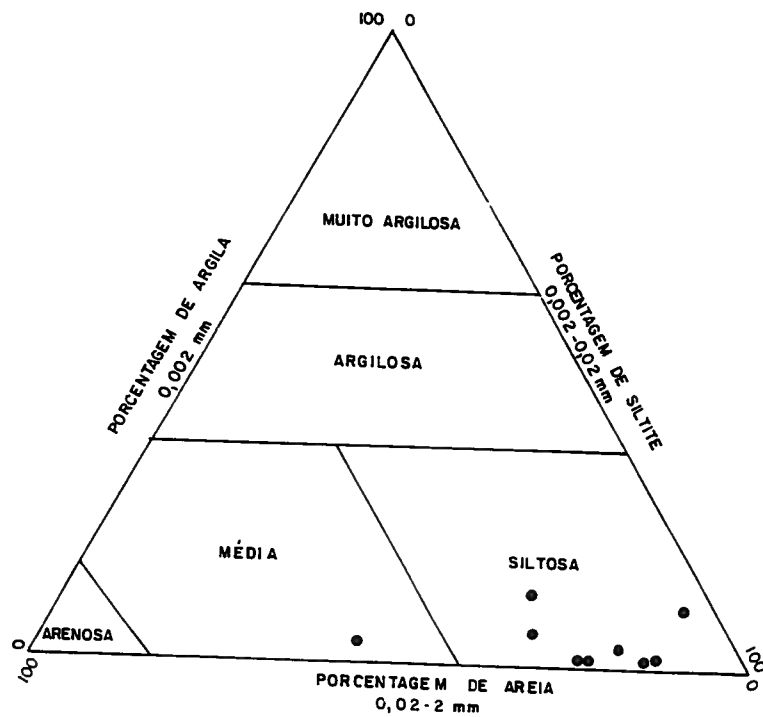




SOLO RESIDUAL DE FILITO



SAPROLITO DE FILITO



SOLO RESIDUAL DE QUARTZITO

